Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Министерство образования и науки Республики Татарстан

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Казанский государственный энергетический университет»

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ И АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД В ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ КОМПЛЕКСЕ И ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Материалы
IV Национальной научно-практической конференции

6–7 декабря 2018 г.

В двух томах

Том 2

Казань
2019

УДК 621.313
ББК 31.261
П75

Рецензенты:
доктор технических наук, доцент ФГБОУ ВО «КГЭУ» В.Г. Макаров,
кандидат технических наук, доцент ФГБОУ ВО «КГЭУ» В.В. Максимов

Редакционная коллегия:
Э.Ю. Абдуллазянов (гл. редактор), Э.В. Шамсутдинов,
О.В. Козелков, О.В. Цветкова

П75 **Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве:** матер. IV Национальной науч.-практ. конф. (Казань, 6–7 декабя 2018 г.): в 2 т. / редкол.: Э.Ю. Абдуллазянов (гл. редактор) и др. – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2019. – Т. 2. – 624 с.

ISBN 978-5-89873-529-6 (т. 2)
ISBN 978-5-89873-527-2

Опубликованы материалы IV Национальной научно-практической конференции «Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве» по следующим научным направлениям:

1. Приборостроение и управление объектами мехатронных и робототехнических систем в ТЭК и ЖКХ.
2. Электроэнергетика, электротехника и автоматизированный электропривод в ТЭК и ЖКХ.
3. Инновационные технологии в ТЭК и ЖКХ.
4. Актуальные вопросы инженерного образования.
5. Промышленная электроника и светотехника.

Предназначен для научных работников, аспирантов и специалистов, работающих в сфере энергетики, а также для студентов вузов энергетического профиля.

Материалы докладов публикуются в авторской редакции. Ответственность за их содержание возлагается на авторов.

УДК 621.313
ББК 31.261

ISBN 978-5-89873-529-6 (т. 2)
ISBN 978-5-89873-527-2

© Казанский государственный энергетический университет, 2019

Секция 1. ПРИБОРОСТРОЕНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ ОБЪЕКТАМИ МЕХАТРОННЫХ И РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ В ТЭК И ЖКХ

УДК 519.95

НЕЧЕТКАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ПАРАЛЛЕЛЬНО ФУНКЦИОНИРУЮЩИХ ГИБКИХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ МОДУЛЕЙ В СИСТЕМЕ МЕХАНООБРАБОТКИ

Гафар Нариман оглы Атаев[1], Валех Азад оглы Мустафаев[2],
Ирада Самед кызы Зейналабдыева[3]

СГУ, г. Сумгаит, Республика Азербайджан

[1]gafar_atayev@mail.ru, [2]valex-sdu@mail.ru, [3]irada0907@mail.ru

Рассматривается нечеткая модель управления параллельно функционирующих гибких производственных модулей (ГПМ) в системе механообработки. Модель управления параллельно функционирующих ГПМ в системе механообработки представляется в виде нечетких сетей Петри (СП). Выбрана оптимальная траектория, игнорирующая случайные задержки при симуляции модели. Показано, что принятые правила срабатывания переходов полностью описывает процесс функционирование нечетких СП.

Ключевые слова: модель управления, нечеткие сети Петри, гибкие производственные модули (ГПМ).

FUZZY CONTROL MODEL OF CONCURRENTLY FUNCTIONING FLEXIBLE PRODUCTION MODULES IN MACHINE PROCESSING SYSTEM

Gafar Nariman Atayev, Valeh Azad Mustafayev, Irada Samad Zeynalabdiyeva

The article examines a fuzzy control model of concurrently functioning flexible production modules (FPM) in the machine processing system. The control model of parallel-functioning FPMs in the machine processing system is represented in the form of fuzzy Petri nets (PN). An optimal path was chosen that ignored random delays when simulating a model. It is shown that the adopted rules for triggering transitions fully describe the process of the functioning of fuzzy PNs.

Key words: control model, fuzzy Petri nets, flexible production modules (FPM), parallel-functioning FPM.

Рассмотрим модель параллельно функционирующих гибких производственных модулей (ГПМ). В гибкой производственной системе механообработки каждый ГПМ состоит из одного промышленного робота (ПР), одного персонального входного накопителя, однотипного обрабатывающего

устройства для выполнения одинаковый операции над разными однотипными заготовками и из одного персонального выходного накопителя. На каждом модуле обрабатывается детали одного типа. Заготовки поступают на персональный входной накопитель и ожидают обработку. Свободные устройство захватывает заготовку из входного накопителя. После выполнение операции обработанный деталь поступают на выходной персональный накопитель.

Структура параллельно функционирующих обрабатывающих устройств показана на рис. 1.

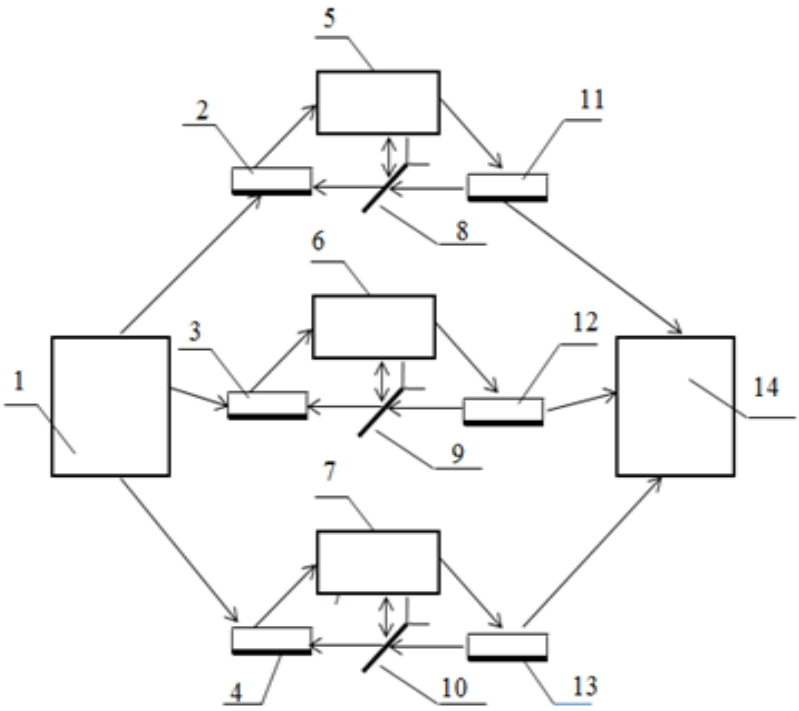


Рис. 1. Структура параллельно функционирующих обрабатывающих устройств: *1* – склад заготовки; *2–4* – соответственно входные накопители устройств *1, 2* и *3*; *5–7* – устройства *1–3*, соответственно; *8–10* – соответственно ПР1–ПР3; *11–13* – соответственно выходные накопители устройств *1–3*; *14* – склад изделий

Модель управления параллельно функционирующих ГПМ в системе механообработки представляется в виде нечетких сетей Петри (СП).

Нечеткой СП называется пятерка [2, стр. 71]:

$$N = (P, T, I, O, \mu),$$

где P и T – нечеткие множества позиций и переходов; $I : P \times T \to (0,1,\ldots)$ и $O : T \times P \to (0,1,\ldots)$ – функции входных и выходных инциденций, соответственно. Отображение $\mu : P \to [0,1]$ присваивает каждой позиции p_i вектор распределения степеней принадлежности фишек к позиции $\mu(p_i)$.

Если вектор распределения степеней принадлежности каждой входной позиции $p_i \in P$ имеет компоненту, не равную нулю, с номером, равным или большим числа дуг, соединяющих данную позицию с переходом $t_j \in T$, то срабатывает переход t_j; после срабатывания перехода происходит процесс перераспределения фишек в позициях. Число фишек в позициях определяет состояние сети.

Переход t_j при маркировке μ разрешен, при условиях: выбираются все $f_{ij} \neq 0$ при $i = \overline{1,n}$; для каждого фиксированного i $\exists\, \mu_{ik} \neq 0$ при $k = \overline{f_{ij}, k_i}$, где k_i – длина вектора распределения степеней принадлежности i-й позиции.

После срабатывания перехода t_j происходит перераспределение фишек по позициям и новую маркировку определяют по следующему алгоритму [1]:

1. Формируют вектор распределения степеней принадлежности каждой входной позиции после срабатывания перехода t_j.

1.1. Вычисляют нулевой компонент вектора распределения степеней принадлежности:

$$\mu'_{i0} = \bigvee_{\alpha=0}^{f_{ij}} \mu_{i\alpha},$$

где $\vee$ – операция логического максимума.

1.2. Определяют остальные компоненты вектора распределения степеней принадлежности:

$$\mu_{i\beta} = \mu_{i\beta} + f_{ij}, \quad \beta = 1,2,\ldots,k_i - f_{ij}.$$

1.3. При запуске перехода t_j размерность вектора распределения степеней принадлежности каждой входной позиции уменьшается на число входных дуг: $k_i = k_i - f_{ij}$.

2. Формируют вектор распределения степеней принадлежности каждой выходной позиции после срабатывания перехода. Этот вектор равен вектору диагональной свертки матрицы Грама исходного выходного вектора и промежуточного вектора $\boldsymbol{r} = \left(r_0, r_1, \ldots, r_{hjz}\right)$.

2.1. Выбирают все $h_{jz} \neq 0$ при $z = 1,n$.

2.2. Вычисляют последнюю компоненту вектора ***r*** для всех фиксированных i при $f_{ij} \neq 0$:

$$r_{h_{jz}} = \bigwedge_{i} \bigvee_{\alpha = f_{ij}}^{k_i - 1} \mu_{i\alpha},$$

где $\wedge$ – операция логического минимума.

2.3. Рассчитывают нулевой компонент r_0: $r_0 = 1 - r_{h_{jz}}$.

2.4. Определяют остальные компоненты: $r_i = 0,\ i = \overline{1, h_{jz} - 1}$.

3. Формируют матрицу Грама векторов μ_z и r^T:

$$\mathbf{G}\left(\mu_z, r^T\right) = \left(\mu_{z0}\, \mu_{z1} \ldots \mu_{zk_z}\right) \begin{bmatrix} r_0 \\ r_1 \\ \ldots \\ r_{h_{jz}} \end{bmatrix} = \begin{vmatrix} \mu_{z0} \wedge r_0 \mu_{z0} \wedge r_1 \ldots \mu_{z0} \wedge r_{hjz} \\ \mu_{z1} \wedge r_0 \mu_{z1} \wedge r_1 \ldots \mu_{z1} \wedge r_{hjz} \\ \ldots \\ \mu_{zk_z} \wedge r_0 \mu_{zk_z} \wedge r_1 \ldots \mu_{zk_z} \wedge r_{hjz} \end{vmatrix},$$

где $g_{lk} = \mu_{zl} \wedge r_k;\ l = \overline{0, k_z};\ k = \overline{0, h_{jz}}$.

4. Вычисляют вектор диагональной свертки Грама $\boldsymbol{C}\left(G\left(\mu_z, r^T\right)\right)$:

$$\boldsymbol{C}\left(G\left(\mu_z, r^T\right)\right) = \begin{vmatrix} \left(\mu_{z0} \wedge r_0\right) \\ \left(\mu_{z1} \wedge r_0\right) \wedge \left(\mu_{z1} \wedge r_1\right) \\ \ldots \\ \left(\mu_{zk_z} \wedge r_0\right) \vee \left(\mu_{zk_{z-1}} \wedge r_1\right) \vee \ldots \vee \left(\mu_{z-h_{jz}} \wedge r_{hjz}\right) \\ \ldots \\ \left(\mu_{zk_z} \wedge r_{h_{jz}}\right) \end{vmatrix}.$$

Элементы этого вектора рассчитывают по формуле $c_l = \bigvee_{k+i=l} \left(\mu_{zk_z} \wedge r_{h_{jz}}\right)$ при $k = \overline{0, k_z}$ и $i = \overline{1, h_{jz}}$. Размерность вектора распределения степеней принадлежности увеличивается на число h_{jz}:

$$h_{jz} : k_z = k_z + h_{jz}.$$

5. Формируют вектор $\boldsymbol{\mu}'_z = \left(\mu'_{z0}\, \mu'_{z1} \ldots \mu'_{kz}\right)$ распределения степеней принадлежности выходной позиции p_z: $\mu'_{zk} = c_k,\ k = \overline{0, k_z}$.

В граф-модели (рис. 2) параллельно функционирующих ГПМ в гибкой производственной системе механообработки их состояния описываются следующими позициями: P_1 – склад заготовки; $P_2 - P_4$ – соответственно входные накопители устройств *1–3*; $P_5 - P_7$ – метки исключающие загрузки неразгруженных устройств *1–3*, соответственно; $P_8 - P_{10}$ – ПР1–ПР3, выполняющие загрузки-разгрузки устройств *1–3*; $P_{11} - P_{13}$ – устройства *1–3*, выполняющие операции над заготовками; $P_{14} - P_{16}$ – выходные накопители устройств *1–3*; P_{17} – склад изделий.

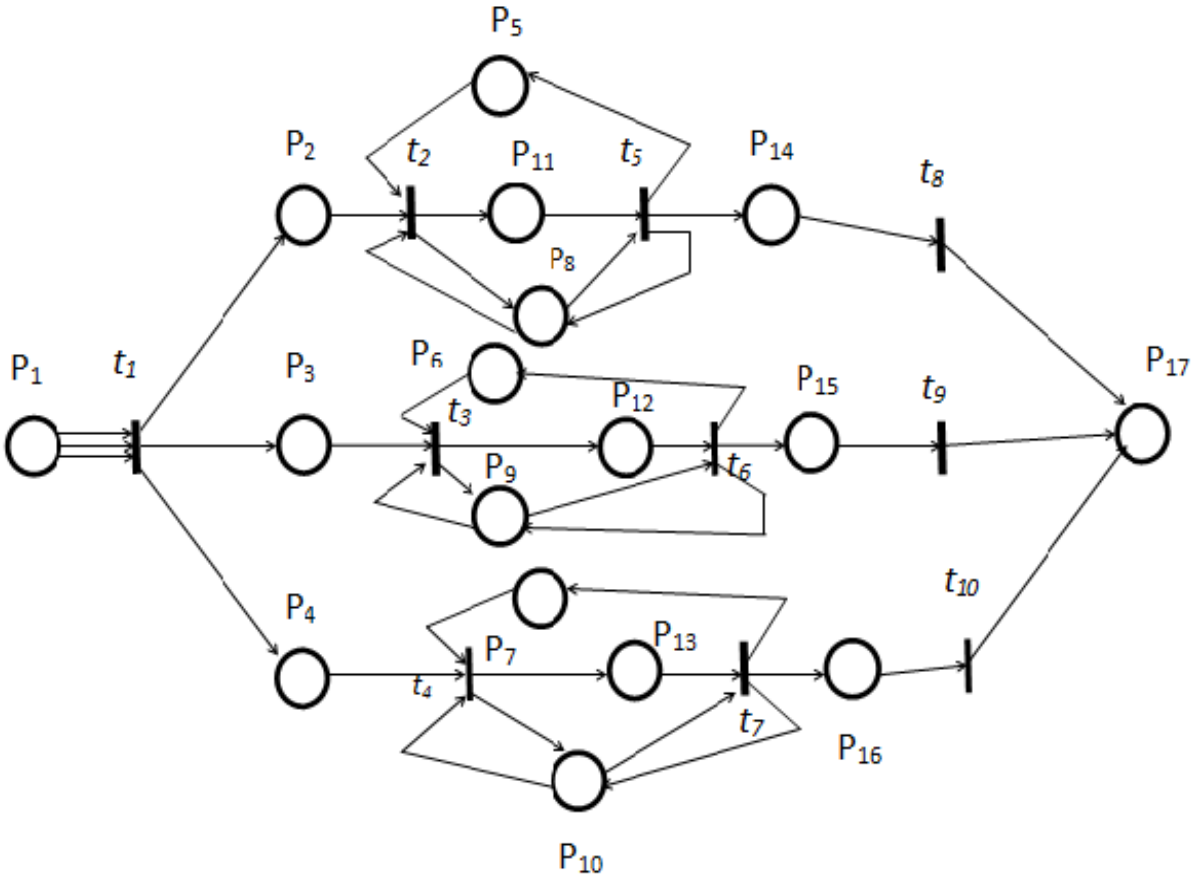


Рис. 2. Граф-модель параллельно функционирующих ГПМ

Возможные события в параллельно функционирующих ГПМ описываются следующими переходами: t_1 – доставки заготовки из склада к позиции устройств *1–3*; $t_2 - t_4$ – выполнение загрузки устройств 1–3; $t_5 - t_7$ – выполнение разгрузки устройств *1–3*; $t_8 - t_{10}$ – транспортировка обработанных деталей от выходов устройств *1–3* к складу изделий.

Функции инцидентности множеств позиции и переходов представлены матрицами [1, стр. 115]:

$$F(10,17)=\begin{Vmatrix} & P_1 & P_2 & P_3 & P_4 & P_5 & P_6 & P_7 & P_8 & P_9 & P_{10} & P_{11} & P_{12} & P_{13} & P_{14} & P_{15} & P_{16} & P_{17} \\ t_1 & 3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ t_2 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ t_3 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ t_4 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ t_5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ t_6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ t_7 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ t_8 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ t_9 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ t_{10} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{Vmatrix}$$

$$H(17,10)=\begin{Vmatrix} & t_1 & t_2 & t_3 & t_4 & t_5 & t_6 & t_7 & t_8 & t_9 & t_{10} \\ P_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ P_2 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ P_3 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ P_4 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ P_5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ P_6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ P_7 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ P_8 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ P_9 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ P_{10} & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ P_{11} & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ P_{12} & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ P_{13} & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ P_{14} & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ P_{15} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ P_{16} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ P_{17} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \end{Vmatrix}$$

Одним из преимуществ нечетких СП является их использование для наглядного представления правил нечетких продукций и выполнения на их основе вывода нечетких заключений [3, стр. 303]. В этом случае используется следующая интерпретация позиции и переходов нечетких СП. Правило нечеткой продукции вида «ЕСЛИ A ТО B» представляется как некоторый переход $t_j \in T$ нечетких СП, при этом условию A этого правила соответствует входная позиция $p_i \in P$ этого перехода, а заключению – выходная позиция $p_i \in P$.

Срабатывание переходов и изменение состояний нечетких СП определяется следующими правилами:

Правило 1. ЕСЛИ на складе есть заготовки, а во входных накопителях устройства *1*, устройства *2* И устройства *3* заготовки отсутствуют, ТО следует выполнить транспортировки заготовки от склада к входным накопителям устройств *1–3*;

Правило 2. ЕСЛИ во входном накопителе устройства *1* имеется заготовка И устройство, И ПР1 свободны, ТО следует выполнить загрузку устройства 1.

Правило 3. ЕСЛИ во входном накопителе устройства *2* имеется заготовка, устройство *2* И ПР2 свободны, ТО следует выполнить загрузку устройства 2.

Правило 4. ЕСЛИ во входном накопителе устройства *3* имеется заготовка, устройство *3* И ПР3 свободны, ТО следует выполнить загрузку устройства *3*.

Правило 5. ЕСЛИ устройство *1* закончило выполнение операции над заготовкой, И ПР1 свободен, ТО следует выполнить разгрузку устройства *1*.

Правило 6. ЕСЛИ устройство *2* закончило выполнение операции над заготовкой, И ПР2 свободен, ТО следует выполнить разгрузку устройства *2*.

Правило 7. ЕСЛИ устройство *3* закончило выполнение операции над заготовкой, И ПР3 свободен, ТО следует выполнить разгрузку устройства 3.

Правило 8. ЕСЛИ в выходном накопителе устройства *1* имеется обработанная деталь, ТО следует выполнить транспортировку обработанной детали от выхода устройства *1* на склад изделий.

Правило 9. ЕСЛИ в выходном накопителе устройства *2* имеется обработанная деталь, ТО следует выполнить транспортировку обработанной детали от выхода устройства *2* на склад изделий.

Правило 10. ЕСЛИ в выходном накопителе устройства *3* имеется обработанная деталь, ТО следует выполнить транспортировку обработанной детали от выхода устройства *3* на склад изделий.

С использованием вышеуказанных исходных данных проведены эксперименты симуляции сети и получены результаты в виде пространства состояний. Определены возможные траектории обслуживания параллельно функционирующих ГПМ в гибкой производственной системе механообработки. Выбрана оптимальная траектория, игнорирующая случайные задержки при симуляции модели. Показано, что принятые правила срабатывания переходов полностью оценивают процесс функционирование нечетких СП.

Источники

1. Ахмедов М.А., Мустафаев В.А. Моделирование динамических взаимодействующих процессов с применением стохастических и нечетких сетей Петри // Электронное моделирование. 2013. Т. 35, № 4. С. 109–121.

2. Лескин А.А., Мальцев П.А., Спиридонов А.М. Сети Петри в моделировании и управлении. Л.: Наука, 1989. 133 с.

3. Борисов В.В., Круглов В.В., Федулов А.С. Нечеткие модели и сети. М.: Телеком, 2012. 717 с.

УДК 620.179.14

К РАСЧЕТУ МАГНИТНЫХ СИСТЕМ ФЕРРОМОДУЛЯЦИОННЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Владимир Сергеевич Безкоровайный[1], Олег Владимирович Тарасенко[2], Валерий Владимирович Яковенко[3], Светлана Николаевна Швец[4]

ЛНУ им. В.Даля, г. Луганск

[1,2,3]volk7@ukr.net, [4]myblok@yandex.ru

Приведены элементы теории измерения существенно неоднородных магнитных полей магнитомодуляционными датчиками. Магнитомодуляционные датчики состоят из двух частей: источника постоянного магнитного поля и измерительного преобразователя. Расчет магнитных систем датчиков основывается на теореме К.М. Поливанова о взаимности.

Ключевые слова: намагниченность, датчик, функция потенциала, теорема о взаимности.

TO CALCULATION OF MAGNETIC SYSTEMS FERROMODULATION MEASURING CONVERTERS

Vladimir Sergeevich Bezkorovainy, Oleg Vladimirovich Tarasenko, Valery Vladimirovich Yakovenko, Svetlana Nikolaevna Shvets

Elements of the theory measurement significantly of non-uniform magnetic fields by magnetomodulation sensors are given. Magnetomodulation sensors consist of two parts: source of constant magnetic field and measuring converter. Calculation of sensors magnetic systems is based on K.M. Polivanov's theorem of reciprocity.

Key words: magnetization, sensor, function of potential, theorem of reciprocity.

Неоднородные магнитные поля очень часто и многообразно используются в дефектоскопии, автоматике, диагностике, системах управления, информационных системах. Разные области применения магнитных датчиков создают различные конструкции их магнитных систем. Общим для датчиков является то, что магнитные системы датчиков состоят из двух частей: источник магнитного поля, измеритель магнитного поля.

Источником магнитного поля могут быть постоянные магниты, локально намагниченные участки ферромагнитной детали, ферромагнитное тело, находящееся в поле Земли или иного источника магнитного поля, дефекты несплошности ферромагнитной детали, магнитная неоднородность ферромагнитной детали и т. п.

В качестве магнитоизмерительного устройства предлагается использовать ферромодуляционный измерительный преобразователь (ФИП) следующей конструкции (рис. 1), позволяющий измерять постоянные и медленноменяющиеся магнитные поля, чего не могут индукционные измерительные преобразователи.

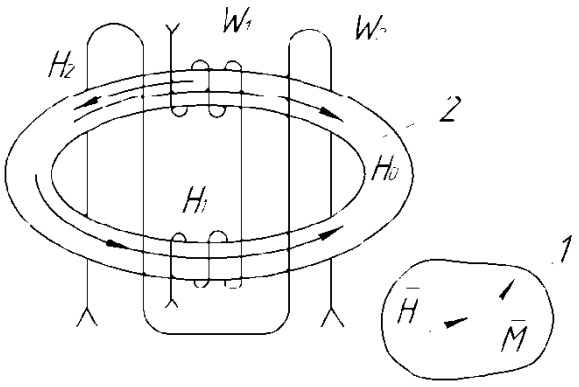


Рис. 1. Схема построения измерительной системы: *1* – источник магнитного поля; *2* – ФИП

Используя теорему о взаимности К.М. Поливанова можно определить напряженность поля в магнитопроводе ФИП [1]:

$$\Phi = \frac{\mu_0}{iw}\int_V \bar{H}\cdot\bar{M}dV\,, \qquad (1)$$

где iw – ампер-витки на сердечнике магнитопровода датчика; $\bar{H}$ – напряженность магнитного поля, создаваемого датчиком; $\bar{M}$ – намагниченность ферромагнитного тела (ФТ).

Поскольку напряженность $\bar{H}$ создаётся не только обмоткой с током, но и намагниченным сердечником, формулу (1) целесообр2азно преобразовать к виду [1]:

$$H_\Phi = \frac{1}{M'V_\Phi}\int_V \bar{H}'\cdot\bar{M}dV\,, \qquad (2)$$

где H_Φ – среднее значение напряженности магнитного поля в сердечнике ФИП; V_Φ – объём сердечника ФИП; H' – напряженность поля измерительного преобразователя; M' – намагниченность измерительного преобразователя, индуцирующего поле вектора H'.

В ряде случаев для измерительного преобразователя проще рассчитать не напряженность $\bar{H}$, а потенциал магнитного поля, создаваемого преобразователем, поэтому (1) преобразуем следующим образом [2]:

$$\int_V div\left(\varphi' \cdot \bar{M}\right) dV = \int_V \text{grad}\varphi' \cdot \bar{M} dV + \int_V \varphi' \cdot \text{div}\bar{M} dV, \quad (3)$$

так как $\text{grad}\varphi' = \bar{H}'$, то

$$\oint_S \varphi' M_n dS = -\int_V \bar{H}' \cdot \bar{M} dV + \int_V \varphi' \cdot \text{div}\bar{M} dV . \quad (4)$$

Поскольку вектор $\bar{M}$ внутри ФТ не имеет источников $\text{div}\bar{M} = 0$, окончательно получаем

$$\int_V \bar{H}' \cdot \bar{M} dV = \oint \varphi' \cdot M_n dS , \quad (5)$$

здесь M_n – нормальная составляющая вектора намагниченности на поверхности ФТ.

Согласно (5) выражение (2) запишется в виде:

$$H_\Phi = \frac{1}{M' V_\Phi} \oint \varphi' \cdot M_n dS . \quad (6)$$

Таким образом, для расчета функции преобразования датчика необходимо рассчитать магнитное поле, создаваемое измерительным преобразователем, и намагниченность в источнике информационного поля, определить функции $\bar{H}'$ или φ' в объёме ФТ, а так же функции $\bar{M}$ или M_n.

В заключение можно сделать следующие выводы.

Теорема о взаимности открывает широкие возможности для математического моделирования поля в магнитных системах ферромодуляционных измерительных преобразователей при измерении существенно неоднородных магнитных полей.

Преобразование теоремы о взаимности с целью использовать при расчете функцию скалярного потенциала и нормальную составляющую вектора намагниченности в ряде случаев упрощает расчет.

Источники

1. Поливанов К.М. Теоретические основы электротехники. М.: Энергия, 1975. 120 с.

2. Романенко А.В. Анализ и синтез магнитных систем датчиков линейных перемещений: автореф. … дис. канд. тех. наук. Пенза, 2007. 37 с.

УДК 332.87

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ В РЕГИОНАХ РОССИИ

Оксана Анатольевна Игнатьева[1], Ильдар Икрамович Абдуллин[2], Виктор Владимирович Васильев[3]

[1,2]ФГАОУ ВО «КФУ», [3]АНОО ВО «ККИ» филиал РУК
г. Казань

[1]dip789@mail.ru, [2]goch3@yandex.ru, [3]v3777@mail.ru

В данной статье рассмотрены понятие и структура жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ). Приведен анализ площади жилых помещений, структура расходов домашних хозяйств, ветхий и аварийный фонд и благоустройство жилищного фонда, а также обозначены основные проблемы ЖКХ и пути их решения на примере Поволжского региона Российской Федерации.

Ключевые слова: инфраструктура города, ЖКХ, жилой фонд, ветхий фонд, жилищные условия, семейный бюджет.

MODERN PROBLEMS OF HOUSING AND COMMUNAL ECONOMY AND THE WAYS OF THEIR SOLUTION IN THE REGIONS OF RUSSIA

Oksana Anatolevna Ignatieva, Ildar Ikramovich Abdullin, Viktor Vladimirovich Vasilyev

In this article we will consider the concept and structure of housing and utilities. We will analyze the area of residential premises, the structure of household expenses, dilapidated and emergency funds and improvement of the housing stock, and also identify the main problems of housing and communal services and their solutions by the example of the Volga region of the Russian Federation.

Key words: infrastructure of the city, housing and communal services, housing stock, dilapidated stock, housing conditions, family budget.

В современных условиях развития экономики России все более остро встает вопрос об инфраструктуре города, региона, от уровня эффективности функционирования которой зависит качество жизнедеятельности населения. К одному из элементов такой инфраструктуры относится ЖКХ. Данная тема касается каждого жителя Российской Федерации. Проблемы в сфере ЖКХ являются актуальными в нашей стране. Необходимы действия по улучшению состояния ЖКХ, его усовершенствованию с целью создания благоприятных условий проживания населения. Обеспеченность жильём и его благоустройство – это один из главных социальных индикаторов экономического развития общества. Деятельность и степень коммунального хозяйства непосредственно влияют на уровень благосостояния

населения, бытовые условия его жизни, санитарно-гигиенические условия и чистоту водного и воздушного бассейна, а также на уровень производительности труда.

ЖКХ – комплекс подотраслей, обеспечивающий функционирование инженерной инфраструктуры, различных зданий населенных пунктов, создающий удобства и комфортность проживания и нахождения в них граждан путем предоставления им широкого спектра жилищно-коммунальных услуг [1].

ЖКХ включает в себя: водопровод, канализацию, капитальный ремонт зданий, ремонт внутренних общедомовых инженерных коммуникаций и систем (здания), теплоснабжение, сбор, вывоз и утилизацию мусора, содержание придомовых территорий (благоустройство), электроснабжение, ремонт дорог и многое другое.

Система ЖКХ представлена жилыми, общественными зданиями, эксплуатационными, ремонтно-строительными, транспортными, энергетическими и другими предприятиями, которые составляют сложную социально-экономическую систему, от ее продуктивности и функционирования зависит развитие объектов города и состояние среды обитания жителей города.

К организациям ЖКХ относят организации по обслуживанию и ремонту жилищного фонда, организации коммунального комплекса (ресурсоснабжающие), многоотраслевые организации, управляющие организации, жилищные кооперативы (ЖК), жилищно-строительные кооперативы (ЖСК), товарищества собственников жилья (ТСЖ) [2].

В настоящее время среди основных проблем, влияющих на уровень жизни населения, следует выделить следующие [3]:

• ветхость жилищного фонда;

• рост тарифов за ЖКХ без повышения качества услуг;

• отсутствие надлежащего контроля со стороны органов власти за состоянием жилья и оказанием жилищно-коммунальных услуг;

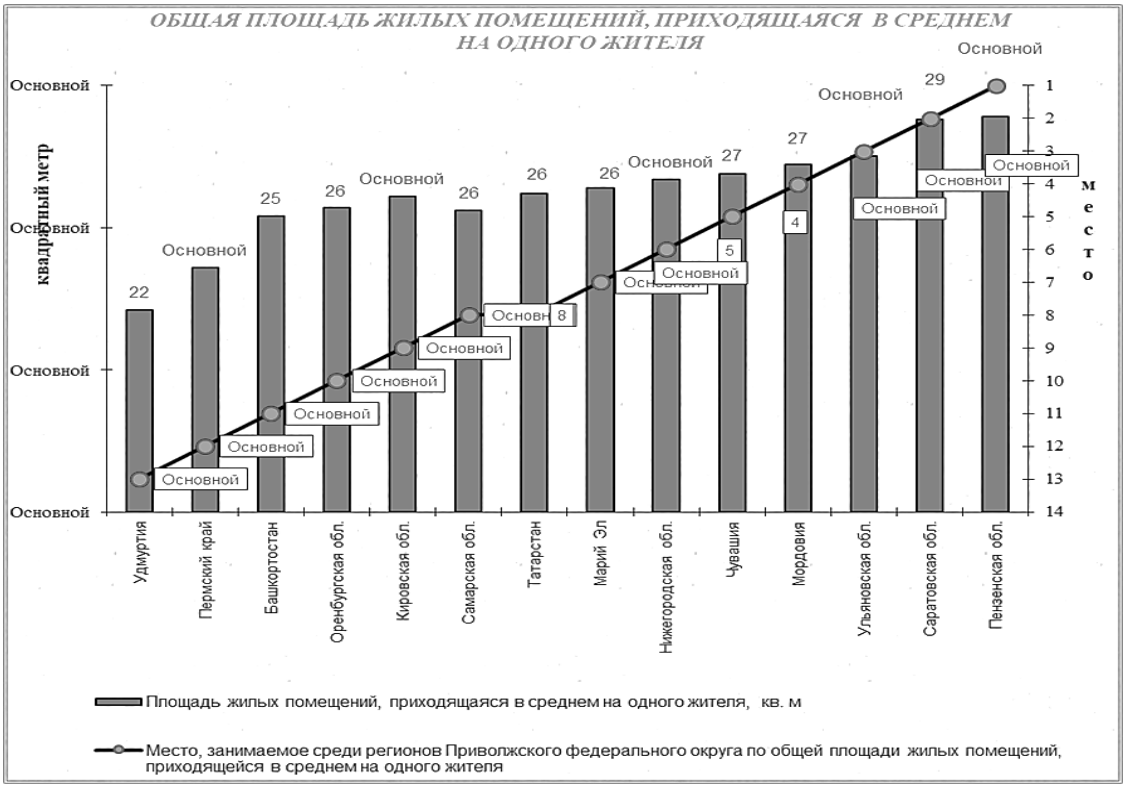
• непригодность эксплуатируемых объектов ЖКХ, необходимость их модернизации и многие другие.

Остановимся подробнее на проблеме ветхого жилищного фонда. Потребность в жилье относится к самым важным материальным потребностям человека. Уровень обеспеченности и доступности жилья для всех социальных групп характеризует развитость экономики и социальную защищенность граждан общества. Жилищные условия и нормативы качества коммунальных услуг в России на сегодняшний день не соответствуют уровню европейских стандартов. Средняя обеспеченность жилой

площадью населения у нас в 3–3,5 раза ниже, чем в Европе. Более полутора миллионов человек проживают в ветхих или аварийных домах [4]. Рассмотрим решение этой ситуации на примере Ульяновской области, в которой реализуется ряд программ по строительству комфортного и доступного жилья.

В регионе успешно ведется реализация приоритетного национального проекта «Жильё для российской семьи», «Развитие строительства и архитектуры в Ульяновской области на 2014–2020 гг.» и подпрограмма «Стимулирование развития жилищного строительства в Ульяновской области на 2014–2020 гг.».

Также утверждена областная адресная программа «Переселение граждан, проживающих на территории Ульяновской области, из многоквартирных домов, признанных аварийными после 1 января 2012 г., в 2018–2023 гг.». По данным Ульяновскстата, на конец 2017 г. жилищный фонд Ульяновской области составил 34 236,4 тыс. кв. м. общей площади жилья и увеличился за год на 2,0 % (на 684,0 тыс. кв. м). По уровню обеспеченности жильём Ульяновская область среди регионов Приволжского федерального округа на начало 2018 г. уступала только Саратовской (28,8 кв. м) и Пензенской области (28,9 кв. м) [5]. На рисунке приведены показатели, характеризующие жилищные условия населения в субъектах Приволжского федерального округа.



Общая площадь жилых помещений на одного жителя

В целом, обеспечение регионов России экономически доступным жильём, соответствующим требованиям энергетической эффективности и экологическим требованиям, путём создания благоприятных условий для развития жилищного строительства – одна из основных задач этих программ.

Теперь обратимся к проблеме роста тарифов ЖКХ. Ведь значительную долю расходов в бюджете большинства семей занимает именно плата за ЖКХ.

По данным Росстата, рост платы за жильё и коммунальные услуги происходит одновременно с принятием органами государственной власти субъектов Российской Федерации и органами местного самоуправления мер по социальной защите населения в виде субсидий (компенсаций), которые предоставляются в пределах социальной нормы жилой площади и нормативов потребления коммунальных услуг с учётом установленной предельно допустимой доли собственных расходов граждан на оплату жилья и коммунальных услуг в совокупном доходе семьи в размере 22 %.

Субсидии население получает в денежной форме на персональные банковские счета. Наряду с субсидиями население пользуется социальной поддержкой по оплате жилого помещения и коммунальных услуг, предоставляемой на основании действующего законодательства.

Все граждане, пользующиеся социальной поддержкой по оплате жилого помещения и коммунальных услуг, получают её в денежной форме.

Следует помнить, что наиболее действенный метод решения существующих проблем – проведение реформ, которые способствуют улучшению работы в системе ЖКХ, а также надлежащий контроль за системой ЖКХ. В частности, необходимо продолжать развивать государственную жилищную политику, способствующую повышению качества и совершенствованию деятельности организационной структуры в сфере ЖКХ, развитию конкуренции на рынке коммунальных услуг. Также следует пересмотреть существующую политику и осуществлять постоянное государственное регулирование деятельности монополий в сфере коммунальных услуг.

Источники

1. Ряховская А.Н., Таги-Заде Ф.Г. Коммунальная деятельность как сфера общественных благ и естественной монополии. М.: ИНФРА-М, 2017. 91 с.

2. Mustafin A.N., Ignateva O.A. Formation of the human capital assessment quality model at the present stage of development of innovative economy // Academy of Strategic Management Journal. 2016. T. 15, Is. 1. P. 27–37.

3. Социальное неравенство и социально-экономическая политика государства: монография / Т.М. Вахитова [и др.]. Казань: Изд-во «Школа», 2018. 170 с.

4. Тухватуллин А.И., Дырдонова А.Н., Зинурова Р.И. Информационная база оценки социальной безопасности региона с доминирующим развитием нефтегазохимической отрасли промышленности // Вестник Технологического университета. 2014. Т. 17, № 15. С. 470–475.

5. Анисимова Ф.Н. О жилищном фонде и его благоустройстве в Ульяновской области в 2017 г. // Аналитическая записка. Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Ульяновской области, 2017. 290 с.

УДК 621.34

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА СРЕДСТВ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ МЕХАТРОННЫХ СИСТЕМ

Борис Васильевич Кузнецов[1], Арина Юрьевна Шабалина[2],
Людмила Владимировна Ильина[3]

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

[1,2,3]kuznetsov_b@rambler.ru

Приведены основные положения методики сравнительной оценки качества средств контроля и диагностики мехатронных систем на ранних стадиях их внедрения или разработки (в условиях неопределённостей).

Ключевые слова: средства контроля и диагностики, мехатронная система, показатели качества, система показателей, информационная ситуация, техническая характеристика, критерий.

COMPARATIVE EVALUATION OF THE QUALITY OF CONTROLS AND DIAGNOSTICS OF MECHATRONIC SYSTEMS

Boris Vasilyevich Kuznetsov, Arina Yuryevna Shabalina,
Lyudmila Vladimirovna Ilyina

The main provisions of the methodology for the comparative assessment of the quality of means for monitoring and diagnosing mechatronic systems at the early stages of their introduction or development (under uncertainty conditions) are presented.

Key words: means of control and diagnostics, mechatronic system, quality indicators, system of indicators, informational situation, technical characteristics, criterion.

При внедрении и обосновании стоимостных показателей средств контроля и диагностики мехатронных систем возникает необходимость согласования их значений с требованиями к другим показателям качества

(назначения надежности, стандартизации унификации и др.). Данную проблему на ранних стадиях внедрения или разработки технических систем в условиях неопределенностей целесообразно решать методами сравнительной оценки вариантов изделий, т. е. выбора альтернативного варианта из сравниваемых между собой [1].

Информационные ситуации, возникающие при сравнении вариантов средств контроля и диагностики изделий по наиболее полной совокупности технических характеристик, укладываются в следующую схему.

Имеется n сравниваемых между собой изделий $(A_1, A_2, \ldots, A_i, \ldots, A_n)$. Каждому из них поставлена в соответствии совокупность m технических характеристик (в том числе и стоимостных), определяющих его эффективность $(q_1, q_2, \ldots, q_j, \ldots, q_m)$.

Если x_{ji} – j-я техническая характеристика i-го изделия, то показатель f_{ji} отражает относительный уровень j-й характеристики i-го изделия по сравнению с выбранным эталонным (таблица):

$$f_{ji} = \frac{x_{ji}}{x_{j\text{э}}} \text{ или } f_{ji} = \frac{x_{j\text{э}}}{x_{ji}}. \quad (1)$$

Сравнение вариантов образцов

Технические характеристики q	Сравниваемые (образцы) изделия A				
	A_1	…	A_i	…	A_n
$q_1(P_1)$	f_{11}	…	f_{1i}	…	f_{1n}
…	…	…	…	…	…
$q_j(P_j)$	f_{j1}	…	f_{ji}	…	f_{jn}
…	…	…	…	…	
$q_m(P_m)$	f_{m1}	…	f_{mi}	…	f_{mn}

Требуется определить наиболее предпочтительное изделие с учетом объективно существующей неопределенности в оценке влияния каждой конкретной технической характеристики на их эффективность. В рамках изложенного возможны несколько информационных ситуаций, отражающих условия и роль характеристик в формировании обобщённого показателя эффективности.

Большинство информационных ситуаций для сравнения вариантов изделий сводится к применению критерия Байеса [2]:

$$b_i = \sum_{j=1}^{m} P_j f_{ji}, \quad (2)$$

где P_j – вес j-й характеристики в формировании обобщённого показателя эффективности, причем $\sum_{j=1}^{m} P_j = 1$.

Затем формируется кортеж предпочтительности $b_1 \langle b_2 \ldots \langle b_i \ldots \langle b_n$ и осуществляется выбор изделия более высокого качества (более предпочтительным является изделие с меньшим значением b).

При самой неблагоприятной информационной ситуации (когда отсутствует информация о роли и предпочтениях характеристик) используются принцип потенциального распределения вероятностей; максиминный (минимаксный) критерий Вальда, критерий минимального риска Севиджа, критерий пессимизма-оптимизма Гурвица и др.

Источники

1. Кузнецов Б.В., Голованов В.А. Сравнительная оценка эффективности электротехнических систем // 21-я Всерос. межвузов. науч.-техн. конф.: сб. матер. Казань, 2009. Ч. 1. С. 107–108.

2. Военно-научные исследования и разработка вооружения и военной техники / Л.А. Мартыщенко [и др.]. СПб.: ВАА им. М.И. Калинина, 1993. Ч. 1. 302 с.

УДК 621.317.619

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Игорь Владимирович Ломакин[1], Эльвира Равильевна Девликамова[2]

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

[1,2]lomakin_igor@mail.ru

В работе рассматривается возможность организации системы контроля качества электроэнергии на основе существующих бытовых приборов учета электронергии.

Ключевые слова: управление качеством, контроль качества, электроэнергия, канал контроля, прибор учета, алгоритм.

THE ANALYSIS OF POSSIBILITIES OF MONITORING POWER QUALITY

Igor Vladimirovich Lomakin, Elvira Ravilievna Devlikamova

The paper discusses the possibility of organizing a system of quality control of electricity on the basis of existing household electricity meters.

Key words: quality management, quality control, electricity, control channel, metering device, algorithm.

Для обеспечения требуемого качества электроэнергии ее следует рассматривать не только как физическое понятие, но и как товар, обладающий особыми потребительскими свойствами. К этим свойствам относятся: совпадение во времени процессов производства, транспортировки и потребления; зависимость характеристик качества электроэнергии от процессов ее потребления; невозможность хранения и возврата некачественной электроэнергии.

Федеральный закон «Об электроэнергетике» [1] определяет ответственность энергосбытовых организаций и поставщиков электроэнергии перед потребителями за надежность обеспечения их электрической энергией и ее качество в соответствии с техническими регламентами и иными обязательными нормативными требованиями.

Анализ документации, регулирующей качество электроэнергии, показал, что достаточно хорошо отработана документация, определяющая основные показатели качества и порядок их измерения. А вот товарные отношения, регулируемые законами рынка и юридическими нормами, организованы недостаточно эффективно. Так в работе [2] обращается внимание на пробелы в правовом регулировании отношений сторон по договору энергоснабжения (поставки энергии), связанные с соблюдением требований к качеству подаваемой энергии, а именно отсутствие утвержденных методик определения размера гражданско-правовой ответственности за нарушение этих требований в денежном выражении.

Согласно правилам предоставления коммунальных услуг собственникам и пользователям помещений в многоквартирных домах и жилых домов [3] за каждый час снабжения электрической энергией, не соответствующей требованиям законодательства Российской Федерации о техническом регулировании, суммарно в течение расчетного периода, в котором произошло отклонение напряжения и (или) частоты электрического тока от указанных требований, размер платы за коммунальную услугу за такой расчетный период снижается на 0,15 % размера платы, определенного за такой расчетный период.

Однако размер установленной неустойки является незначительным [3]. Кроме того, определенные проблемы вызывает соблюдение установленного порядка выявления и фиксации факта нарушения исполнителем требований

к качеству электроэнергии. Это делает практически невозможным самостоятельное взыскание потребителем неустойки без поддержки уполномоченного административного органа, имеющего возможность привлечь сертифицированную лабораторию для контроля качества электрической энергии.

Одним из путей решения этой проблемы является создание системы контроля качества с использованием современных приборов учета электроэнергии. Наличие микропроцессоров в приборах учета и средств дистанционной передачи информации [4] существенно облегчает создание такой системы контроля качества электроэнергии и управления качеством.

Источники

1. О теплоснабжении: федер. закон Рос. Федерации от 27 июля 2010 г. № 190-ФЗ.

2. Серков А. Правовая ответственность за нарушение требований к качеству энергии // Коммунальный комплекс России: ежемес. деловой журн. URL: http://gkhprofi.ru/a-serkov-pravovaya-otvetstvennost-za-narushenie-trebovanij-k-kachestvu-energii (дата обращения: 15.09.18).

3. О предоставлении коммунальных услуг собственникам и пользователям помещений в многоквартирных домах и жилых домов: постановление Правительства РФ от 6 мая 2011 г. № 354 (ред. от 15 сентября 2018 г.). Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

4. Счётчик активной энергии статический однофазный «Меркурий 203.2Т». Руководство по эксплуатации АВЛГ.411152.028 РЭ. М.: ООО «НПК «ИНКОТЕКС», 2010. 32 с.

УДК 681.518.3: 621.3.049.76

ПРОБЛЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ КОНЕЧНЫХ АВТОМАТОВ С ПАМЯТЬЮ

Игорь Владимирович Ломакин[1], Рафаэль Фанисович Латыпов[2]

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

[1,2]lomakin_igor@mail.ru

В работе выполнен анализ задач решаемых моделирующим стендом, определен алгоритм его функционирования и обоснована структура моделирующего стенда по анализу конечных автоматов с памятью.

Ключевые слова: схемотехника, электротехника, конечный автомат, дискретное устройство, логический элемент, элемент памяти, стенд для моделирования.

PROBLEMS OF MODELING FINITE STATE MACHINES WITH MEMORY

Igor Vladimirovich Lomakin, Rafael Fanisovich Latypov

The paper analyzes the problems solved by the modeling stand, determines the algorithm of its functioning and justifies the structure of the modeling stand for the analysis of finite state machines with memory.

Key words: circuitry, electrical engineering, finite state machine, discrete device, logic element, memory element, stand for modeling.

На основе алгоритма [1] и структуры [2, 3] лабораторного стенда для анализа комбинационных устройств систем контроля была предпринята попытка его аппаратурной реализации [4, 5].

Подготовка специалистов, способных грамотно эксплуатировать сложную технику с дискретным управлением, предполагает развитие у них практических навыков по анализу и синтезу не только однотактных, но и многотактных дискретных устройств автоматизированных систем контроля и диагностики. Поэтому объектом исследования в данной работе является стенд для анализа многотактных конечных автоматов.

Актуальность темы обусловлена необходимостью повышения наглядности процесса логического анализа за счет использования стенда.

Целью работы является разработка стенда для анализа многотактных конечных автоматов, позволяющего практически моделировать разработанные схемные решения.

Для достижения поставленной цели выполнен анализ задач, решаемых лабораторным стендом [6].

Элементный анализ этих схем, предлагаемых для анализа многотактных устройств, показывает, что эти устройства имеют не менее двух входных, трех промежуточных и одного выходного элементов. Кроме этого в рассматриваемых конечных автоматах имеется от трех до пяти диодов.

На практических занятиях по синтезу многотактных конечных автоматов предлагается синтезировать схему дискретного устройства на релейных элементах, обеспечивающего формирование выходного сигнала при поступлении входных сигналов в заданных последовательностях, некоторые из которых показаны на рис. 1.

Решение задач синтеза показывает, что эти последовательности сигналов могут быть реализованы устройствами с одним выходным, двумя входными и двумя-тремя промежуточными элементами. Кроме этого, для упрощения схем могут использоваться диоды.

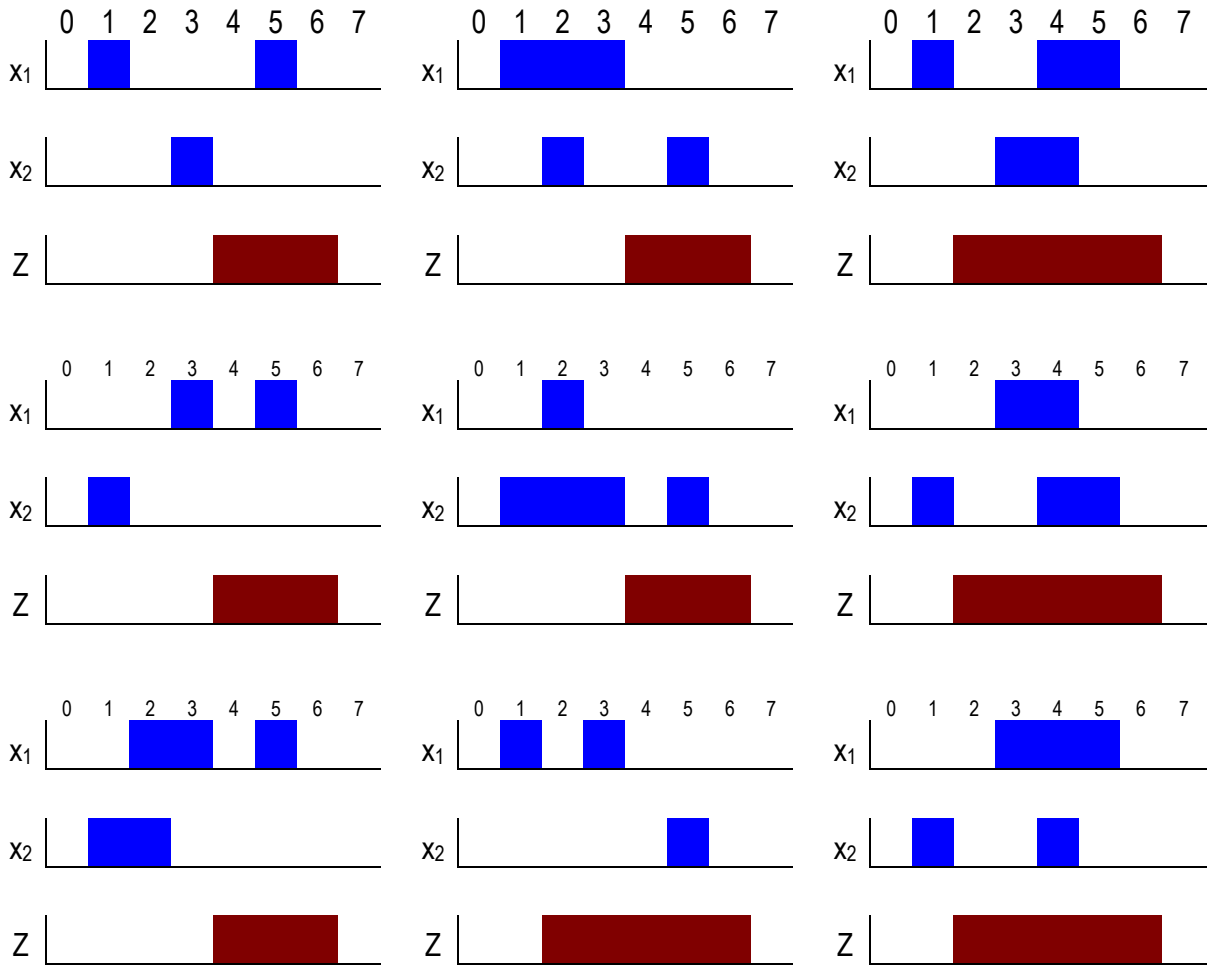


Рис. 1. Заданные последовательности входных и выходных сигналов

Так как лабораторная установка должна обеспечивать анализ многотактных устройств, то целесообразно составить алгоритм для этого режима. Обучающиеся сначала набирают модель дискретного устройства, устанавливают разрядность дискретного устройства и устанавливают тумблеры входных сигналов в исходное положение. После подачи питания лабораторная установка автоматически устанавливается в исходное положение. Обучающиеся фиксируют состояния входных и выходных элементов, а также состояния и значения проводимостей цепей элементов памяти. Если состояние устойчивое, то обучающийся изменяет комбинацию входных сигналов, если состояние неустойчивое, то необходимо нажать кнопку «такт», после чего должны измениться состояния элементов памяти. Так продолжается до тех пор, пока не будут исследованы все заданные переходы. Решение на окончание исследований принимает обучающийся.

Для формализованного описания алгоритма функционирования логического устройства целесообразно ввести следующие функциональные и логические операторы:

A_0 – начало работы;

B_1 – набор модели дискретного устройства на наборном поле;

B_2 – задание базы разрядности анализируемого дискретного устройства;

B_3 – подача питания на логическое устройство;

A_1 – установка всех элементов логического устройства в исходное положение;

A_2 – контроль исходного состояния;

A_3 – индикация состояний входных и выходных элементов;

A_4 – индикация состояний элементов памяти и проводимостей их цепей;

B_4 – фиксация состояний входов и выходов обучаемым;

B_5 – принятие решения об окончании исследований;

B_6 – нажатие кнопки «такт»;

A_5 – формирование тактового импульса;

A_6 – изменение состояний элементов памяти в соответствии с проводимостями их цепей;

B_7 – ручное изменение состояний входных элементов;

$A_к$ – конец работы, снятие питания.

Кроме функциональных операторов, вводятся логические условия:

$$P_1 = \begin{cases} 0 - \text{лабораторная установка не в исходном}; \\ 1 - \text{лабораторная установка в исходном}; \end{cases}$$

$$P_2 = \begin{cases} 0 - \text{состояние устойчивое}; \\ 1 - \text{состояние неустойчивое}; \end{cases}$$

$$P_3 = \begin{cases} 0 - \text{продолжение иследований}; \\ 1 - \text{конец иследований}. \end{cases}$$

Для наглядности символами A_i обозначены операции, выполняемые логическим устройством автоматически, а символами B_i – ручные операции, выполняемые обучающимися. Граф-схема алгоритма анализа многотактного устройства представлена на рис. 2.

На основе алгоритма функционирования можно составить структурную схему лабораторной установки. Сначала определяется состав функциональных блоков, необходимых для реализации функциональных и логических операторов.

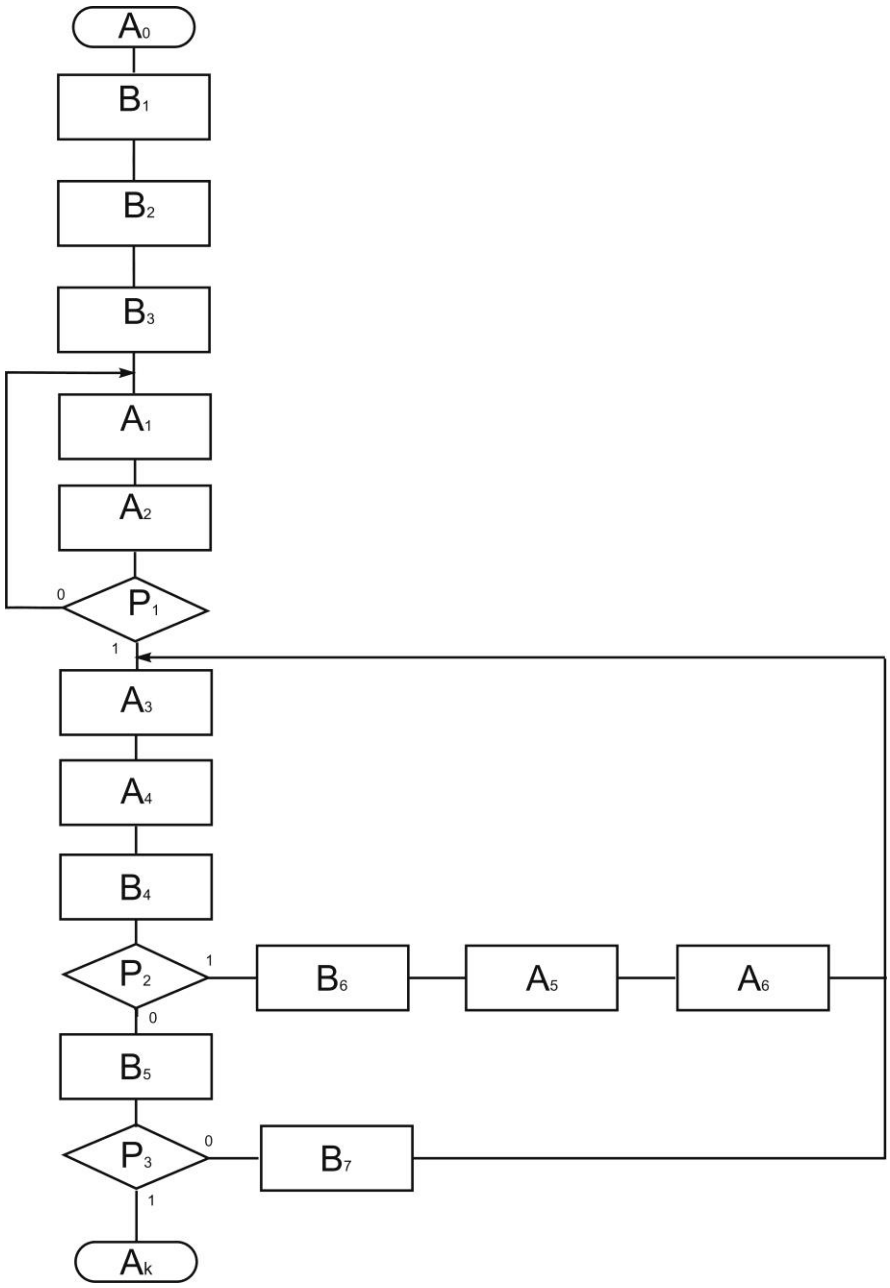


Рис. 2. Граф-схема алгоритма машинного анализа многотактных устройств

Оператор B_1 можно реализовать с помощью наборного поля.

Операторы B_2, B_3, B_6, B_7 и A_1 реализуются с помощью панели управления.

Для исполнения операторов $A_2 - A_4$ необходимо устройство индикации.

Чтобы выполнить операторы A_6 и P_2, используется блок элементов памяти.

Формирование тактового импульса A_5 обеспечит генератор импульсов.

Для обеспечения выполнения всех операторов в заданной последовательности необходимо устройство управления.

Исходя из логики работы, предусмотренной алгоритмом функционирования, устанавливаются функциональные связи между блоками. Так, наборное поле должно быть связано с блоком элементов памяти. В то же время устройство индикации получает информацию через устройство управления, блок элементов памяти связан с панелью управления так же через устройство управления. Полученная структурная схема помогает проанализировать работу многотактных конечных автоматов.

Источники

1. Ломакин И.В., Саттаров И.С. Алгоритм функционирования стенда для анализа дискретных устройств // Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве: матер. докл. II Поволж. науч.-практ. конф. / под общ. ред. Э.Ю. Абдуллазянова. Казань, 2016. С. 438–440.

2. Ломакин И.В., Саттаров И.С. Разработка структуры лабораторной установки по анализу дискретных устройств // XIX аспирантско-магистер. науч. семинар, посвященный «Дню энергетика»: матер. докл. в 2 т. / под общ. ред. ректора КГЭУ Э.Ю. Абдуллазянова. Казань, 2016. Т. 1. С. 238–239.

3. Ломакин И.В., Саттаров И.С. Разработка структуры лабораторной установки по анализу дискретных устройств // IX Междунар. (XX Всерос.) конф. по автоматизированному электроприводу: сб. тр. Пермь, 2016. С. 570–573.

4. Ломакин И.В., Загидуллин Л.Р., Саттаров И.С. Лабораторная установка по анализу комбинационных устройств систем контроля // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины. Казань: Центр информационных технологий КГАВМ, 2016. Т. 228(IV). С. 47–50.

5. Ломакин И.В., Саттаров И.С. Стенд для моделирования функционирования контактных дискретных устройств автоматики // Автоматизированный электропривод и промышленная электроника: тр. 7-й Всерос. науч.-практ. конф. / под общ. ред. В.Ю. Островлянчика. Новокузнецк, 2016. С. 288–294.

6. Ломакин И.В., Латыпов Р.Ф. Алгоритм функционирования стенда для анализа конечных автоматов с памятью // Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве: матер. докл. III Поволж. науч.-практ. конф. в 2 т. / под общ. ред. Э.Ю. Абдуллазянова. Казань, 2017. С. 29–34.

УДК 621.317.619

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Игорь Владимирович Ломакин[1], Алина Наилевна Романова[2]

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

[1,2]lomakin_igor@mail.ru

В работе рассматривается возможности организации системы контроля качества горячего водоснабжения на основе существующих бытовых приборов учета горячего водоснабжения.

Ключевые слова: управление качеством, контроль качества, горячее водоснабжение, канал контроля, прибор учета, алгоритм.

THE ANALYSIS OF POSSIBILITIES OF QUALITY CONTROL OF HOT WATER

Igor Vladimirovich Lomakin, Alina Nailevna Romanova

The paper considers the possibility of organizing a quality control system of hot water supply on the basis of existing domestic hot water metering devices.

Key words: quality management, quality control, hot water supply, control channel, metering device, algorithm.

Для обеспечения требуемого качества горячего водоснабжения его следует рассматривать не только как физическое понятие, но и как товар, обладающий особыми потребительскими свойствами. К этим свойствам относятся: совпадение во времени процессов производства, транспортировки и потребления; зависимость характеристик качества горячего водоснабжения от процессов его потребления; невозможность хранения и возврата некачественного горячего водоснабжения.

Федеральный закон «О теплоснабжении» [1] определяет ответственность теплоснабжающих организаций и поставщиков горячего водоснабжения перед потребителями за надежность обеспечения их тепловой энергией и ее качество в соответствии с техническими регламентами и иными обязательными нормативными требованиями.

Анализ документации, регулирующей качество горячего водоснабжения, показал, что достаточно хорошо отработана документация, определяющая основные показатели качества и порядок их измерения. А вот товарные отношения, регулируемые законами рынка и юридическими нормами, организованы недостаточно эффективно. Так в работе [2] обращается внимание на пробелы в правовом регулировании отношений сторон по договору теплоснабжения, связанные с соблюдением требований к качеству

подаваемой тепловой энергии, а именно отсутствие утвержденных методик определения размера гражданско-правовой ответственности за нарушение этих требований в денежном выражении.

Согласно правилам предоставления коммунальных услуг собственникам и пользователям помещений в многоквартирных домах и жилых домов [3] за каждый час снабжения тепловой энергией, не соответствующей требованиям законодательства Российской Федерации о техническом регулировании, суммарно в течение расчетного периода, в котором произошло отклонение температуры или давления теплоносителя от указанных требований, размер платы за коммунальную услугу за такой расчетный период снижается на 0,1 % размера платы, определенного за такой расчетный период.

Однако размер установленной неустойки является незначительным [3]. Кроме того, определенные проблемы вызывает соблюдение установленного порядка выявления и фиксации факта нарушения исполнителем требований к качеству горячего водоснабжения. Это делает практически невозможным самостоятельное взыскание потребителем неустойки без поддержки уполномоченного административного органа, имеющего возможность привлечь сертифицированную лабораторию для контроля качества электрической энергии.

Одним из путей решения этой проблемы является создание системы контроля качества с использованием современных приборов учета горячего водоснабжения. Наличие микропроцессоров в приборах учета и средств дистанционной передачи информации [4] существенно облегчает создание такой системы контроля качества горячего водоснабжения и управления его качеством.

Источники

1. О теплоснабжении: федер. закон Рос. Федерации от 27 июля 2010 г. № 190-ФЗ.

2. Серков А. Правовая ответственность за нарушение требований к качеству энергии // Коммунальный комплекс России: ежемес. деловой журн. URL: http://gkhprofi.ru/a-serkov-pravovaya-otvetstvennost-za-narushenie-trebovanij-k-kachestvu-energii (дата обращения: 23.07.18).

3. О предоставлении коммунальных услуг собственникам и пользователям помещений в многоквартирных домах и жилых домов: постановление Правительства РФ от 6 мая 2011 г. № 354 (ред. от 15 сентября 2018 г.). Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

4. Теплосчетчик QALCO (SKS-3). Конструктивное исполнение QALCOSONIC HEAT 1. Ультразвуковой компактный теплосчетчик. Руководство по эксплуатации. Ч. 1. Техническое описание, инструкция по эксплуатации, паспорт. URL: http://www.electrovymir.com/files/heat_meters/QALCOSONIC% 20HEAT%201.pdf (дата обращения: 23.07.18).

УДК 621.317.619

АВТОМАТИЗАЦИЯ КОНТРОЛЯ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ АВТОМОБИЛЯ

Игорь Владимирович Ломакин[1], Павел Валерьевич Туктаров[2]

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

[1,2]lomakin_igor@mail.ru

В работе определены основные контролируемые параметры системы электропитания автомобиля. Предложен алгоритм контроля системы электропитания на основе анализа напряжений на отдельных элементах и потребляемых ими токов.

Ключевые слова: электрооборудование, электропитание, транспортное средство, датчик, генератор, аккумулятор, контроль.

AUTOMATION OF THE CONTROL OF THE SYSTEM OF POWER SUPPLY OF A CAR

Igor Vladimirovich Lomakin, Pavel Valerevich Tuktarov

The paper defines the main controlled parameters of the vehicle power supply system. An algorithm for controlling the power supply system based on the analysis of voltages on individual elements and the currents consumed by them is proposed.

Key words: electrical equipment, power supply, vehicle, sensor, generator, battery, control.

Электрооборудование автомобиля по количеству неисправностей, трудоемкости их поиска и устранения намного опережает другие его системы. Методы технической диагностики широко используются при операциях технического обслуживания и ремонта элементов электрооборудования автомобиля.

В настоящее время текущей диагностике уделяется незначительное внимание. Вследствие чего работа направлена на разработку канала текущего контроля системы электропитания автомобиля.

Актуальность темы обусловлена необходимостью повышения надежности автомобиля за счет совершенствования текущего контроля и диагностики состояния электрооборудования автомобиля в целом и системы электропитания в частности.

Целью работы является определение канала текущего контроля параметров системы электропитания автомобиля.

Практически на всех современных автомобилях используются трехфазные синхронные генераторы с электромагнитным возбуждением. Для выпрямления переменного тока в генератор встроен выпрямительный блок, собранный по мостовой схеме с тремя дополнительными диодами для питания обмотки возбуждения и подключения лампы контроля. Управление током возбуждения во всех схемах осуществляется в релейном режиме.

В качестве объекта исследования выбраны системы электропитания, имеющие принципиальные схемы, аналогичные показанной на рис. 1.

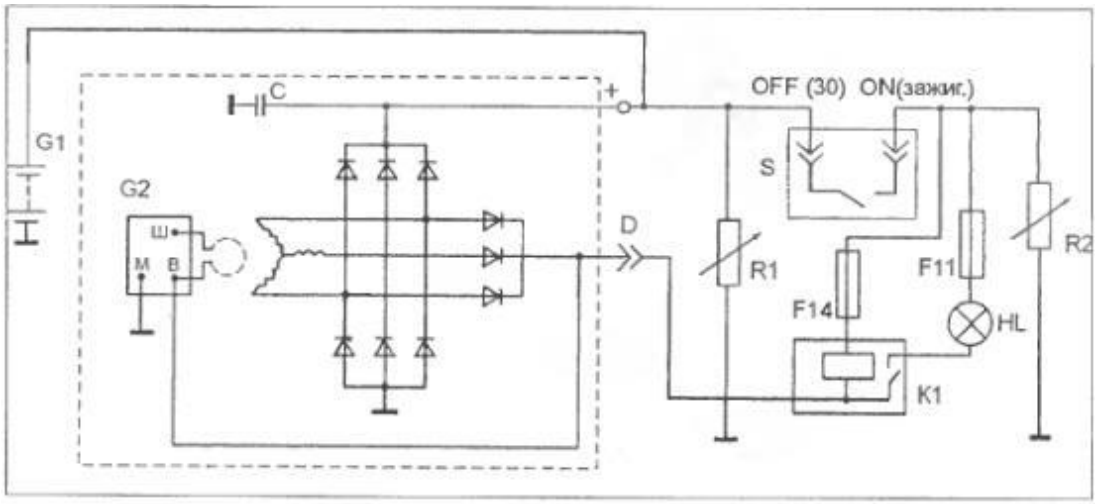


Рис. 1. Принципиальная схема системы электропитания с генератором и интегральным регулятором напряжения

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить анализ существующих способов контроля системы электропитания транспортного средства и выявить граничные значения ее параметров для различных состояний. Затем определяется набор контролируемых параметров.

Контроль аккумуляторных батарей. По данным немецкого автоклуба ADAC самая частая неисправность — это севший в пути аккумулятор. Более чем в 60 % аварийных случаев, связанных с дефектными аккумуляторами, батареи находились в состоянии глубокого разряда, а еще в 28,7 % случаев батареи были заряжены некачественно. Таким образом, в 90 % аварий, связанных с выходом из строя аккумуляторов, причиной оказывался низкий уровень их заряда [1].

Срок службы аккумуляторных батарей определяют по продолжительности от начала эксплуатации до момента снижения ее емкости до 40 % от номинального значения.

О состоянии аккумуляторных батарей можно судить по величине напряжения холостого хода. Значения напряжения на клеммах аккумулятора при различных степенях зарядки приведены в таблице.

Напряжение на клеммах аккумулятора при различных степенях зарядки

Степень заряда	Уровень заряда батареи, %				Полностью разряжен (0 %)
	100	75	50	25	
Напряжение аккумулятора, В	12,6	12,4	12,2	12	11,8

При достижении напряжения в 11 В батарею использовать опасно, так как появляется риск вывести из строя генератор [1].

Более подробные данные приводятся фирмами, занимающимися продажей и обслуживанием аккумуляторных батарей [2]. Из анализа этих данных следует, что напряжение холостого хода при известной температуре $U^T_{\text{х.х}}$ имеет линейную зависимость от степени заряда S аккумуляторной батареи:

$$U_{\text{х.х}} = \frac{U^T_{\text{х.х0}} + S\left(U^T_{\text{х.х100}} - U^T_{\text{х.х0}}\right)}{100}$$

или

$$S = \frac{U^T_{XX} - U^T_{\text{х.х0}}}{U^T_{\text{х.х100}} - U^T_{\text{х.х0}}} \cdot 100\ \%. \tag{1}$$

При этом необходимо учесть зависимость напряжения холостого хода от температуры:

$$U^T_{\text{х.х}} = U^{T_0}_{\text{х.х}} - 0{,}004 \cdot 1{,}55^{(-28-T)/18}\left(T_0 - T\right). \tag{2}$$

С учетом этого формулы (1) и (2) преобразуются к виду:

$$S = \left(U^T_{\text{х.х}} - U^T_{\text{х.х0}}\right) \cdot 100\ \%. \tag{3}$$

и

$$U^T_{\text{х.х}} = 12{,}8 - 0{,}004 \cdot 1{,}55^{(-28-T)/18}(26{,}7 - T). \tag{4}$$

Результат аппроксимации напряжения батареи при уровне заряда батареи 100 % показан на рис. 2.

Измерение напряжения холостого хода позволяет только определить степень заряженности аккумулятора, но не может быть использовано для оценки емкости, пусковых характеристик и ресурса аккумулятора.

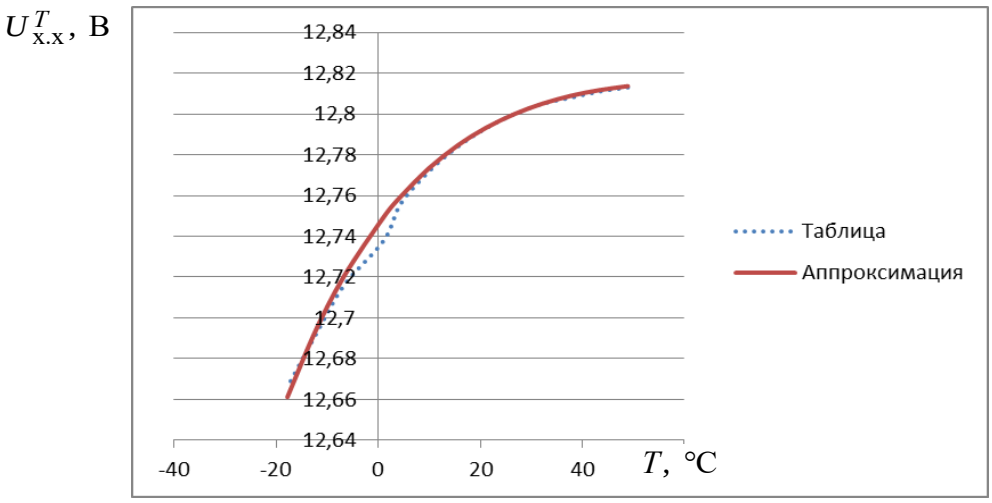


Рис. 2. Результат аппроксимации напряжения батареи

Более информативным является тестирование аккумулятора под нагрузкой. Если аккумулятор заряжен и исправен, то напряжение после 5-й с будет превышать 10,2 В.

Если напряжение холостого хода превышает 12,6 В, а тестирование под нагрузкой показывает на недозаряд или полный разряд батареи, то это значит, что аккумуляторноя батарея неисправна.

Если напряжение под действием нагрузки опустилось ниже 10 В и продолжает снижаться, и имеется кипение в одной либо двух банках, то это характерно для внутреннего замыкания, и аккумулятор необходимо менять.

Когда аккумулятор под действием нагрузки демонстрирует снижающееся без паузы напряжение и при этом электролит закипает во всех банках, это является признаком сульфатации пластин и аккумуляторная батарея к эксплуатации непригодна [1].

Контроль состояния генератора. При повышенном регулируемом напряжении автомобильного генератора имеет место ток перезаряда. При повышенном напряжении сила зарядного тока более 10 А не снижается в течение 4–6 ч непрерывной езды днем. При заниженном напряжении происходит быстрый разряд аккумуляторной батареи.

При диагностировании генератора необходимо проверить регулируемое напряжение и мощность, развиваемую генератором на определенных частотах вращения. При этом с помощью измерения напряжения и тока выявить характерные неисправности генераторов переменного тока не представляется возможным[3].

Выбор контролируемых параметров. При осуществлении текущего контроля системы электропитания автомобиля необходимо воспользоваться косвенными методами оценки ее состояния, которые позволят выявить неисправность без точной диагностики места отказа.

Основные контролируемые параметры определим на основе анализа взаимосвязи токов при различных соотношениях напряжений генератора и аккумуляторной батареи:

• при $U_{\text{г}} > E_{\text{б}}$:

$$I_{\text{г}} = I_{\text{бз}} + I_{\text{н}}; \tag{5}$$

• при $U_{\text{г}} = E_{\text{б}}$:

$$I_{\text{г}} = I_{\text{н}}; \tag{6}$$

• при $U_{\text{г}} < E_{\text{б}}$:

$$I_{\text{н}} = I_{\text{г}} + I_{\text{бр}}; \tag{7}$$

• при $U_{\text{г}} = 0$:

$$I_{\text{н}} = I_{\text{бр}}, \tag{8}$$

где $I_{\text{г}}$ – ток генератора; $I_{\text{бз}}$ – ток, потребляемый батареей при заряде; $I_{\text{бр}}$ – ток, отдаваемый батареей при разряде; $I_{\text{н}}$ – ток, потребляемый потребителями; $E_{\text{б}}$ – ЭДС аккумуляторной батареи; $U_{\text{г}}$ – напряжение генератора [4]. Эти величины и предлагается использовать в качестве контролируемых параметров.

При выборе параметров контроля следует учесть, что $I_{\text{бз}}$ и $I_{\text{бр}}$ это один и тот же ток батареи $I_{\text{б}}$, но разного направления. Следовательно,

$$I_{\text{б}} + I_{\text{г}} + I_{\text{н}} = 0. \tag{9}$$

Оценку степени заряженности аккумуляторной батареи предлагается получать по результатам контроля напряжения $U_{\text{б}}$ на ее выводах до подключения потребителей (режим «Включение»).

Для оценки состояния аккумуляторной батареи предлагается контролировать напряжение $U_{\text{б}}$ на ее выводах и отдаваемый батареей ток $I_{\text{б}}$ в процессе пуска двигателя (режим «Старт»). По результатам этого контроля можно вычислить внутреннее сопротивление аккумулятора $r_{\text{б}}$.

После запуска двигателя (режим «Работа») необходимо постоянно контролировать зарядку аккумулятора. Для этого следует измерять напряжение генератора батареи $U_{\text{к}} = U_{\text{б}} = U_{\text{г}}$ и токи $I_{\text{г}}$, $I_{\text{б}}$, $I_{\text{н}}$. Для повышения точности измерений может потребоваться значение температуры в подкапотном пространстве T.

Элементы контроля предлагается разместить так, как показано на рис. 3. В качестве датчиков тока могут быть использованы датчики тока на элементах Холла.

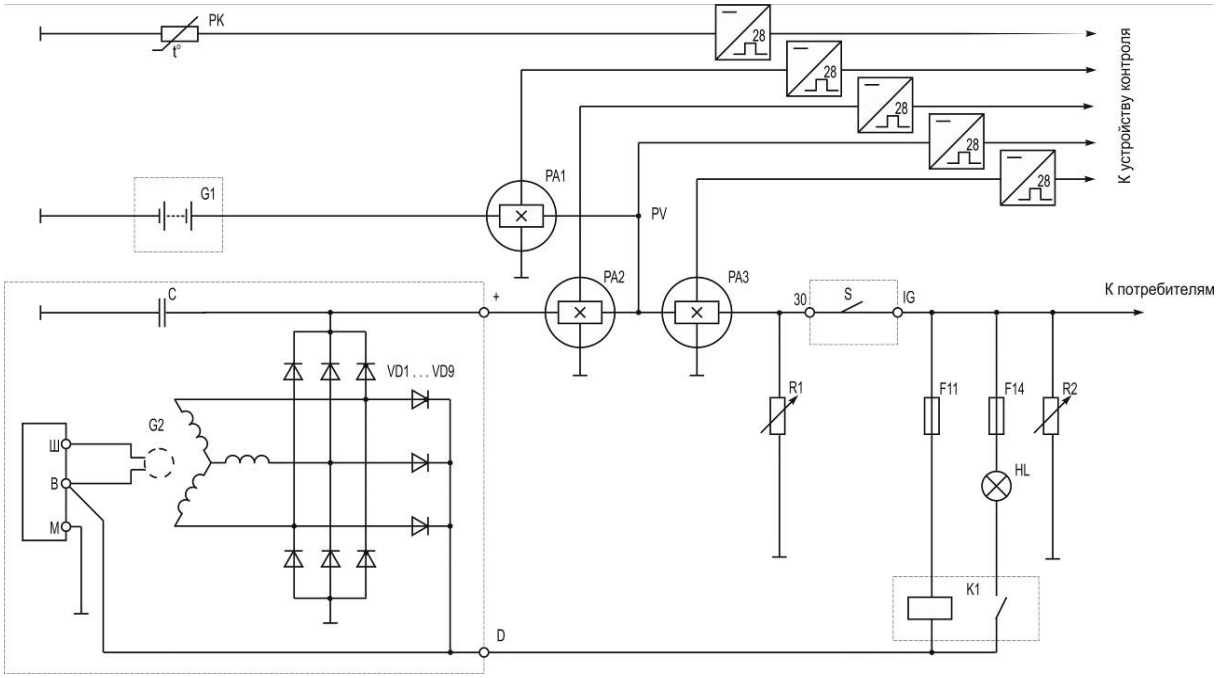


Рис. 3. Принципиальная схема системы электропитания с датчиками

Вывод. Для текущего контроля системы электропитания автомобиля, необходимо воспользоваться как прямыми, так и косвенными методами оценки ее состояния. Контроль целесообразно осуществлять в трех режимах функционирования системы электропитания автомобиля: «Включение», «Старт», «Работа». В качестве контролируемых параметров предлагается использовать ток генератора $I_{\text{г}}$, ток батареи $I_{\text{б}}$, ток, потребляемый потребителями $I_{\text{н}}$, напряжение генератора батареи $U_{\text{к}} = U_{\text{б}} = U_{\text{г}}$.

Источники

1. Диагностика аккумуляторных батарей – путь к эксплуатации без сюрпризов // Автокомпоненты: бизнес, технологии, сервис. URL: http://a-kt.ru/articles/diagnostika-akkumulyatornykh-batarei-put-k-ekspluatatsii-bez-syurprizov (дата обращения: 06.08.18).

2. АКБ-OIL сервис: офиц. сайт. URL: http://www.akb-oil.com.ua (дата обращения: 06.08.18).

3. Сергеев А.Г., Ютт В.Е. Диагностирование электрооборудования автомобилей // Библиотекарь.ру. URL: http://www.bibliotekar.ru/auto-elektro-oborudovanie/index.htm (дата обращения: 06.08.18).

4. Ютт В.Е. Электрооборудование автомобилей: учебник для ВУЗов. М: Горячая линия – Телеком, 2006. 440 с.

5. Вилков Ю.Н., Ломакин И.В. Основы теории контрольно-пусковой аппаратуры: краткий текст лекций. Казань: КВВКИУ РВ, 1989. Ч. 2. 48 с.

УДК 620.179.14

АНАЛИЗ РАБОТЫ ФЕРРОЗОНДОВОГО МАГНИТОИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КАНАЛА

Вадим Владимирович Мирошников[1], Анна Владимировна Лавренченко[2], Никита Сергеевич Булыгин[3]

ВНУ им. В. Даля / ЛНУ им. В. Даля, г. Луганск

[1]v.miroshnikov@mail.ru, [2]lavchenok@mail.ru, [3]bulllygin@mail.ru

Предложено использовать дополнительный магнитометрический канал для оценки метрологических характеристик элементов устройства контроля механических напряжений металлоконструкций промышленного и гражданского назначения.

Ключевые слова: металлоконструкция, упругие напряжения, остаточная намагниченность, феррозонд, магнитометрический канал.

ANALYSIS OF THE WORK OF A FERROPROBE MAGNETOMETRIC CHANNEL

Vadim Vladimirovich Miroshnikov, Anna Vladimirovna Lavrenchenko, Nikita Sergeevich Bulygin

It is proposed to use an additional magnetometric channel to assess the metrological characteristics of the elements the mechanical stress control device for industrial and civil metal construction.

Key words: metal construction, the elastic stresses, the residual magnetization, ferroprobe, magnetometric channel.

Среди основных недостатков средств контроля упругих напряжений, применяемых в строительстве и на производствах, можно выделить следующие: неудобство эксплуатации, а также необходимость предварительного физического воздействия с помощью преобразователя на судовую конструкцию и дальнейшего исследования ее реакции на это воздействие.

Методом, не требующим предварительного воздействия на металл корпуса металлоконструкции каким-либо видом физического поля, является магнитометрический метод, позволяющий использовать магнитное поле Земли, в котором находится объект контроля. Установлено [1], что величина остаточной намагниченности зависит от величины механических напряжений в металле. Для измерения величины остаточной намагниченности на поверхности металлоконструкции наиболее перспективными являются

магнитомодуляционные преобразователи – феррозонды [2]. Предлагаемый метод обеспечивает контроль механических напряжений в реальном масштабе времени, однозначно связывает эти напряжения с контролируемым параметром – остаточной намагниченностью. Вместе с тем устройство, реализующее данный метод, построенное на базе феррозондов, должно быть простым и надежным в эксплуатации.

Экспериментальная установка разработана на базе катушек Гельмгольца. Выполнение условий идентичности катушек по размерам и числу витков, а также равенства расстояния между катушками их радиусу *a*, позволяет получить вблизи центральной точки однородное аксиальное поле с точностью до $(x/a)^4$. При радиусе катушек Гельмгольца a = 180 мм, они позволяют получать магнитное поле в центральной точке до 10 000 А/м. Для уменьшения влияния магнитного поля Земли на результаты измерения, катушки Гельмгольца ориентировались таким образом, чтобы направление поля Земли было перпендикулярно аксиальному полю катушек.

Блок-схема феррозондового магнитометрического канала приведена на рис. 1.

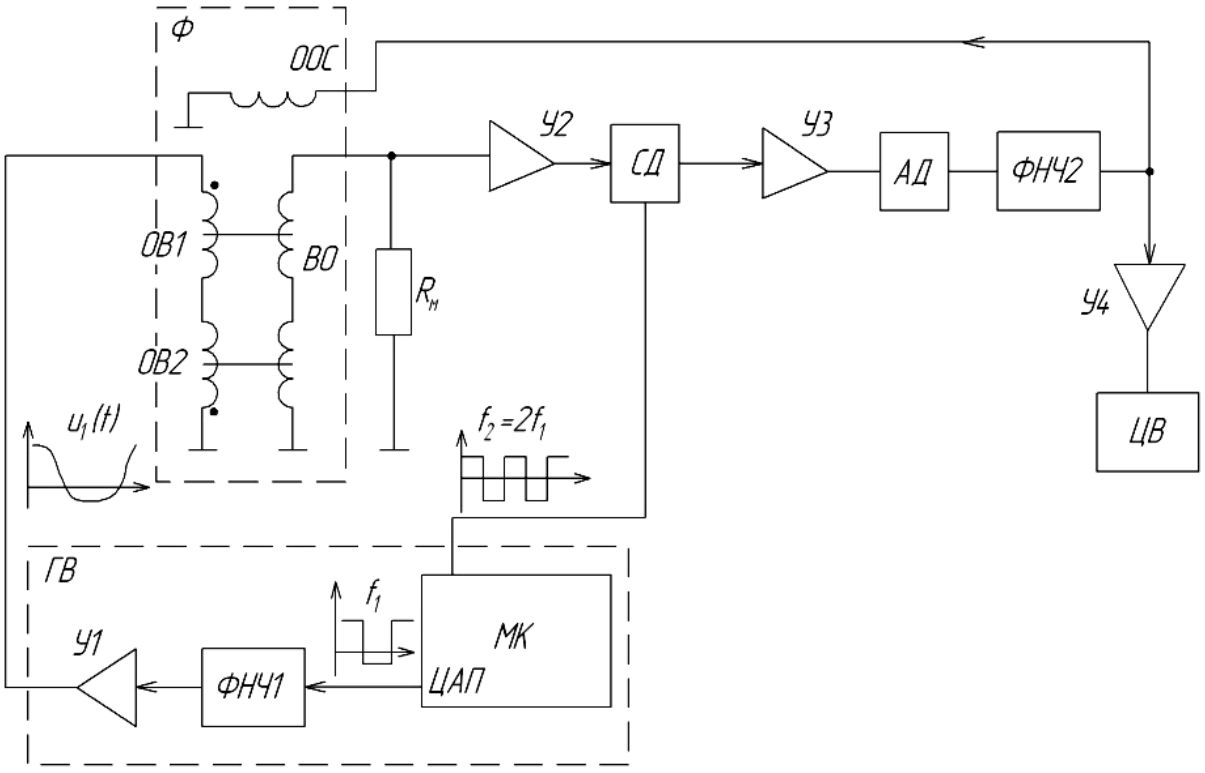


Рис. 1. Блок-схема магнитометрического канала: ГВ – генератор возбуждения; МК – микроконтроллер; ФНЧ1, ФНЧ2 – фильтр низкой частоты; У1–У4 – усилители; СД – синхронный детектор; АД – амплитудный детектор; ЦВ – цифровой вольтметр; Ф – феррозонд; ОВ1, ОВ2 – обмотки возбуждения; ВО – выходная обмотка; ООС – обмотка обратной связи

Полученная погрешность магнитоизмерительного канала обеспечивает достаточную точность для контроля механического напряжения металлоконструкций, находящихся под технологическими нагрузками, а также под воздействием внешних факторов. Полученные результаты проведенного эксперимента дают возможность разработать и изготовить опытно-промышленный образец феррозондового устройства непрерывного контроля механических напряжений металлоконструкций при эксплуатации.

Источники

1. Мирошников В.В., Завальнюк О.П. Исследование возможности контроля упругих напряжений по величине остаточной намагниченности металла // Вісник Національного технічного університету «ХПІ»: збірник наукових праць. 2013. № 34(1007). С. 12–17. (Сер. «Електроенергетика та перетворювальна техніка»).

2. Афанасьев Ю.В. Феррозондовые приборы Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1986. 188 с.

УДК 20.01.07+20.15.05

О ВНЕДРЕНИИ ЦИФРОВЫХ ПЛАТФОРМ В ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Юрий Николаевич Смирнов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

mmite@inbox.ru

Представлены материалы по созданию и внедрению цифровых платформ предприятий. Приведены схемы проектирования и создания цифровых двойников предприятий, уровней создания цифровых платформ. Рассмотрены проблемы информационной безопасности.

Ключевые слова: цифровые технологии, цифровые платформы предприятий, проектирование цифрового предприятия, информационно-математическая модель, имитационное исследование, информационная безопасность.

THE INTRODUCTION OF DIGITAL PLATFORMS FOR INDUSTRIAL ENTERPRISES

Yury Nikolaevich Smirnov

Materials on creation and implementation of digital platforms of enterprises are presented. Schemes of design and creation of digital twins of the enterprises, levels of creation of digital platforms are resulted. The problems of information security are considered.

Key words: digital technologies, digital enterprise platforms, digital enterprise design, information and mathematical model, simulation research, information security.

Введение и основные понятия

Цифровое предприятие – это программное обеспечение цифрового двойника предприятия с поддержкой цифровых моделей объектов инфраструктуры, продуктов, технологий, процессов и их связей.

Цифровое предприятие – система, построенная на когнитивных технологиях по схеме «сущности и их связи» и обладающая всеми свойствами «умного» предприятия.

Проект цифрового предприятия, цифрового двойника компании должен обладать следующими ключевыми целевыми преимуществами.

1. Интегрировать в себя всю архитектуру предприятия для возможного ее исследования и оптимизации.

2. В качестве основ управления должен использовать управление потоком создания стоимости [1–4] для повышения его эффективности, поддерживать весь жизненный цикл проектирования, создания, реализации и возможно утилизации продукции, жизненные циклы бизнес-процессов предприятия, использоваться как эффективная система планирования и управления, в том числе календарного.

3. Должен включать в себя имитационную систему построения всевозможных сценариев развития предприятия [5, 6].

4. Должен позволять оценить эффективность инвестиций на любую модернизацию и развитие предприятий [7].

5. Должен включать в себя развитую аналитику с когнитивными и предиктивными технологиями.

Реализация именно этих перечисленных целевых показателей в проекте цифрового предприятия обеспечивает преимущества стратегии создания и использования цифрового предприятия.

Цифровая трансформация деятельности предприятий и цифровые технологии

Цифровая трансформация деятельности предприятий происходит, как правило, в разрезе жизненного цикла продукции: проектирования, подготовки производства, производства, продажи и обслуживания, как это показано на рис. 1.

В конечном счете, в результате цифровой трансформации появляются: цифровой двойник продукции, цифровой двойник технологий производства, цифровой двойник производства со своей системой управления, а также цифровой маркетинг и сбыт.

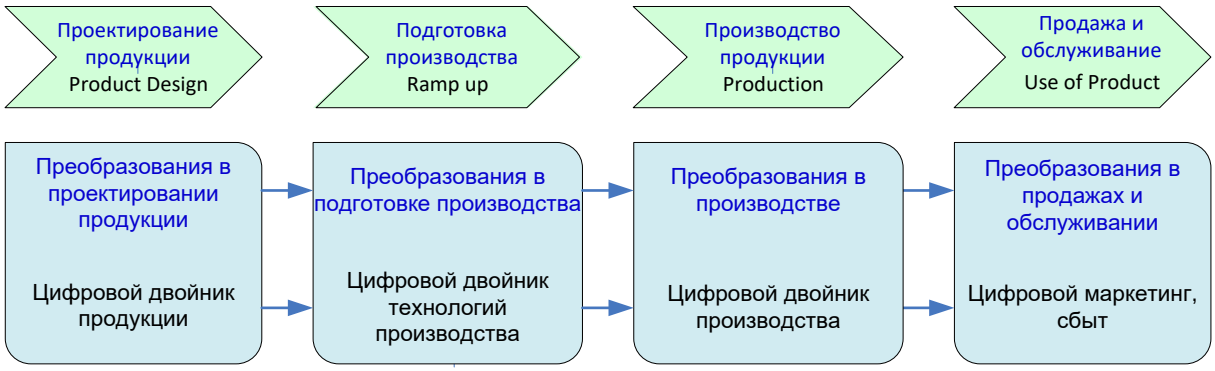


Рис. 1. Схема цифровой трансформации деятельности предприятия

На разных этапах жизненного цикла цифрового продукта могут использоваться различные цифровые технологии: бионический дизайн, инжиниринг и реинжиниринг [1–4], «умные продукты», киберфизические системы, аддитивные технологии, дополненная реальность, имитационные технологии, симуляция, промышленный интернет, облачные технологии, анализ больших данных, когнитивные технологии, предиктивный анализ, система распределенного реестра, квантовые технологии, 3D-технологии, геоинформационные системы, информационно-математическое моделирование [5, 6] и другие (рис. 2).



Рис. 2. Основные цифровые технологии

Эти технологии интенсивно развиваются, появляются новые, и все они предназначены для создания цифрового двойника предприятия в целом.

Уровни создания цифровых платформ

Различные составляющие цифровых платформ предприятия развиваются по своим законам и вносят свой вклад в развитие предприятия.

Уровень автоматизации, роботизации производственных процессов, решения технологических бизнес-задач [1, 2]. Потенциал повышения

эффективности технологических процессов средствами автоматизации огромный, абсолютное большинство промышленных предприятий уделяют этому значительное внимание.

Промышленный интернет как средство интеграции всего технологического оборудования в единую сеть, формирования больших данных мониторинга оборудования в облаке и последующее использование этих данных в когнитивных и предиктивных анализах.

Интегрированная информационная система как средство поддержки управления бизнес-процессами и реализации учетной политики предприятия [8]. Эта система может быть вершиной реализации предыдущих двух цифровых платформ, как это показано на рис. 3.

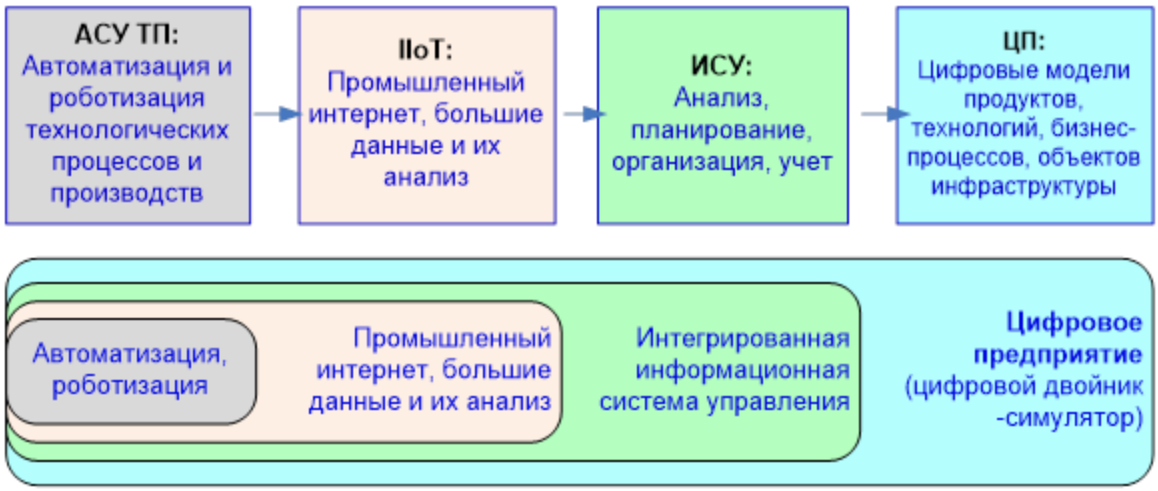


Рис. 3. Уровни создания цифровых платформ

Цифровой двойник предприятия (цифровое предприятие) является конечной целью создания универсального инструмента – драйвера роста бизнеса. Характерными особенностями цифрового двойника являются:

1. Поддержка цифрового двойника продукций предприятий (конструкторской подготовки).

2. Поддержка цифрового двойника технологий производства (технологической подготовки производства).

3. Поддержка систем управления всеми бизнес-процессами, в том числе производственными.

4. Поддержка цифровой системы продвижения и реализации продукции (маркетинга).

5. Поддержка моделей потока создания стоимости на предприятии.

6. Поддержка цифровых моделей объектов и параметров инфраструктуры предприятий, влияющих на поток создания стоимости.

7. Поддержка когнитивных, предиктивных, облачных и других технологий, геоинформационных систем и систем информационно-математического [5, 6], геометрического моделирования, интеграцию всех используемых предприятием платформ.

Проектирование цифрового предприятия

Поток создания стоимости является одним из ключевых элементов повышения эффективности деятельности компании. Логично его построить на основе реинжиниринга бизнес-процессов в виде модели управления бизнес-продуктами предприятий [1–4]. В этом случае предприятие представляет собой последовательность параллельно взаимосвязанных бизнес-процессов, а каждый бизнес-процесс – последовательность параллельно взаимосвязанных бизнес-задач. Решение бизнес-задач дает бизнес-продукт, поддающийся технико-экономической оценке. Поэтому поток создания стоимости представляет собой поток решений бизнес-задач, поток бизнес-продуктов. Такой поток создания стоимости можно построить для каждого бизнес-процесса, всего предприятия [3, 4]. Схема проектирования цифрового предприятия на основе процессно-задачного (процессно-продуктового) реинжиниринга бизнес-процессов предприятия представлена на рис. 4.

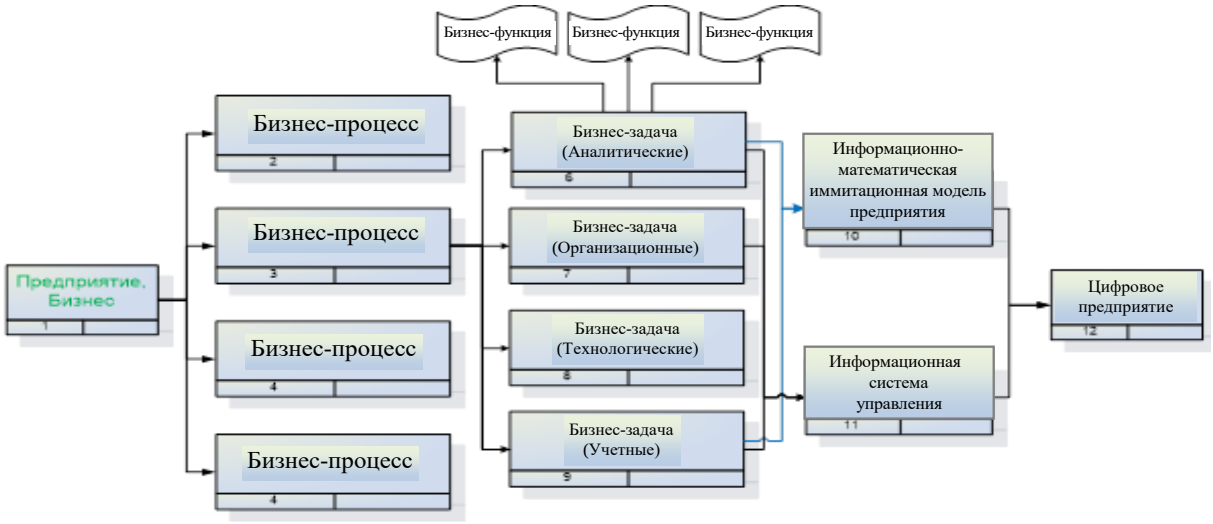


Рис. 4. Схема проектирования цифровых предприятий

В результате реинжиниринга бизнес-процесса предприятия создаются два ключевых элемента информационной инфраструктуры предприятия.

1. Информационно-математическая имитационная модель деятельности предприятия [5, 6], построенная на совокупности взаимосвязанных математических моделях решения аналитических задач (10-й элемент на рис. 4).

2. Информационная система управления предприятием, служащая основой решения организационных задач и реализации учетной политики предприятия (11-й элемент на рис. 4).

Цифровое предприятие, построенное на основе этих двух элементов, позволяет реализовать все ключевые преимущества использования цифровых платформ.

Информационная безопасность

В условиях цифровизации весьма актуальной становится проблема обеспечения информационной безопасности предприятий. Методы, модели и инструменты обеспечения информационной безопасности зависят в значительной степени от информационной инфраструктуры предприятия. На каждом уровне цифровой платформы предприятия используются свои подходы к защите от киберугроз. Для мониторинга информационных потоков и анализа аномалий часто используются технологии нейронных сетей. В целом существуют два класса инструментов защиты от внешних угроз: технические и программные. Их внедрение, как правило, основывается на стандарте информационной безопасности предприятия с учетом всей специфики реализации цифровых платформ.

Источники

1. Смирнов Ю.Н. Процессно-задачный инжиниринг бизнес-процессов и стандарт управления предприятием // Интеграл. 2007. № 5. С. 54–55.

2. Смирнов Ю.Н. Основные бизнес-задачи предприятия // Интеграл. 2008. № 3. С. 96–98.

3. Смирнов Ю.Н. Процессно-продуктовый подход к экономике и управлению на предприятиях // Интеграл. 2009. № 6. С. 88–89.

4. Смирнов Д.Ю., Смирнов Ю.Н. О характеристиках потоков создания стоимости на предприятиях // Интеграл. 2010. № 6. С.72–73.

5. Смирнов Ю.Н. Общая и имитационная информационно-математические модели деятельности предприятия // Интеграл. 2007. № 6. С. 46–47.

6. Смирнов Ю.Н. Календарное планирование и анализ развития предприятия на основе информационно-математической модели // Интеграл. 2009. № 2. С. 24–25.

7. Смирнов Ю.Н., Сидорова Е.А. Методика обоснования эффективности инвестиций в инновационный процессно-продуктовый менеджмент // Интеграл. 2010. № 3. С. 78–79.

8. Петухова К.В., Смирнов Ю.Н. Процессный подход к управленческому учету и учетной политике предприятия // Интеграл. 2011. № 2. С. 81–82.

УДК 20.01.07+20.15.05

ОБ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВИЗАЦИИ

Юрий Николаевич Смирнов[1], Ринат Ильдусович Фатыхов[2]

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

[1,2]mmite@inbox.ru

В работе рассмотрены вопросы обеспечения информационной безопасности промышленных предприятий в условиях цифровизации. Предложено сегментирование моделей, методов и технологий обеспечения информационной безопасности в соответствии с цифровыми платформами предприятия.

Ключевые слова: информационная безопасность, цифровые платформы предприятий, сегментирование информационной безопасности.

ABOUT INFORMATION SECURITY OF INDUSTRIAL ENTERPRISES IN TERMS OF DIGITALIZATION

Yury Nikolaevich Smirnov, Rinat Ildusovich Fatikhov

The paper addresses the issues of ensuring the information security of industrial enterprises in the conditions of digitalization. The proposed segmentation of models, methods and technologies for ensuring information security in accordance with the enterprise digital platforms.

Key words: information security, digital platforms, information security segmentation.

Развитие цифровых технологий и цифровых платформ предприятий делают актуальными вопросы обеспечения информационной безопасности. Существуют различные модели, методы и технологии обеспечения информационной безопасности. Однако эффективность их применения в значительной степени зависят от информационной инфраструктуры предприятия. Эта зависимость слабо изучена, не структурирована.

Сегментирование проблем информационной безопасности

В основу политики обеспечения информационной безопасности предприятия можно положить следующие положения.

1. Технические, технологические и программные решения по обеспечению защиты от киберугроз должны основываться на стандарте (документированных процедурах, решениях) информационной безопасности.

2. Необходимо сегментирование проблем информационной безопасности в соответствии с информационной инфраструктурой предприятия, а следовательно, стандарт информационной безопасности должен включать разделы моделей, методов и технологий информационной безопасности разных уровней цифровых платформ предприятий (рис. 1).

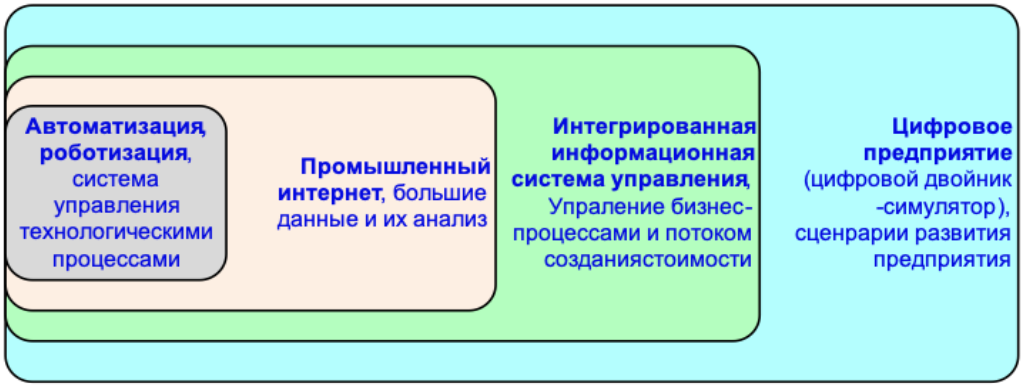


Рис. 1. Уровни цифровых платформ предприятия

1. Уровень автоматизации и роботизации. Здесь актуальна защита системы автоматизированного управления технологическими процессами.

2. Уровень промышленного интернета. Здесь очень актуальны технологии хранения и защиты информационных потоков.

3. Уровень интегрированной информационной системы управления. Здесь актуальна защита автоматизированного управления бизнес-процессами, потока создания стоимости на предприятии.

4. Уровень цифрового предприятия. Этот уровень защиты всей интегрированной среды цифрового предприятия, использующей предыдущие три цифровые платформы.

На каждом уровне цифровой платформы предприятия используются свои технологии защиты от киберугроз. Основными технологиями являются:

1. Технологии хранения информационных ресурсов.
2. Технологии управления доступом к ресурсам.
3. Технологии мониторинга и анализа информационных потоков. Здесь актуальными являются выявление аномалей в информационных потоках с использованием различных методов, в том числе нейронных сетей.
4. Защиты от вирусов и вредоносных кодов программ.

Внедрение этих технологий обеспечения информационной безопасности предприятия осуществляется с учетом всей специфики реализации цифровых платформ на предприятиях. Одновременно актуальны вопросы защиты технического обеспечения информационной инфраструктуры: компьютерных сетей, систем телекоммуникации.

Архитектура компьютерных сетей и систем телекоммуникации

На сегодняшний день типовые архитектуры локальных вычислительных сетей представляет из себя смешанную схему с разделением на сегменты. Как правило деление осуществляется на два сегмента: локальная сеть и DMZ.

Несмотря на мероприятия по реализации отказоустойчивости сети всегда будут присутствовать типовые точки отказа – такие как шлюз выхода в интернет, хранилище базы данных и другие. Также усложняется задача администрирования данных систем - правила маршрутизации концентрируются в единой точке прохождения трафика, что, очевидно, является еще одной потенциальной точкой критического отказа системы. В условиях наличия цифрового двойника предприятия является обязательным условием круглосуточная работа информационной системы. Отказ в работе даже на короткое время может привести к большим убыткам, потери актуальности данных в системе, и большим проблемам и трудозатратам в исправлении последствий подобных ошибок.

Таким образом, потенциальному злоумышленнику для того чтобы нанести ущерб предприятию достаточно совершить атаку не против всей инфраструктуры предприятия, а одной двух критичных точек, что впоследствии приведет к потере функциональности всей системы.

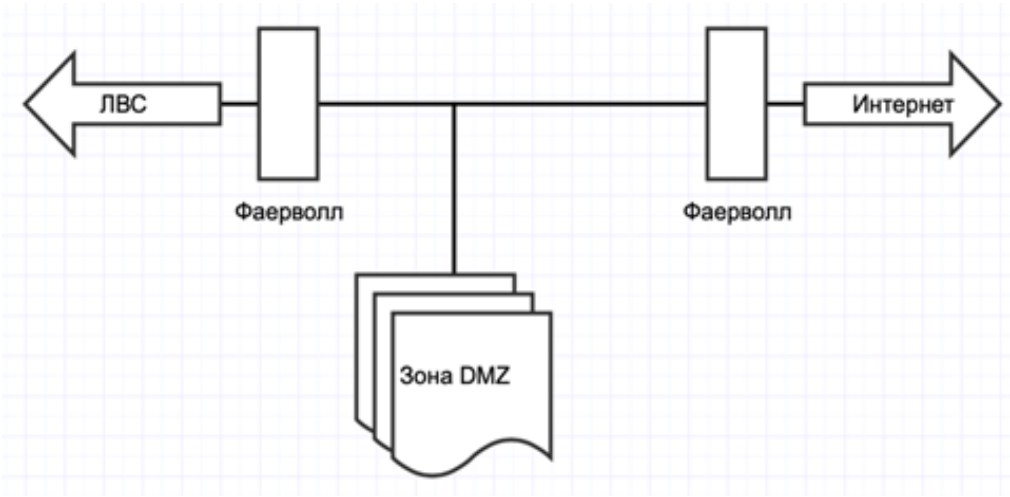


Рис. 2. Типовая архитектура сети

В контексте данной работы предлагается методология архитектуры вычислительной сети с учётом вышеперечисленных проблем. Предлагается дробление на сегменты сети в соответствии с функциональными ролями оборудования находящегося в данной сети (рис. 2).

Данный подход позволяет таргетированно управлять правами доступа, осуществлять мониторинг трафика между сегментами, реализовать отказоустойчивость благодаря дублированию доступа к сегментам. Причем в случае атаки, сегмент подобное архитектурное решение, предоставляет возможность отключить доступ к нему по каналу, используемому атакующим, и обеспечить маршрутизацию трафика через вспомогательные маршруты. Подобная сеть динамически сможет реагировать на определенные

внешние события, изменяя структуру маршрутизации, увеличивая надежность в целом. Подход с использованием нескольких точек выхода в сеть интернет гарантирует возможность гибкой настройки прав доступа к ресурсам, динамичному изменению маршрутов доступа и изменения, с точки зрения атакующего, структуры сети, что усложнит задачу.

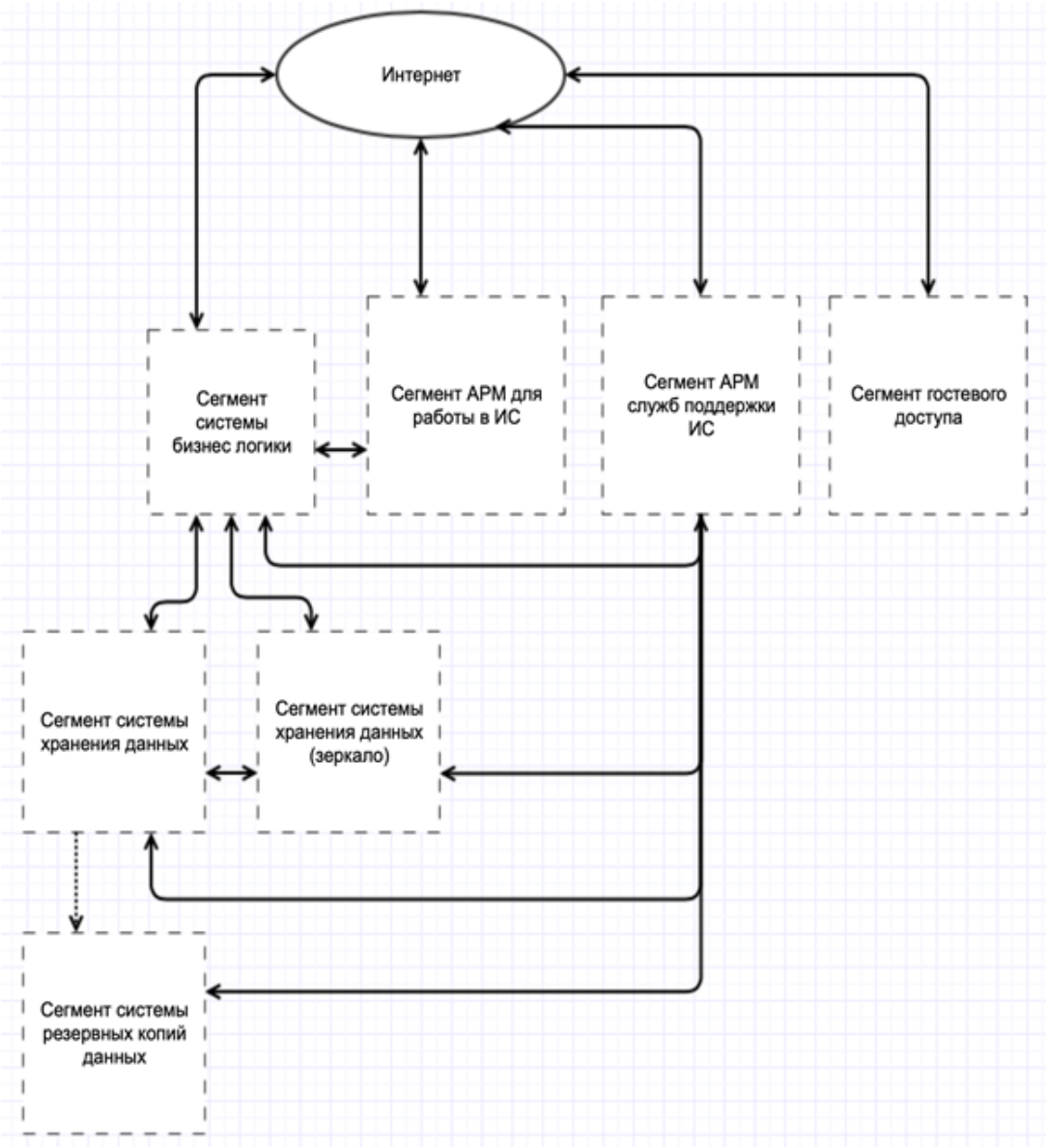


Рис. 3. Деление сети на сегменты на базе функционала элементов сегмента

Таким образом, возможность динамического изменения маршрутизации трафика внутри информационной системы предоставляет очевидные плюсы в виде повышения отказоустойчивости системы, усложнения задачи компрометации системы со стороны потенциальных злоумышленников, возможности более гибкого администрирования системы, структуризации ЛВС согласно функционалу сегментов сети. На рис. 3 показано деление сети сегменты на базе функционала элементов сегмента.

УДК 621.38

МОДЕЛЬ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТОЧЕК ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ЛАПКИ МАНИПУЛЯТОРОВ

Натиг Гасан оглы Талыбов

СГУ, г. Сумгаит, Республика Азербайджан

natiq1965@bk.ru

Построена база правил нечетких продукций для определения точек перемещения лапки захватывающих устройств роботов. Реализованы процедуры фаззификации и агрегирования всех входных лингвистических переменных и определена степень истинности всех условий. Продукционная модель представлена в виде раскрашенных сетей Петри. В результате симуляции получено дерево достижимости в виде последовательных матриц.

Ключевые слова: модель, раскрашенные сети Петри, точки перемещения лапки, правила продукций, функция принадлежности.

MODEL OF DECISION MAKING FOR DETERMINATION OF DISPLACEMENT POINTS OF MANIPULATORS' LEGS

Talibov Natig Hasan oglu

A base of fuzzy product rules has been built for determining the displacement points of the grasping devices legs of robots. The procedures of fuzzification and aggregation of all input linguistic variables are implemented and the degree of verity of all conditions is determined. The production model is presented in the form of colored Petri nets. As a result of the simulation, a reachability tree is obtained in the form of sequential matrices.

Key words: model, colored Petri nets, displacement points of legs, product rules, membership function.

В модели принятия решений для определения координат точки перемещения лапки манипулятора используются правила нечетких продукций, в которых условия и заключения сформулированы в терминах нечетких лингвистических высказываний следующего вида [1, 3]:

Если x_1 есть α_1
И x_2 есть α_2 И …
И x_{n-1} есть α_{n-1},
ТО x_n есть α_n;

где $x_1, x_2,\ldots,x_n$ – названия лингвистической переменной; $\alpha_1, \alpha_2,\ldots, \alpha_{n-1}, \alpha_n$ – их значения, которым соответствуют отдельные лингвистические термы из базового терм-множества отдельных лингвистических переменных.

Для формирования базы правил систем нечетких продукций определяются входные и выходные лингвистические переменные. В качестве входных лингвистических переменных следует формально использовать следующие: длина карточки; ширина карточки; вес карточки.

В качестве выходной лингвистической переменной следует формально использовать точки перемещения.

База нечетких продукций для определения точки перемещения лапки захватывающих устройств состоит из следующих правил.

Правило 1. Если длина, ширина и вес карточки соответствуют нормальному, близко к нормальному, И, точки перемещения лапки захватывающего устройства соответствуют нулю или близки к нулю;

Правило 2. Если длина, ширина и вес карточки соответствует отрицательному, близко к нормальному, И, точки перемещения лапки захватывающего устройств соответствует нулю или близки к нулю;

Правило 3. Если длина, ширина и вес карточки соответствует положительному, близко к нормальному, И, точки перемещения лапки захватывающего устройства соответствуют нулю или близки к нулю;

Правило 4. Если длина карточки отрицательное малое, И ширина карточки отрицательное малое, И вес карточки отрицательное малое, ТО точки перемещения лапки захватывающего устройства соответствуют отрицательному близко к нулю;

Правило 5. Если длина карточки положительное малое, И ширина карточки положительное малое, И вес карточки положительное малое, ТО точки перемещения лапки захватывающего устройства соответствуют положительному близко к нулю;

Правило 6. Если длина, ширина и вес карточки отрицательное среднее, И, точки перемещения лапки захватывающего устройства соответствуют отрицательному среднему;

Правило 7. Если длина, ширина и вес карточки положительное среднее, И, точки перемещения лапки захватывающего устройства соответствуют положительному среднему;

Правило 8. Если длина, ширина и вес карточки отрицательное большое, И, точки перемещения лапки захватывающего устройство соответствуют отрицательному большому;

Правило 9. Если длина, ширина и вес карточки положительное большое, И, точки перемещения лапки захватывающего устройства соответствуют положительному большому.

Для фаззификации входных лингвистических переменных «длина карточки», «ширина карточки», «вес карточки» использована трапециевидная функция принадлежности, которая задается следующими выражениями [2]:

$$f(x,\ a,\ b,\ c,\ d) = \begin{cases} 0, \text{ если } x \le a; \\ \dfrac{x-a}{b-a}, \text{ если } a \le x \le b; \\ 1, \text{ если } b \le x \le c; \\ \dfrac{d-x}{d-c}, \text{если } c \le x \le d; \\ 0, \text{если } a \le d \le x; \end{cases}$$

где $a,\ b,\ c,\ d$ – некоторые произвольные действительные числа, удовлетворяющие $a \le b \le c \le d$.

В качестве терм-множества всех входных лингвистических переменных будем использовать следующие множества: T = {нормальное, близко к нормальному; отрицательное, близко к нормальному; положительное, близко к нормальному; отрицательное малое; положительное малое; отрицательное среднее; положительное среднее; отрицательное большое; положительное большое}.

Нечеткие множества входных лингвистических переменных определяются следующим образом:

$$\tilde{X}(\text{длина карточки}) = 0{,}118 / x_1 + 0{,}215 / x_2 + 0{,}395 / x_3 + 0{,}895 / x_4 +$$
$$+1{,}000 / x_5 + 0{,}840 / x_6 + 06{,}412 / x_7 + 0{,}200 / x_8 + 0{,}092 / x_9;$$

$$\tilde{Y}(\text{ширина карточки}) = 0{,}101 / x_1 + 0{,}325 / x_2 + 0{,}578 / x_3 + 0{,}899 / x_4 +$$
$$+1{,}000 / x_5 + 0{,}950 / x_6 + 0{,}483 / x_7 + 0{,}197 / x_8 + 0{,}070 / x_9;$$

$$\tilde{Z}\ (\text{вес карточки}) = 0{,}113 / x_1 + 0{,}296 / x_2 + 0{,}557 / x_3 + 0{,}897 / x_4 +$$
$$+1{,}000 / x_5 + 0{,}922 / x_6 + 0{,}499 / x_7 + 0{,}102 / x_8 + 0{,}093 / x_9.$$

В качестве терм-множества выходных лингвистических переменных использовано множество T_1 = {нуль, близко к нулю; отрицательное, близко к нулю; положительное, близко к нулю; отрицательное среднее; положительное среднее; положительное среднее; отрицательное большое; положительное большое}.

Нечеткие множества выходных лингвистических переменных определяют следующим образом:

$$\tilde{B} \text{ (точек перемещения)} = 0{,}102/x_1 + 0{,}199 / x_2 + 0{,}410 / x_3 + 0{,}786 / x_4 + \\ +1{,}000 / x_5 + 0{,}890 / x_6 + 0{,}554 / x_7 + 0{,}285 / x_8 + 0{,}132 / x_9.$$

Разработана нечеткая продукционная модель принятия решения для определения точки перемещения координат лапки захватывающего устройства в условиях неопределенности. Создана база правил для определения перемещения точки координат и реализована процедура фаззификации всех подусловий входных лингвистических переменных. Определены степени истинности условий в правилах нечеткой продукции. Реализована процедура активизации и найдены все значения степеней истинности под-заключений для каждого правила.

Продукционная модель определения точки перемещения лапки захватов промышленных роботов представляется в виде раскрашенных сетей Петри.

Раскрашенные сети Петри формально могут быть представлены в следующем виде [4]:

$$N = \left(P, T, \Omega, F, H, \lambda, \varphi, \psi, \mu_0\right),$$

где $P = \{p\}$ – непустое конечное множество позиций; $T = \{t\}$ – непустое конечное множество переходов; $\Omega = \{\omega\}$ – непустое конечное множество цветов позиций и маркеров; F, H – функция соответственно инцидентности множества позиций и переходов; λ – функция распределения цветов по позициям сети; φ, ψ – функции распределения цветов маркеров соответственно по входным и выходным позициям переходов сети; μ_0 – начальная маркировка сети.

Функции φ и ψ задают законы срабатывания переходов и определяют распределение цветов маркеров по позициям сети в процессе ее функционирования.

Маркировка позиций сети представляется в виде матрицы, элементы которой составлены из числа маркеров ω в позиции p.

В граф-модели раскрашенных сетей Петри состояния точки перемещения лапки захватывающих устройств описываются следующими позициями [5]: P_1 – наличие карточки; P_2 – длина карточки малая, близко к малому; P_3 – длина карточки средняя, близко к среднему; P_4 – длина

карточки большая, близко к большому; P_5 – ширина карточки малая, близко к малому; P_6 – ширина карточки средняя, близко к среднему; P_7 – ширина карточки большая, близко к большому; P_8 – вес карточки малый, близко к малому; P_9 – вес карточки средний, близко к среднему; P_{10} – вес карточки большой, близко к большому; P_{11} – диапазон точки перемещения лапки захватывающего устройства отрицательный, близко к нормальному; P_{12} – диапазон точки перемещения лапки захватывающего устройства нормальный, близко к нормальному; P_{13} – диапазон точки перемещения лапки захватывающего устройства положительный близко к нормальному; P_{14} – точки неподвижности лапки захватывающего устройства.

Возможные события в модели описываются следующими переходами: t_1 – определение длины карточки; t_2 – определение ширины карточки; t_3 – определение веса карточки; $t_4 - t_6$ – соответственно перемещение лапки захватывающего устройства по координатами; t_7 – определение точки неподвижности лапки захватывающего устройства.

Функции инцидентности множества позиций и переходов представляются матрицами:

$$F(14,7) = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix}$$

$$H(7,14)=\begin{vmatrix}1&1&1&1&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0\\1&0&0&0&1&1&1&0&0&0&0&0&0&0\\1&0&0&0&0&0&0&1&1&1&0&0&0&0\\0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&1&0&0&0\\0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&1&0&0\\0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&1&0\\0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&0&1\end{vmatrix}$$

Матрицы распределения цветов маркеров по входным и выходным позициям переходов представляется матрицами:

$$\Phi(7,8)=\begin{vmatrix}1&0&0&0&0&0&0&0\\0&1&0&0&0&0&0&0\\0&0&1&0&0&0&0&0\\0&3&0&0&0&0&0&0\\0&0&3&0&0&0&0&0\\0&0&0&3&0&0&0&0\\0&0&0&0&0&0&0&3\end{vmatrix}\qquad \psi(7,8)=\begin{vmatrix}1&1&1&1&0&0&0&0\\1&1&1&1&0&0&0&0\\1&1&1&1&0&0&0&0\\0&0&0&0&1&0&0&0\\0&0&0&0&0&1&0&0\\0&0&0&0&0&0&1&0\\0&0&0&0&0&0&0&1\end{vmatrix}$$

Распределение цветов маркеров по позициям сети представляется матрицей $\Lambda(14,8)$:

$$\Lambda(14,8)=\begin{vmatrix}1&0&0&0&0&0&0&0\\0&1&0&0&0&0&0&0\\0&0&1&0&0&0&0&0\\0&0&0&1&0&0&0&0\\0&1&0&0&0&0&0&0\\0&0&1&0&0&0&0&0\\0&0&0&1&0&0&0&0\\0&1&0&0&0&0&0&0\\0&0&1&0&0&0&0&0\\0&0&0&1&0&0&0&0\\0&0&0&0&1&0&0&0\\0&0&0&0&0&1&0&0\\0&0&0&0&0&0&1&0\\0&0&0&0&0&0&0&1\end{vmatrix}$$

В результате симуляции получена последовательность запуска срабатывания переходов в виде:

$$\tau_1 = (t_1, t_2, t_3, t_4, t_7),\ \tau_2 = (t_1, t_2, t_3, t_5, t_7),\ \tau_3 = (t_1, t_2, t_3, t_6, t_7)\ .$$

Граф-модель определения координаты точки перемещения лапки захватывающих устройств показана на рис. 1.

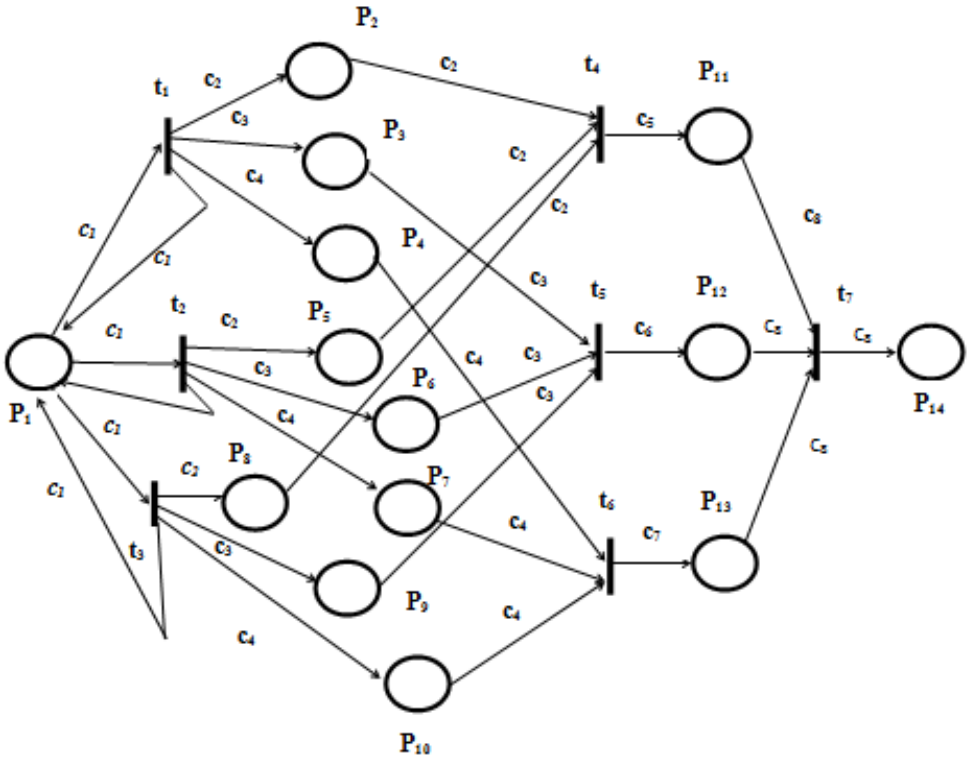


Рис. 1. Граф-модель определения координаты точки перемещения лапки захватывающих устройств

Источники

1. Борисов В.В., Круглов В.В., Федулов Ф.С. Нечеткие модели и сети. М.: Телеком, 2012. 725 с.

2. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде МАТЛАБ и fuzzy TECH. СПб.: Петербург, 2005. 717 с.

3. Мустафаев В.А. Анализ нечетких продукционных моделей динамических взаимодействующих процессов // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2012. № 5(95). С. 25–30.

4. Карпов Ю.Г. Model Cheking. Верификация параллельных и распределенных программных систем. СПб.: БХВ-Петербург, 2010. 560 с.

5. Мустафаев В.А., Гусейнзаде Ш.С. Разработка модели управления обрабатывающего центра с применением раскрашенных сетей Петри // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2018. № 3(165). С. 36–44.

Секция 2. ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА, ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И АВТОМАТИЗИРВОАННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД В ТЭК И ЖКХ

УДК 621.315.1

АКТУАЛЬНОСТЬ БЕЗОПАСНОГО ПРОИЗВОДСТВА РАБОТ ПОД НАПРЯЖЕНИЕМ НА ВЛ 0,4 КВ

Аэлита Рамилевна Абубакирова[1], Ольга Германовна Губаева[2]

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

[1]aelita.abubakirova@mail.ru, [2]mr.gubaev@mail.ru

Выполнение работ под напряжением обеспечивает бесперебойность электроснабжения потребителей и повышает безопасность обслуживающего персонала. В связи с этим в электрических сетях применяется регулирование напряжения.

Ключевые слова: работа под напряжением (РПН), электрические сети, электроснабжение, электробезопасность, электротравматизм.

ACTUALITY OF SAFE OPERATION OF WORKS UNDER VOLTAGE ON HVL 0.4 KV

Aelita Ramilevna Abubakirova, Olga Germanovna Gubaeva

Work under voltage ensures uninterrupted power supply to consumers and increases the safety of service personnel. In this regard, voltage regulation is applied in electrical networks.

Key words: work under voltage (RPN), electrical networks, power supply, electrical safety, electrical injury.

В рыночных условиях потребители электроэнергии становятся все более требовательными. Все сложнее проводить работы, связанные с отключением электропитания. Предприятие должно не только поддерживать работоспособность оборудования и сетей на высоком уровне и качественно проводить эксплуатационные и ремонтные работы, но и соблюдать режим бесперебойного снабжения потребителей электроэнергией. Единственным способом непрерывного электроснабжения является проведение всех вышеназванных работ в сетях под напряжением (РПН) [1].

Основными преимуществами проведения работ под напряжением являются:

• обеспечение электроэнергией потребителей даже при ремонте нерезервируемого оборудования;

• снижение капиталовложений на создание резервных источников энергоснабжения;

• снижение потерь электроэнергии в замкнутых электрических сетях.

Актуальность совершенствования работ под напряжением обусловлена также возможностью снижения электротравматизма. При выполнении работ под напряжением исключается ряд наиболее травмоопасных операций, например, таких как проверка отсутствия напряжения на токоведущих частях, отключение и включение коммутационных аппаратов [2].

Таким образом, структура построения электрических сетей такова, что возможна гальваническая связь между сетью 10 кВ и 0,4 кВ. Целью ссследования является выяснение опасности подобного явления в сети 0,4 кВ для электромонтера, выполняющего работу под напряжением.

Источники

1. Работы под напряжением безопаснее работ на отключенных электроустановках // Новости электротехники. 2008. №2 (50). URL: http:// news.elteh.ru/arh/2008/50/18.php (дата обращения:)

2. ГОСТ 28259-89 (СТ СЭВ 6462-88). Производство работ под напряжением в электроустановках. М.: Изд-во стандартов, 1989.

УДК 51-7

ИССЛЕДОВАНИЕ СОБСТВЕННЫХ МОД КОЛЕБАНИЙ ЛЭП МЕТОДОМ НАЧАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ

Алексей Васильевич Авилов[1], Наталья Васильевна Авилова[2], Дмитрий Викторович Тринц[3]

ДГТУ, г. Ростов-на-Дону

[1]av100982@ rambler.ru, [2]av170556@ rambler.ru, [3]dtrintz@mail.ru

В статье представлена методика расчета собственных мод колебаний линий электропередач методом начальных параметров, что позволит определять резонансные области вибрации кабелей для различных схем закрепления, проводить учет ветровых нагрузок и выполнять оптимальный выбор устройств для подавления вибрации на линиях электропередач (ЛЭП).

Ключевые слова: линия электропередач, собственные моды колебаний, вибрация, метод начальных параметров (ЛЭП).

STUDY OF OWN MODELS OF VIBRATIONS OF POWER LINES BY THE METHOD OF INITIAL PARAMETERS

Alexey Vasilievich Avilov, Natalia Vasilyevna Avilova, Trints Dmitry Viktorovich

The article presents the method of calculating the eigenmodes of oscillations of power lines by the method of initial parameters, which will allow to determine the resonant regions of cable vibrations for various fastening schemes, take wind loads into account and make the optimal choice of devices for suppressing vibration on power lines.

Key words: power line, eigenmodes of vibrations, vibration, method of initial parameters (PTL).

Вибрация проводов ЛЭП при отсутствии защиты от нее часто служит причиной обрывов и усталостных повреждений проводов. Интенсивная вибрация приводит к обрыву проволок провода в пролете в местах заводской сварки (где ремонт провода очень затруднен); вызывает самоотвинчивание болтовых соединений; повреждение шплинтовых соединений деталей линейной арматуры; вызывает резонансные колебания защитной арматуры гирлянд (колец) и конструктивных элементов опор (тяги, элементы решетки), что приводит к их разрушению.

Оценим частотные свойства гибкого кабеля с учетом того, что изгибная жесткость его пренебрежительно мала. С целью построения наиболее простой модели для расчета собственных частот кабеля воспользуемся методом начальных параметров[1].

Дифференциальное уравнение поперечных колебаний гибкого кабеля запишем в виде:

$$N\frac{\partial^2\xi}{\partial x^2} - m\frac{\partial^2\xi}{\partial t^2} = 0, \qquad (1)$$

где ξ – поперечное перемещение; m – полярный момент инерции поперечного сечения стержня относительно центра кручения; N – осевая растягивающая сила.

Полагая, что $\xi(x, t) = z(x)\sin(\omega t)$, получим из выражения (1):

$$\frac{\partial^2 z}{\partial x^2} - \frac{\lambda^2 z}{l^2} = 0; \qquad (2)$$

$$\frac{m\omega^2}{N} = \frac{\lambda^2}{l^2},$$

где l – пролет кабеля; ω – круговая частота собственных колебаний.

Введем обозначение поперечной силы $Q = Nz'$, где z' – производная от функции $z(x)$. Выражая решение уравнения (2) через начальные параметры $z(0)$ и $Q(0)$, запишем:

$$Z^{\text{н}}(x) = A^{\text{н}}(x)Z^{\text{н}}(0), \qquad (3)$$

где

$$Z^{\text{н}}(0) = \begin{bmatrix} Z(0) \\ Q(0) \\ N \end{bmatrix}; \quad Z^{\text{н}}(x) = \begin{bmatrix} Z(x) \\ Q(x) \\ N \end{bmatrix}.$$

Матрица $A^{\text{н}}(x)$ преобразует изображение параметров сечения с абсциссой $x=0$ в параметры сечения с абциссой x:

$$A^{\text{н}}(x)=\begin{bmatrix} \cos\lambda_i\dfrac{x}{l} & \dfrac{l_i}{\lambda_i}\sin\lambda_i\dfrac{x}{l} \\ -\dfrac{l_i}{\lambda_i}\sin\lambda_i\dfrac{x}{l} & \cos\lambda_i\dfrac{x}{l} \end{bmatrix}.$$

В матрице пролета $A^{\text{н}}(x)$ обычно один из параметров на каждом конце кабеля с неподвижными опорами превращается в нуль. Это обстоятельство позволяет выделить из выражений (3) уравнение, определяющее параметр λ. Для того чтобы получить уравнение для собственных мод колебаний кабеля с двумя шарнирно-опертыми опорами и равномерным распределением массы, следует удержать в соответствии с условиями закрепления кабеля только один элемент в переходной матрице $A^{\text{н}}(x)$:

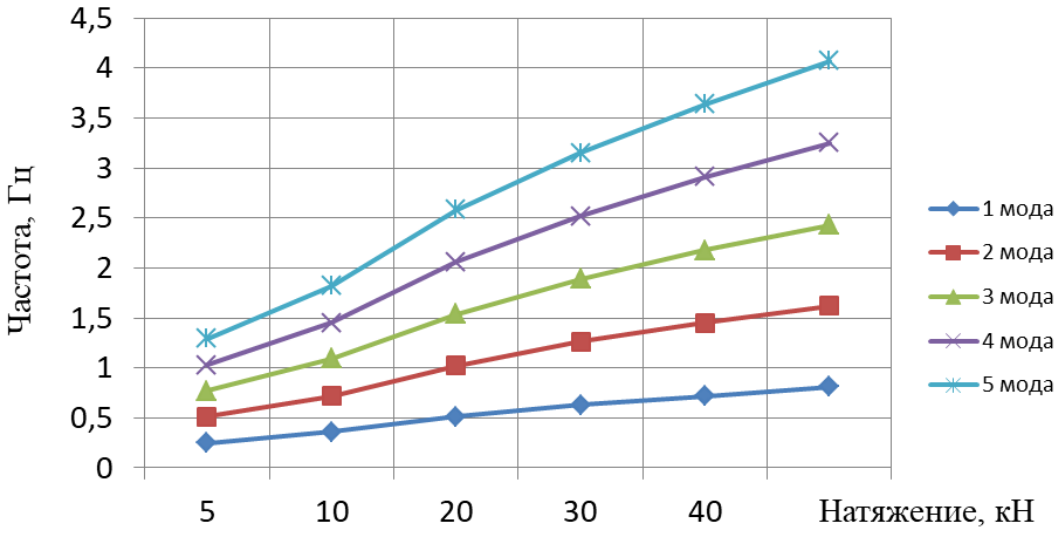
$$\begin{bmatrix} 0 \\ Q_1 \\ N \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} * & \dfrac{l}{\lambda}\sin\lambda \\ * & * \end{bmatrix}\begin{bmatrix} 0 \\ Q_0 \\ N \end{bmatrix}.$$

Отсюда получаем уравнение $\sin\lambda=0$, корнями которого являются λ = π, 2 π, 3 π и т. д. Очевидно, что частота собственных колебаний будет равна:

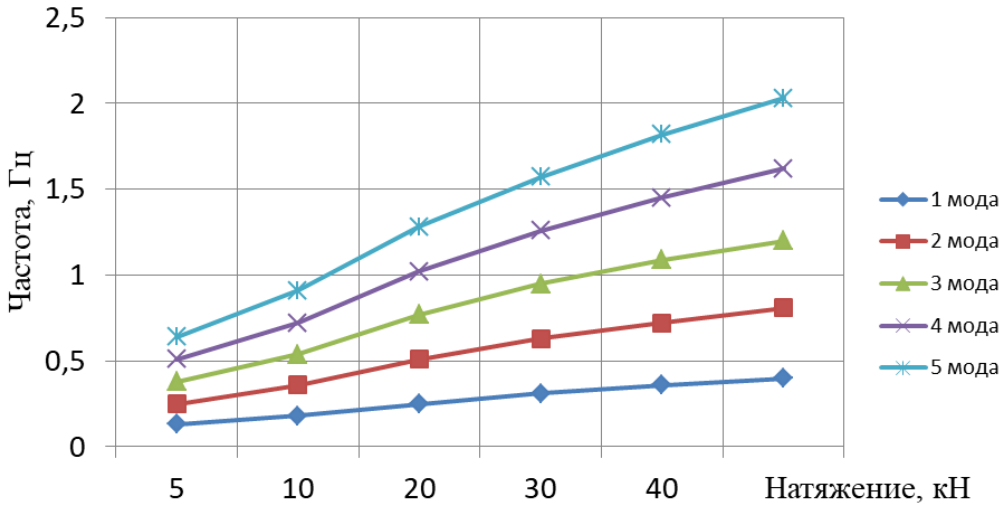
$$\omega=\frac{\pi n}{l}\sqrt{\frac{N}{m}},\quad n=1,2,3,\ldots .$$

В качестве линии ЛЭП выбран провод марки А: площадь сечения – 120/19 мм^2, масса – 471 кг/км, модуль упругости $E=8{,}25\cdot10^{10}$ Н/м^2 (согласно ГОСТ 839-80 «Провода неизолированные для воздушных линий электропередачи. Технические условия»). Были рассчитаны собственные моды колебания кабеля АС 120/19 в пролете 200 и 400 и 1000 м. Результаты расчета приведены на рис. 1 и 2 .

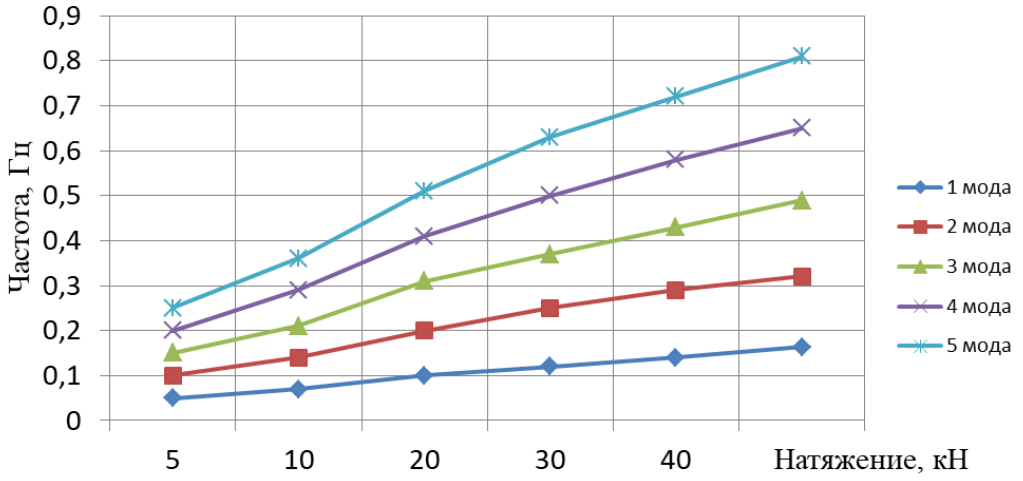
Очевидно, что при различных сочетаниях массы провода и силы его натяжения, длины пролета, физических свойств кабеля моды собственных колебаний будут изменяться. Как видно из рис. 1 и 2, моды собственных колебаний снижаются при увеличении длины пролета кабеля и увеличиваются при его натяжении.



а



б



в

Рис. 1. Зависимость мод собственных колебаний кабеля АС120/19 от его натяжения: *а* – пролет кабеля 200 м; б – 400 м; в – 1 000 м

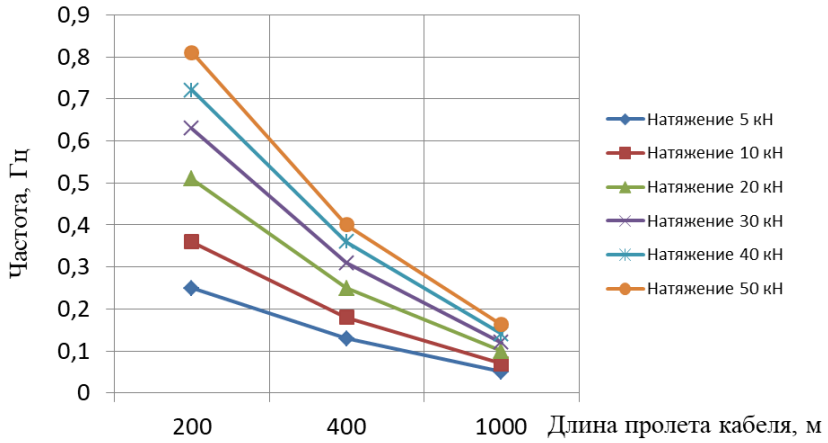


Рис. 2. Зависимость первой моды собственных колебаний кабеля АС120/19 от длины пролета между опорами при различном натяжении

Таким образом, представленная методика определения мод собственных колебаний методом начальных параметров служит основой для построения математических моделей для оценивания основных резонансных областей вибрации кабелей для различных схем закрепления, позволяет проводить учет ветровых нагрузок и оптимальный выбор устройств для подавления вибрации на линиях электропередач.

Источники

1. Ивович В.А. Переходные матрицы в динамике упругих систем. М.: Машиностроение, 1969.

3. Авилов А.В. Влияние частотных характеристик технологической системы и износа режущего инструмента на точность токарной обработки: автореф. дис…канд. техн. наук. Ростов н/Д., 2008. 18 с.

4. Авилов А.В., Мирошниченко В.Г. Математическая модель колебаний шпинделя токарного станка с консольным закреплением заготовки // СТИН. 2008. № 9. С. 2–5.

УДК 621.313.333

ЭЛЕКТРОПРИВОД НА ПРОГРАММНОМ УПРАВЛЕНИИ

Лолита Александровна Азимова

УлГТУ, г. Ульяновск

azimovaa.l@mail.ru

В статье рассматривается возможность применения частотного пуска и дроссельного управления асинхронного двигателя в автокранах. Производится моделирование частотного пуска, дроссельного управления.

Ключевые слова: электропривод, частотное и дроссельное управление, математическое моделирование систем управления, программное управление

ELECTRIC DRIVE ON SOFTWARE MANAGEMENT

Lolita Aleksandrovna Azimova

The article discusses the possibility of using frequency start and throttle control of an asynchronous motor in truck cranes. Modeling frequency start, throttle control.

Key words: electric drive, frequency and throttle control, mathematical modeling of control systems, program control.

Программное управление позволяет выполнять технологический процесс без участия человека, освобождая его от однообразных утомительных операций; позволяет получить высокую производительность технологической машины и повысить качество продукции. Программным называется такое управление электропривода, когда срабатывание рабочих агрегатов технологической машины устанавливается и фиксируется заранее в специальных хранителях программы, а затем вводится в командоаппарат, обеспечивающий воспроизведение заданной программы.

Прогрессивным направлением в программном управлении является запись программы на перфокарту, перфоленту, магнитную ленту. При работе технологической машины программа в этом случае воспроизводится с помощью считывающего устройства, например магнитофонной головки, являющейся звеном управляющей цепи электропривода.

В программном управлении технологических машин бытового обслуживания применяют механическое программирование, где программа записывается на перфокарту, задается кулачковым валом или шаговым искателем.

Электрооборудование технологической машины при программном управлении по назначению разделено на силовую и управляющую цепь. В состав силовой цепи входят элементы электропривода, электродвигатели, электромагниты.

В состав управляющей цепи входят элементы управления машины и система автоматики. Программа технологического процесса задается программным устройством, а выполняется системой автоматики.

Технологические режимы многих производственных механизмов на разных этапах работы требуют движения исполнительного органа с различной скоростью, что обеспечивается путем регулирования скорости электропривода. В большинстве случаев регулирование скорости механизма обеспечивается заданием различной скорости двигателя, поддержанием ее на заданном уровне, изменением во времени по требуемым законам с определенной точностью [5, с. 6].

Получение низких посадочных скоростей, низких скоростей при выборе канатов, низких скоростей для точной остановки крановых механизмов с асинхронными электродвигателями остаётся актуальной задачей.

В настоящее время существует множество электроприводов, решающих поставленную задачу. Одним из них является электропривод с торможением противовключением [3, с. 57]. Здесь имеет место большая зависимость от выбора начального пускового момента. С одной стороны, желательно уменьшить этот момент с целью снижения толчков момента. С другой стороны, снижение пускового момента может привести к опусканию тяжелых грузов на позициях подъема и возникновению чрезмерных скоростей на позициях спуска.

Пуск электроприводов может производиться при различных условиях [1, с. 52]. Пуск может быть нормальным, когда по производственным условиям не требуется быстрого ускорения. Это справедливо для редко пускаемых приводов. В этих случаях пики тока и момента могут быть небольшими.

Пуск может быть форсированным, когда требуется быстрое ускорение привода. Такое ускорение требуется для часто пускаемых приводов.

Возможно, для электропривода потребуется осуществлять плавный пуск. Для этого необходимо, чтобы разность между пиками момента и моментами переключения была небольшой. Задача формирования пускотормозных режимов осложняется факторами, ограничивающими предельные нагрузки двигателей [4, с. 89]. Кратковременные перегрузки незначительно сказываются на эквивалентной нагрузке, в то же время резко повышают температуру обмоток. Так при номинальной нагрузке температура ротора и статора повышается со скоростью 0,2 °С в секунду, а при нагрузке 0,8 от максимальной скорость повышения температуры увеличивается в 30 раз. В результате следует ограничивать предельные нагрузки на уровне 1,7 от номинальной для двигателей с фазным ротором, при максимальном пусковом моменте не более 2,5 момента от номинального.

Слишком большое начальное ускорение приводит к рывкам и вследствие этого опасному раскачиванию груза.

Требования к ускорениям механизмов крана определяются следующими условиями. Максимальное ускорение не должно превосходить значений, при которых нарушаются условия сцепления колес с грунтом и возникают недопустимые раскачивания груза. Раскачивание груза может

быть небезопасно для персонала и снижает производительность механизмов. Для уменьшения раскачивания груза рекомендуется уменьшать приращение скорости путем увеличения количества ступеней разгона или торможения, то есть более плавного изменения скорости. Другим методом снижения раскачивания груза является переход на другие механические характеристики с небольшими скоростями. Применение дросселей для создания пускотормозных режимов позволило полностью исключить проблему выбора соотношения моментов переключения и пиков моментов. Разгон или торможение будет осуществляться по одной характеристике, обусловленной параметрами дросселя [2, с. 57].

Традиционным средством ограничения пусковых токов асинхронных электродвигателей с фазным ротором является введение в цепь ротора пусковых сопротивлений.

Для пуска и торможения электродвигателя необходима коммутационная аппаратура, усложняющая схему электропривода и требующая обслуживания. Эксплуатационный персонал всегда приветствует любое упрощение схемы управления. Такое упрощение схемы пуска имеет место при использовании дросселей, включенных в цепь ротора асинхронных электродвигателей.

Дроссель представляет собой активно-индуктивное сопротивление, значение которого за счет изменения величины и частоты тока ротора автоматически уменьшается при пуске от исходного значения до практически нулевого значения. Тогда исключается вся коммутационная аппаратура роторной цепи электродвигателя.

На сегодняшний день часто используется частотный преобразователь для пуска асинхронного двигателя.

Из-за особенностей технологического процесса требования к быстродействию небольшие.

Дроссель с массивными (в ферромагнитном понимании) сердечниками создает активно-индуктивное сопротивление, величина которого автоматически уменьшается с ростом скорости электродвигателя при пуске.

При включении дросселя в роторную цепь уменьшение пускового тока идет в большей мере, чем соответствующее уменьшение пускового момента.

Механические характеристики дроссельного электропривода по внешнему виду приближаются к «экскаваторным» характеристикам, являющимся желаемыми для плавного пуска электродвигателя.

Рабочая часть механических характеристик дроссельного электропривода несколько мягче, чем естественные характеристики, что снижает статическую скорость механизма на 3–8 %. Этот недостаток можно устранить шунтированием колец ротора электродвигателя контактором после завершения пуска.

Дроссельный электропривод с тиристорным регулятором скорости обеспечивает все требуемые режимы работы механизмов подъема крановых механизмов, включая реализацию режимов выбора слабины канатов и низкие посадочные скорости.

Опыт показал эффективность использования дросселей в приводах крановых механизмов, упрощая схемы управления и резко повышая их эксплуатационную надежность.

Система автоматики состоит из промежуточных элементов реле, пускателей, передающих электрическую команду программного устройства на исполнительные механизмы; исполнительных механизмов – электродвигателей, электромагнитов, клапанов, электропневмозолотников, контролирующих и регулирующих приборов – электротермометров, температурных регуляторов, регуляторов уровня.

Программный механизм, являясь командоаппаратом управляющей цепи, автоматически задает программу работы, например, стиральной машине. Пуск программного механизма производится кнопкой, расположенной на пульте управления машины. Заданная программа механизма, согласно циклограмме его работы, выражена в десяти операциях технологического процесса стирки продолжительностью 45 мин. Каждая операция процесса стирки выдерживается программированным временем программного механизма.

Источники

1. Яуре А.Г., Певзнер Е.Н. Крановый электропривод: справочник. М.: Энергоатомиздат, 2012. 344 с.

2. Певзнер Е.М., Яуре А.Г. Эксплуатация крановых тиристорных электроприводов. М., 2011. 104 с.

3. Москаленко В.В. Электрический привод: учеб. для электротехн. спец. вузов. М.: Высшая школа, 2011. 430 с.

4. Управление электроприводами: учеб. пособие для вузов / А.В. Башарин [и др.]. СПб., 2012. 392 с.

5. Масандилов Л.Б., Москаленко В.В. Регулирование частоты вращения асинхронных двигателей. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Энергия, 2010. 96 с.

УДК 539.51-629.7

АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ ПОЛЕЙ В ПРОТИВООБЛЕДЕНИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ В ЖКХ

Владимир Сергеевич Акопов[1], Ирина Александровна Салова[2]

ГУАП, г. Санкт-Петербург

[1]vakopov@yandex.ru, [2]salova_irine@mail.ru

В работе приведены анализ и сопоставление процессов теплообмена в стальных и полипропиленовых трубах при обогреве их извне с помощью саморегулирующегося кабеля. Получены динамические характеристики процесса нагревания воды от температуры +1 °С для водопроводных труб в условиях различных температур окружающей среды.

Ключевые слова: теплообмен, саморегулирующийся греющий кабель, водопроводные трубы, моделирование, метод конечных элементов.

ANALYSIS OF THE DISTRIBUTION OF THERMAL FIELDS IN ANTI-FLEXIBLE SYSTEMS IN HOUSING AND COMMUNAL SERVICES

Vladimir Sergeevich Akopov, Irina Aleksandrovna Salova

The paper presents the analysis and comparison of heat transfer processes in steel and polypropylene pipes when heated from the outside using a self-regulating cable. The dynamic characte-ristics of the process of heating water from a temperature of + 1 °C for water pipes at different ambient temperatures are obtained.

Key words: heat transfer, self-regulating heating cable, water pipes, modeling, finite element method.

Наледь и обледенения могут в несколько раз сократить срок службы различных систем. За один зимний сезон, а иногда, всего лишь при однократном обледенении, последствия могут наступить еще быстрее, вплоть до отказа систем и последующей аварии.

Для борьбы с наледью могут использоваться различные противообледенительные системы: механические, тепловые, химические, радиационные, электрические [1, 2]. Одним из наиболее эффективных, простых и дешевых способов устранения наледи являются противообледенительные системы (ПОС) на основе греющих и в особенности саморегулирующихся кабелей. Такие кабели находят большое применение в промышленности при обогреве водопроводов, трубопроводов и резервуаров различного назначения. Пример такой системы приведен на (рис. 1).

Целью данной работы является исследование процессов теплообмена и возможности защиты воды в наружной части водопроводной системы от замерзания. Для защиты водопроводной системы предлагается использовать греющие кабели и датчики температуры наружного воздуха при температуре поверхности водопроводной трубы, близкой к нулю. Упрощенная схема такой системы в двух проекциях представлена на рис. 2.



Рис. 1. Водопроводная система с саморегулирующимся кабелем

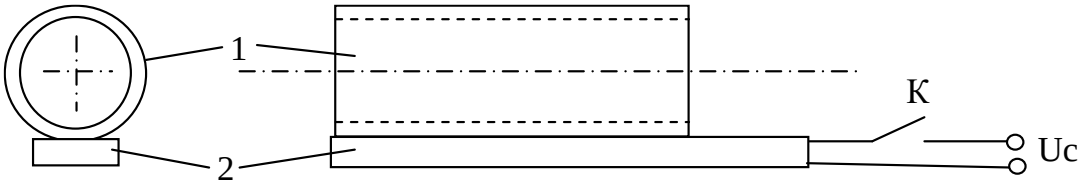


Рис. 2. Упрощенная схема системы защиты воды в трубопроводах наружной части водопроводной системы: *1* – труба водопровода; *2* – греющий кабель; К – контакт термореле; U_c – напряжение электропитания

В качестве греющего кабеля рассматривается саморегулирующийся электрический кабель, широко применяющийся в противообледенительных системах зданий и сооружений [1, 2, 3].

Далее в качестве примера использованы данные саморегулирующегося кабеля 60*VC-F* [3]. Принцип его работы [3, 4] заключается в следующем. Полупроводящую матрицу можно условно представить в виде большого числа сопротивлений, подключенных параллельно к токопроводящим жилам. При подаче напряжения на разомкнутые токопроводящие жилы в полупроводящей матрице возникает ток, вызывающий выделение тепла. За счет тепла материал матрицы расширяется, контакты между отдельными частицами углерода нарушаются, растет сопротивление матрицы и уменьшается ток. Через некоторое время (не более 5 минут) ток и температура стабилизируются. Сопротивление матрицы, приведенное к 1 м, обычно составляет несколько сотен Ом, благодаря этому саморегулирующиеся нагревательные кабели обладают следующими уникальными свойствами.

1. Могут использоваться при подключении на полное напряжение любыми длинами от минимальных (десятки сантиметров) до предельно допустимых без специальных расчетов. Данное свойство особенно ценно, когда заранее неизвестна длина обогреваемого трубопровода.

2. Они способны изменять свое тепловыделение локально. Если на обогреваемом объекте в какой-либо зоне температура повышается, то тепловыделение саморегулирующейся ленты в этой зоне падает. Данное свойство значительно повышает безопасность системы обогрева и упрощает процесс монтажа саморегулирующихся кабелей, поскольку допускается сближение и пересечение кабелей друг с другом.

В настоящей работе рассмотрено моделирование системы защиты воды от замерзания в трубопроводах наружной части водопроводной системы посредством метода конечных элементов, реализованного в программном комплексе ELCUT [6]. Исследования процессов изменения температуры выполнялись для стальных водопроводных труб сечением 20 мм. На рис. 3 представлена геометрическая модель.

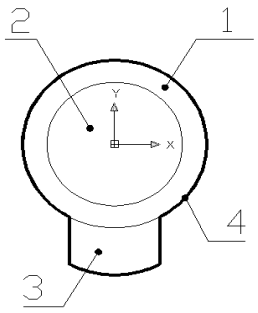


Рис. 3. Геометрическая схема объекта моделирования: *1* – труба; *2* – вода; *3* – саморегулирующийся кабель *VC-F*; *4* – контур задания граничных условий

Для моделирования в ELCUT необходимо задать свойства кабеля, трубы и воздуха, а также на границе *4* задать температуру окружающей среды $T_{\text{н}}$ и коэффициент конвекции α. Для *VC-F* кабеля задается удельная плотность $\rho = 2\,163$ кг/м^3, удельная теплопроводность $\lambda = 0{,}25$ Вт/(м·К), теплоемкость $C_p = 750$ Дж/(кг·К), а также зависимость линейной мощности *P* на 1 м длины кабеля от температуры [7]. Для стальной трубы приняты следующие свойства материала: $\rho = 7\,866$ кг/м^3, $\lambda = 48$ Вт/(м·К), теплоемкость $C_p = 610$ Дж/(кг·К). Для воды перечисленные свойства зависят от текущего значения температуры. Эти зависимости приведены в работе [7]. В модели пренебрегаем тепловыми потерями за счет лучистой теплоотдачи, которая зависит от температуры воздуха и температуры поверхности трубы, а также от степени черноты поверхности трубы.

Полученные в процессе исследований динамические характеристики процесса нагревания воды от температуры +1 °С для стальных водопроводных труб в условиях различных температур окружающей среды показаны ниже на рис. 4–8.

На рис. 4 представлено распределение температуры по поперечному сечению водопроводной трубы с водой в разные моменты времени при следующих значениях температур окружающей среды $T_н$ (кабель включен): –1, –10 и –40 °С.

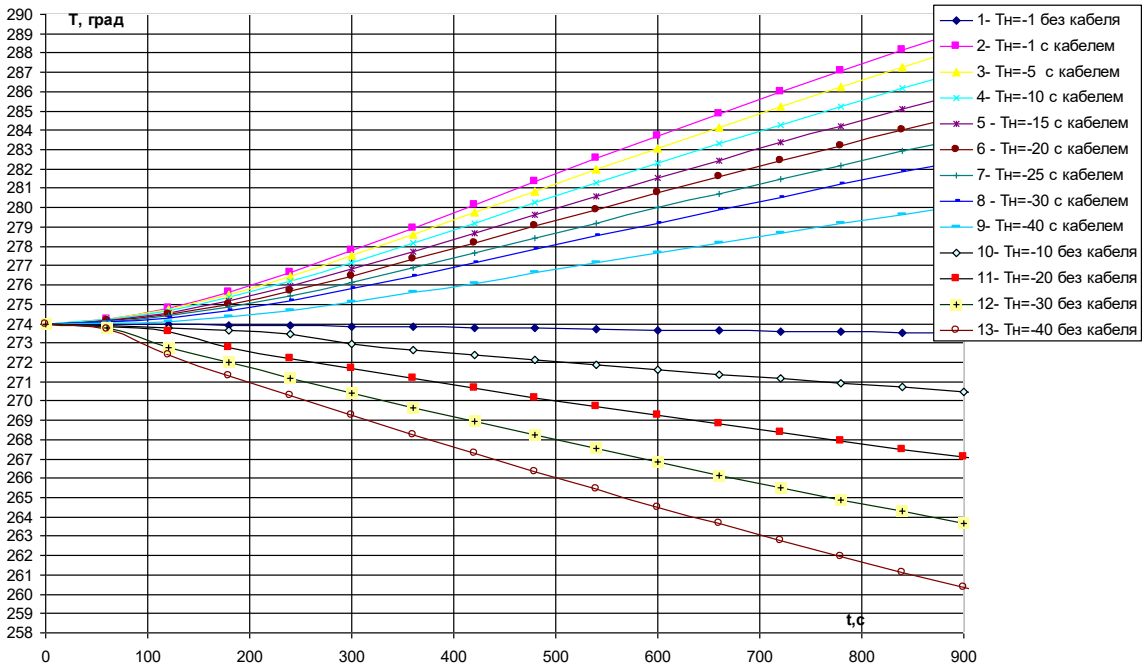


Рис. 4. Динамика изменения температуры воды в центре трубопровода при различных значениях $T_н$ с включенным греющим кабелем и без него

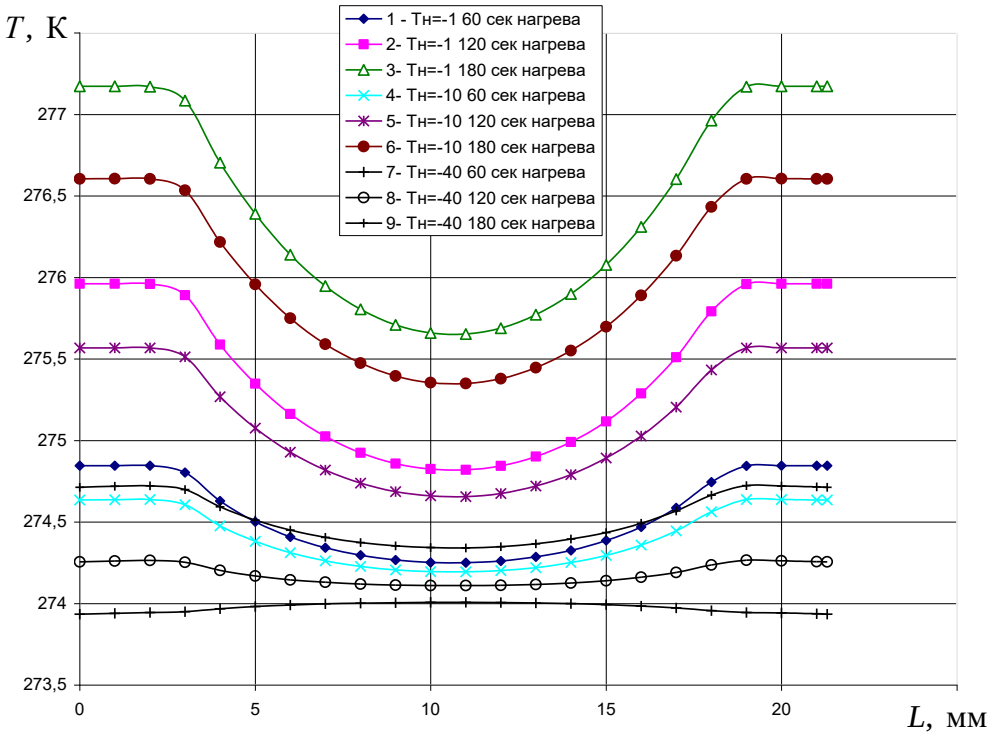


Рис. 5. Динамика распределения температуры по поперечному сечению водопроводной трубы при ее нагреве греющим кабелем при различных значениях $T_н$

Поскольку эффективность рассматриваемой системы безусловно будет зависеть не только от температуры воздуха, но и от движения воздушной среды вокруг трубопровода, выполнено исследование влияния силы ветра на процессы в электротепловой системе для различных значений температур окружающей среды ($T_{\text{н}}$ =–1 °С и $T_{\text{н}}$ =–40 °С). Сила ветра учитывалась посредством задания коэффициента конвекции α, который увеличивается с увеличением силы ветра $V_{\text{в}}$, как это показано на рис. 6 [8 ,9].

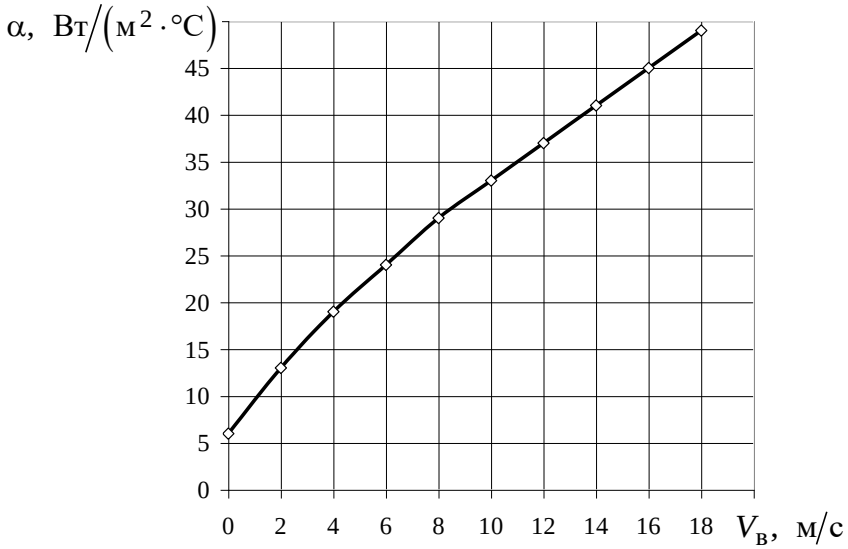


Рис. 6. График зависимости коэффициента конвекции α от силы ветра $V_{\text{в}}$

Результаты исследований приведены на рис. 7 и 8.

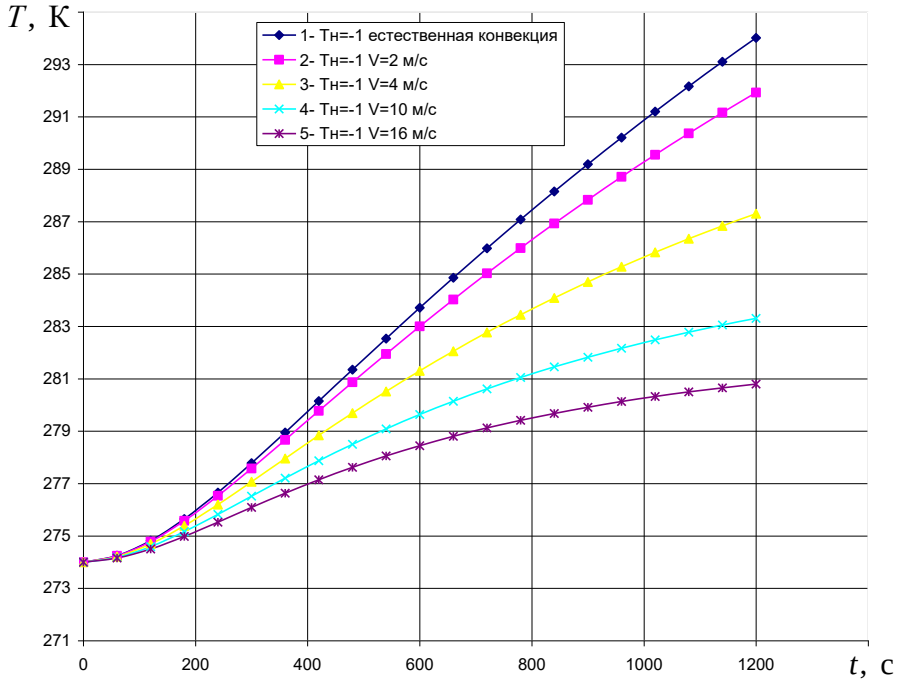


Рис. 7. Динамика нагрева воды в центре трубы греющим кабелем при $T_{\text{н}}$ = –1 °С и различных вариациях скорости ветра $V_{\text{в}}$

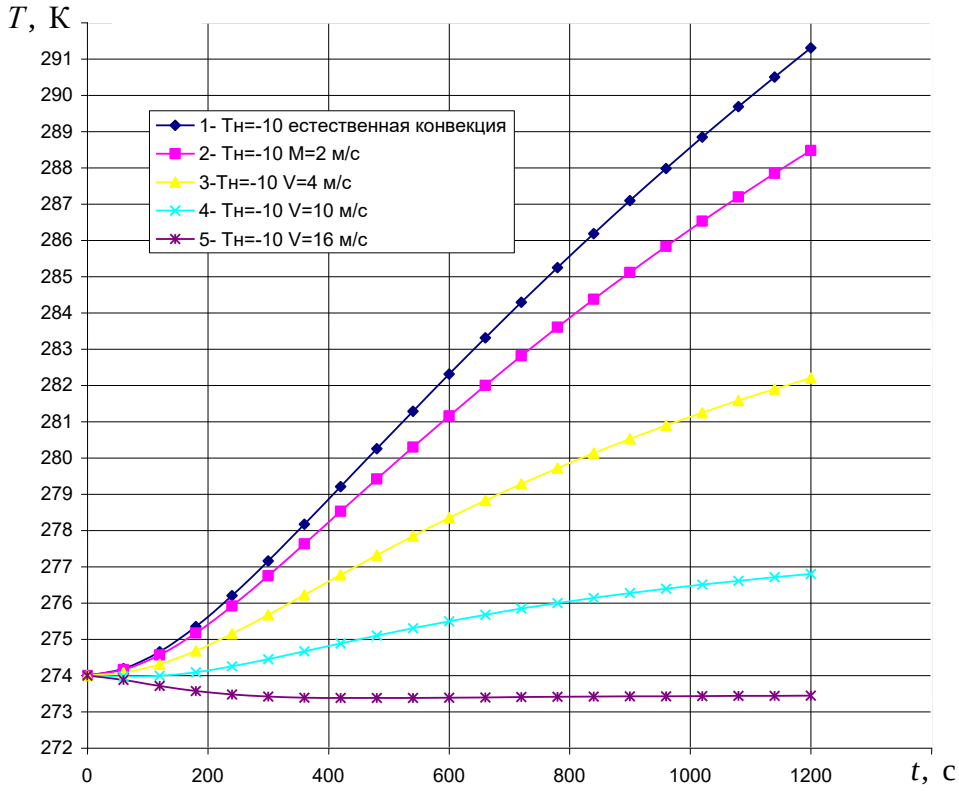


Рис. 8. Динамика нагрева воды в центре трубы греющим кабелем при $T_{\text{н}} = -10$ °С и различных вариациях скорости ветра $V_{\text{в}}$

В качестве результатов исследований отметим следующее. Саморегулирующийся греющий кабель достаточно эффективен и может быть использован для защиты от замерзания воды в наружной части водопровода. Динамика теплообмена при отсутствии ветра обеспечивает прогрев воды с интенсивностью от 0,002 град./с (при – $T_{\text{н}} = -40$ °С) до 0,02 град./с (при $T_{\text{н}} = -1$ °С). Наличие ветра, безусловно, снижает противообледенительные способности системы «саморегулирующийся греющий кабель – наружная часть водопровода», однако интенсивность теплообмена достаточна для исключения замерзания воды в трубе водопровода. Рассмотренная система защиты от замерзания воды в наружной части водопровода сохраняет работоспособность в диапазоне температур наружного воздуха до –40 °С при достаточно сильном ветре (до 16 м/с).

Источники

1. Системы антиобледенения: справочник. М.: Информационное агентство «Norma», 2001. 368 с.

2. Жуков А.Д. Системы антиобледенения. М.: НТС «Стройинформ». 2007. 332 с.

2. Жуков А.Д. Системы антиобледенения. М.: НТС «Стройинформ». 2007. 332 с.

3. HLLe2-CF Саморегулирующаяся нагревательная лента в оболочке из фторполимера мощностью 31 Вт/м // Альфаснаб: оптовые системы. URL http://alfaopt.alloy.ru/product/sistema-videonablyudeniya/hlle2cf-camoreguliruyushayasya-nagrevatelnaya-lent-9818682 (дата обращения: 04.09.18).

4. Греющий кабель // ООО «ЗонаТепла»: офиц. сайт. URL http:// zona-tepla.ru (дата обращения: 04.09.18).

5. Акопов В.С. Математическая модель противообледенительной системы // Завалишинские чтения – 2015: сб. докл. СПб, 2015. С. 35–38.

6. ELCUT v.6.0. Комплекс программ для моделирования электромагнитных, тепловых и механических задач. Руководство пользователя. СПб.: Производственный кооператив ТОР, 2014.

7. Акопов В.С., Салова И.А. Моделирование противообледенительной системы методом конечных элементов // Завалишинские чтения – 2016: сб. докл. СПб: ГУАП, 2016. С.16–20.

8. ТР 80-98. Технические рекомендации по технологии бетонирования безобогревным способом монолитных конструкций с применением термоса и ускоренного термоса // Электронная база ГОСТов 1000gost.ru. URL: http://1000gost.ru/Index1/11/11548.htm (дата обращения: 04.09.18).

9. URL: http://cad.life/index/rascheti/vazhnyie-parametryi-nekotoryix-materialov-ispolzuemyie-pri-teplovyix-raschetax.html (дата обращения: 04.09.18).

УДК 621.876.11

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ ФАКТОРОВ НА ШУМЫ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ДЛЯ ПРИВОДА ПАССАЖИРСКИХ ЛИФТОВ

Валерий Иванович Афонин[1], Дмитрий Петрович Андрианов[2], Норайр Петикович Бадалян[3]

ФГБОУ ВО «ВлГУ им. А.Г. и Н.Г. Столетовых», г. Владимир

[1]andrianov@vlsu.ru, [2,3]norayrbadalyan@mail.ru

Излучение шума электрической машиной определяется её конструкцией и электромеханическими параметрами. Технология изготовления и режим работы также влияют на создаваемый шум. Поэтому несовершенство (нерациональность) конструкции является важнейшим показателем динамического поведения машины. Методы уменьшения шума электрических машин основаны на изучении причин, вызывающих этот шум, а методы анализа – на основных акустических понятиях. При проектировании электродвигателей для привода лифтов уменьшение шума основывается на поиске компромисса между акустическими требованиями и техническими возможностями.

Ключевые слова: приводы лифтов, конструктивные факторы, источник акустических шумов.

RESEARCH OF THE EFFECT OF CONSTRUCTIVE FACTORS ON THE NOISE OF ELECTRIC MOTORS FOR DRIVING PASSENGER ELEVATORS

Valery Ivanovich Afonin, Dmitry Petrovich Andrianov,
Norayr Petikovich Badalyan

The emission of noise by an electrical machine is determined by its design and electromechanical parameters. Manufacturing techniques and operating conditions also affect the generated noise. Therefore, the imperfection (irrationality) of the design is the most important indicator of the dynamic behavior of the machine. Methods for reducing the noise of electric cars are based on the study of the causes of this noise, and the methods of analysis are based on the basic acoustic concepts. When designing electric motors for elevator drives, noise reduction is based on the search for a compromise between acoustic requirements and technical capabilities.

Key words: elevator drives, design factors, source of acoustic noise.

Для разработки мероприятий по уменьшению магнитных вибраций лифтовых электродвигателей в процессе их проектирования ставились следующие задачи: выявление факторов, существенно влияющих на вибрационные и шумовые характеристики; установление причин повышенных уровней вибрации и шума двигателей; определение факторов (их значений), обеспечивающих минимальное значение вибраций и шумов в переходных режимах.

Все эти мероприятия, выполняемые в определённой последовательности, представляют собой одновременно и алгоритм поиска способов улучшения вибрационных и шумовых характеристик лифтовых двигателей.

Факторы, оказывающие влияние на уровни шума и вибрации, принято делить на три типа в зависимости от характера причин, определяющих уровни вибрации и шумов двигателей, а именно: конструктивные, технологические и режимные.

Применяя различные конструктивные приёмы, можно существенно повлиять на значения электромагнитных и механических колебаний элементов конструкции двигателей, порядки, фазы и частоты как собственные, так и вынужденные.

Конструктивные факторы позволяют реализовать на стадии проектирования большинство известных методов улучшения вибрационных и шумовых характеристик – это и подавление вибрации в источнике, и отстройка частот собственных и вынужденных колебаний, и применение гасящих вибрацию устройств. Кроме универсальности действия конструктивных факторов на вибрационные и шумовые характеристики следует

отметить так же их относительную экономичность в отличие от технологических факторов, улучшение которых ограничено уровнем производства, и режимных факторов, которые для лифтовых двигателей обычно заданы.

В этой связи в данной работе рассматривается только влияние конструктивных факторов, выбор которых опирается на результаты предшествующих исследований [1–7].

Элементы оболочки (станина, щиты подшипниковые) электродвигателей привода лифтов обеспечивают ряд функций: жёсткость конструкции; прохождение охлаждающего воздуха в нужных направлениях и необходимого количества; рёбра на внутренней поверхности станины служат для посадки сердечника статорного в корпус, а также образуют с ним каналы для прохождения охлаждающего воздуха.

Расположение рёбер и окон в корпусе определяет направление и распределение воздушных потоков. Количество рёбер и их взаимное расположение на внутренней поверхности станины определяет порядок собственных частот магнитных вибраций и влияет на уровни шума.

Щиты подшипниковые и направляющие воронки также влияют на вибрационные и шумовые характеристики.

С учётом вышеизложенного в область исследования включены: D_a – наружный диаметр сердечника статора, h_a – высота спинки сердечника, $n_{\text{р}}$ – число посадочных рёбер, число пазов ротора $Z_{\text{р}}$ при фиксированном числе пазов статора $Z_{\text{с}}$.

Двигатели для привода лифтов являются сложной электромеханической системой и имеют широкий и насыщенный спектр сил, возмущающих магнитные вибрации, и электромагнитных сил, которые возникают как следствие нестационарных электромагнитных и электромеханических воздействий [2, 6].

Знакопостоянные и знакопеременные динамические моменты вызывают поворотные вибрации статора и ротора вокруг оси, совпадающей с осью вала двигателя и ей параллельной. При этом возбуждаются вибрации и шум повышенного уровня в диапазоне частот от 0 до 100 Гц и выше [10]. Электромагнитные силы, которые являются следствием взаимодействия зубцовых гармоник магнитного поля в воздушном зазоре, приводят к повышению уровня шума в хорошо слышимом диапазоне частот. Практически только радиальные силы, вызывающие колебания ярма статора, являются источником шума [1, 2].

Звук, распространяющийся в воздухе, излучается поверхностью сердечника статора и уровень звука зависит от амплитуды колебания корпуса. Амплитуда колебания зависит от величины электромагнитных сил, которые действуют на пакет активной стали статора.

Ярмо статора представляется в виде цилиндрической оболочки, на которую воздействует система радиальных и тангенциальных сил с r числом волн (r = 1, 2, 3, 4), периодически изменяющихся во времени и симметрично распределённых по окружности [9].

Вибрации статоров, возбуждаемые магнитными силами, образуют пространственные формы колебаний, приведенные на рис. 1.

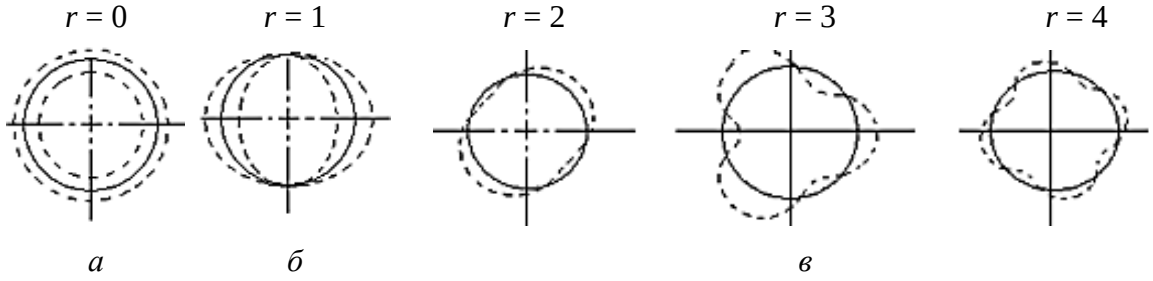


Рис. 1. Формы колебаний статоров электродвигателей: r – порядок волны

При r = 0 радиальные усилия не зависят от пространственной координаты, но периодически изменяются во времени.

При r = 1 имеет место одностороннее притяжение, действующее на ротор, которое при резонансе вызывает сильную вибрацию.

При r = 2, 3, 4, … возникают радиальные усилия, приложенные равномерно по окружности статора в r точках, которые приводят к изгибу кольца статора. Этот вид колебаний наиболее часто встречается в практике.

Частота собственных колебаний ярма статора лифтовых двигателей габаритов 160, 180, 200, 225 и 250 мм рассчитывалась по формуле, предложенной И.Г. Шубовым [2]. Результаты расчётов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты расчетов частоты собственных колебаний ярма статора лифтовых двигателей

Высота оси вращения, мм	Ср. радиус ярма, мм	Частота собственных колебаний статора, Гц, при различных значениях r			
		0	2	3	4
160	125	5400	535	2400	3960
180	135	5200	500	2200	3500
200	155	4800	360	1850	2750
225	175	4450	250	1750	2450
250	195	4060	350	1800	2300

Расчёты показали, что с ростом радиуса ярма частота собственных колебаний снижается. Следовательно, уровень магнитного шума будет выше у двигателей, имеющих большие геометрические размеры, при условии равенства возбуждающих сил и частот.

Существуют различные виды колебаний элементов конструкций электродвигателей.

Крутильные колебания статора и ротора как целого, вызываемые вибрационными моментами. Такие колебания особенно заметны, так как они передаются прямо на тело корпуса в виде корпусного звука через посадочные рёбра.

Радиальные колебания вызываются силами одностороннего магнитного притяжения (вибрационными силами), угловая скорость которых в общем случае отличается от скорости ротора. Радиальные силы могут деформировать статор во вращающиеся эллипс или многоугольник.

Листы железа статора и ротора могут колебаться в аксиальном направлении.

Поля, возникающие в воздушном зазоре асинхронной машины, являются следствием распределения обмоток статора и ротора, зубчатости, возможного эксцентриситета и насыщения. Отсюда следует вывод: эксцентриситет воздушного зазора является одной из основных причин шума, так как он способствует образованию двух новых полей, число пар полюсов которых отличаются от основного числа пар полюсов на единицу. Допустимый эксцентриситет $[e_0] < 0{,}12$ мм.

Исследование влияния эксцентриситета (неравномерности воздушного зазора) на уровень шума проводились на двигателях габаритов 160, 180 и 200 мм и приведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты исследования влияния эксцентриситета на уровень шума

Неравномерность *e*, мм	Уровень шума при частотном спектре Гц, дБА					
	63	125	250	500	1000	2000
0,04…0,33	50	49	73	62	55	47
0,23	57	52	67	59	49	44
0,34	44	–	65	48	44	-

Применение скоса пазов ротора является действенным средством борьбы с шумом, который обусловлен гармониками поля высших порядков. Предпочтителен скос на один-два паза ротора.

Очевидно, следует избегать обратного вращения с числом пар полюсов двигателя, эксцентриситета воздушного зазора и полей с значительными амплитудами, которые отличаются друг от друга на два (вибрационная сила) или четыре полюса (эллиптическая деформация); конструкция должна быть прочной, а листы достаточно спрессованы или склеены.

Останавливаясь на выборе числа пазов ротора при заданном числе пазов статора, следует отметить, что для многоскоростных машин следует принимать во внимание не только стационарные поля, но и также временно образующиеся. Необходимо также учитывать наличие двух скоростей с соотношением от 3:1 до 6:1. Практика показывает, что ни одно из сочетаний числа пазов (зубцов) статора Z_1 и ротора Z_2, применявшихся в отечественных асинхронных двигателях, не обеспечивает положительных результатов по всем показателям одновременно.

В процессе работы лифтового двигателя происходит переключение питания с обмотки большой скорости на обмотку малой скорости. При этом магнитное поле статора, возбуждённое обмоткой большой скорости, затухает и гармоники затухающего поля вместе с гармониками магнитного поля, возбуждённого обмоткой статора малой скорости, могут вызывать шум, напоминающий свист.

Для предварительного выбора Z_2 для заданных значений Z_1 по участкам: верхним для $Z_2 > Z_1$ с ограничением сверху линией $Z_2 = 1{,}25Z_1$ и снизу линией $Z_2 = Z_1 + \left(p_б + p_м\right)$; нижним – для $Z_2 < Z_1$ с ограничением снизу линией $Z_2 = 0{,}75Z_1$ и сверху линией $Z_2 = Z_1 - \left(p_б + p_м\right)$.

Точками на диаграмме рис. 2 отмечено число пазов ротора, с которыми проводились испытания двигателей. Затем проводился анализ взаимодействия гармонических полей статора и ротора, создаваемых ими добавочных синхронных моментов и радиальных вибрационных сил, которые ограничиваются введением скоса и укорочением шага обмотки. Выбирая число пазов ротора, следует исключать значения, при которых возможны сильные синхронные моменты. Синхронные моменты при вращающемся роторе и колебания четвёртого порядка существенно ослабляются введением скоса и увеличением воздушного зазора.

Конструкторские решения, принятые при выборе числа пазов ротора для двухскоростных лифтовых двигателей, а также для двигателей с частотным приводом, приведены в работах [10, 11].

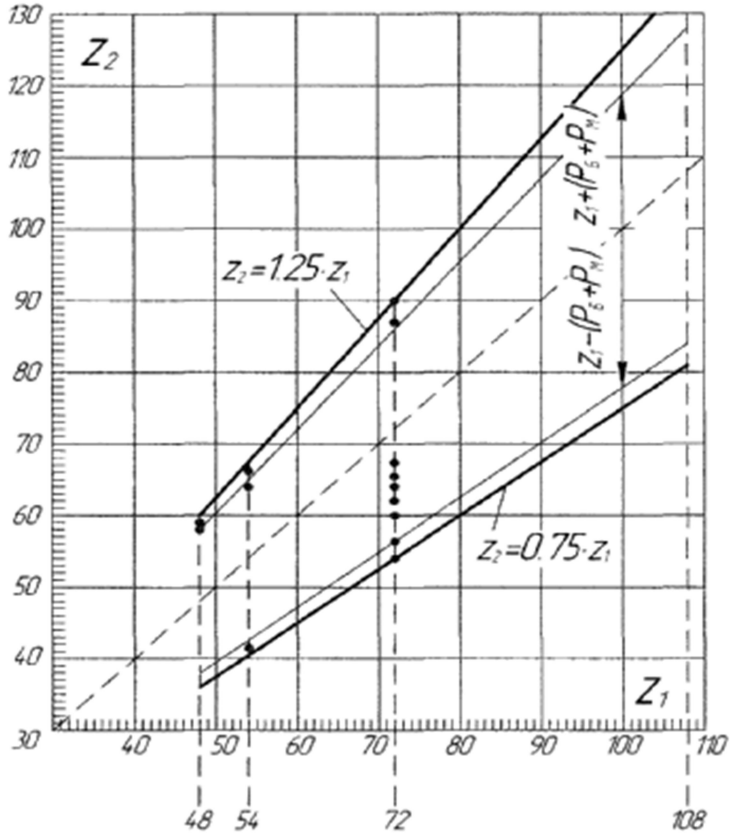


Рис. 2. Диаграмма выбора числа пазов ротора ($Z_c = 48, 54, 72, 108$)

Влияние числа внутренних рёбер на уровень шума защищённых машин мало изучено. По этой причине при выборе конструкции станины проведена серия экспериментов с различным числом внутренних посадочных рёбер: 4, 6, 8. Испытаниям подвергались двигатели габаритов 160, 180, 200, 225 и 250 мм с соотношением числа пар полюсов: 2/8, 2/12, 3/9 и 3/12.

Испытания проводились в заглушенной камере. Измерения проводились в условиях свободного звукового поля в активной зоне частот. Октавный спектр 63…2000 Гц.

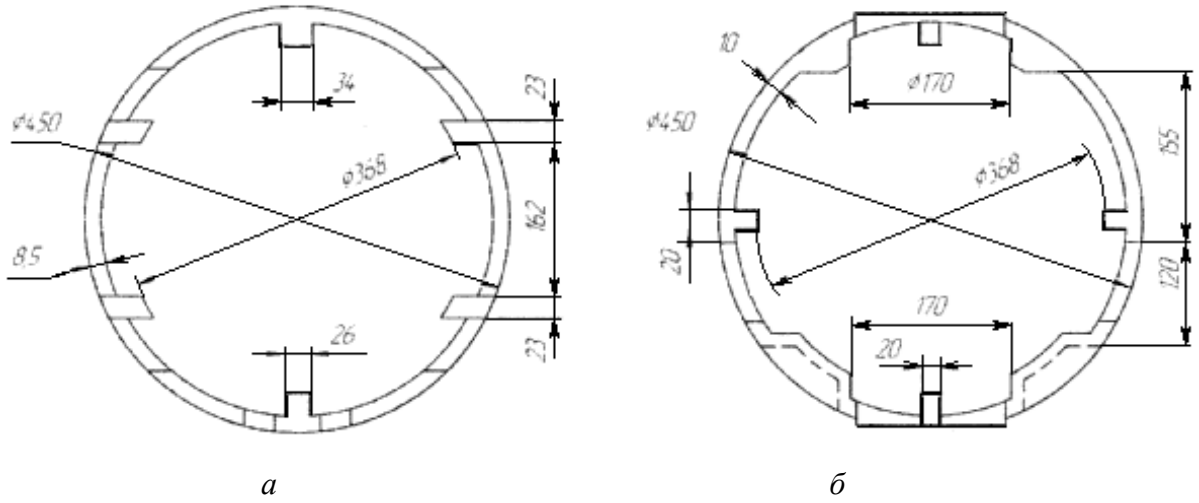
Проверка влияния толщины спинки сердечника статорного на уровень шума выполнялась экспериментально на двигателе габарита 225 мм (9 кВт) в диапазоне частот от 63 до 4000Гц со статорами, имеющими различный средний радиус ярма (табл. 3).

Таблица 3

Результаты расчета влияния толщины спинки сердечника статора на уровень шума

Средний радиус ярма, мм	Уровень шума при спектре частот Гц, дБА					
	63	125	250	500	1000	2000
184	34	45	56,5	50	48	30
166	36,5	38,5	50	54	46	30

Сравнительные испытания с определением уровня шума двигателей габарита 200 мм проводились с разным числом посадочных рёбер (рис. 3). Влияние формы и размеров корпуса на уровни шума приводятся в табл. 4.



а *б*

Рис. 3. Станины двигателей привода лифтов габарита 200 мм: *а* – 6 рёбер, *б* – 8 рёбер.

Из табл. 1 следует, что эллиптическая форма деформации наиболее опасна, так как в этих случаях частоты собственных колебаний самые низкие, вибрация и шум выше при $r = 0$ или $r > 2$. Подобные выводы подтверждаются данными табл. 2. Для двигателей со средним радиусом ярма 184 мм наибольший уровень шума выше при частоте колебаний 250 Гц в отличие от двигателя со средним радиусом ярма 166 мм, у которого наибольший уровень шума имеет место при частоте колебаний 500 Гц.

Гармоники силы, имеющие равные порядки и частоты, вращаются или пульсируют при условии равенства их угловых частот по величине и по знаку. Наибольшая деформация возникает при резонансе, то есть при совпадении или достаточном приближении частоты силы, возмущающей вибрации к частоте собственных колебаний статора.

В результате проведённого комплекса расчётно-экспериментальных исследований для двухскоростных лифтовых двигателей рекомендуются следующие числа пазов ротора: 42 (p=3/9), 58 (p=2/8), 54 (p=3/12 и p=2/12).

Исходя из анализа влияния некоторых конструктивных и электромагнитных параметров двигателей для привода лифтов на его вибрационную и шумовую активность, можно сформулировать специфические рекомендации, которые необходимо выполнять при проектировании и производстве двигателей.

Таблица 4

Влияние формы и размеров корпуса на уровень шума

№	Типоразмер	Мощность на обмотке большой скорости, кВт	Наружный диаметр, мм		Число рёбер посадки сердечника статора в корпус, мм	Угол расположения внутренних опорных рёбер, град	Средний уровень звука на различных режимах, дБА		Толщина стенки корпуса, мм	Максимальный уровень звука на большой/ малой скоростях, дБА
			сердечник статора	корпус			стационарный	переходный		
1	160A4/16	4,5	260	306	8	270	64/52	65/67	6	68/54
2	160A4/16	3,55	260	320	4	256	62,5/45	67/69	6	65/46
3	160SB4/16	5,9	260	306	4	360	53/51	–/–	6	55/53
4	180M4/24	8	295	360	6	250	56/43	–/–	8	57/45
5	180M4/24	8	295	360	8	260	–/–	–/–	8	–/–
6	180M6/24	4,5	295	360	8	260	57/52	57/64	8	57/54
7	200S6/24	5,6	327	410	6	240	65/53	76/73	8,5	–/–
8	200MA6/24	6,5	327	410	8	290	55/58	–/–	10	56/61
9	200MB4/24	12	327	410	8	290	60/48	62/73	10	–/–
10	250MB4/24	27	420	500	8	270	65/53	–/–	10	67/55

Проектирование двигателей для привода лифтов начинается с определения основных размеров и геометрических соотношений активного ядра и электромагнитных нагрузок. Уровень электромагнитных нагрузок и основные размерные соотношения выбираются из условия получения пониженных уровней вибрации и шума. При этом двигатель должен надёжно работать в условиях лифтового привода.

При создании малошумного двигателя необходимо принять все возможные меры для уменьшения значения вынуждающих сил во всех источниках вибрационного возбуждения. Уменьшение магнитных возбуждающих сил достигается выбором рационального соотношения чисел пазов статора и ротора, увеличением воздушного зазора между статором и ротором, введением скоса пазов на роторе (статоре) и т. д. Воздушный зазор необходимо выбирать максимально возможным из условий допустимых значений электромеханических показателей двигателя и минимально возможных сил одностороннего магнитного притяжения. При этом неравномерность должна быть минимальной.

Целесообразно увеличивать жёсткость статорного пакета, в том числе и за счёт увеличения высоты спинки (ярма) сердечника статора, при этом уровни вибрации на представительных частотах снижаются.

Источники

1. Лазароиу Д.Ф., Бикир Н. Шум электрических машин и трансформаторов / пер. с рум. М.: Энергия, 1973. 271 с.

2. Шубов И.Г. Шум и вибрация электрических машин. Л.: Энергия, 1974. 200 с.

3. ГОСТ ISO 3745-2014. Акустика. Определение уровней звуковой мощности источников шума. Точные методы для заглушенных и полузаглушенных камер. М.: Изд-во стандартов. 1982. 36 с.

4. Вибрации и шум машин постоянного тока и асинхронных машин / Н.В. Астахов [и др.]. М.: МЭИ. 1984. 72 с.

5. Расчёт магнитных вибраций асинхронных двигателей // Н.В. Астахов [и др.]. М.: МЭИ, 1985. 96 с.

6. Исаков В.М., Федорович М.А. Виброшумозащита в электромашиностроении. Л.: Энергоатомиздат. 1986. 208 с.

7. Янг С., Эллисон А. Измерение шума машин / пер. с англ. М.: Энергоатомиздат, 1988. 144 с.

8. Афонин В.И. Выбор числа пазов двигателей привода лифтов // Электротехника. 2005. № 5. С. 24–28.

9. Афонин В.И. Виброшумоактивность двигателей привода лифтов // Электротехника. 2005. № 5. С. 28–32.

10. Афонин В.И. Шумы электродвигателей привода лифтов. Владимир: ВООО ВОИ, 2007. 94 с.

11. Афонин В.И., Западня М.Ф. Шумовые характеристики электродвигателей частотно-регулируемого редукторного привода лифтов // Электротехника. 2010. № 12. С. 20–24.

УДК 621.331.333.001.6

ДИАГНОСТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МАШИНЫ БЕЗ ОТКЛЮЧЕНИЯ ОТ РАБОТЫ

Дияр Аслан Ахмедов[1], Аслан Дияр Ахмедов[2]

[1]АЗНИИПИЭ, г. Баку, [2]СГУ, г. Сумгаит

[1,2]diyar.ahkmedov@gmail.com

Рассмотрены задачи применения достижений общетехнической диагностики в электроэнергетике для распознавания и оценки технического состояния электрических машин в условиях работы. Показано, что для этой цели эффективным является метрический метод основанного на использовании диагностической меры расстояния, разделении в пространстве признаков.

Ключевые слова: асинхронный двигатель, обмотка статора, межфазовое замыкание, параметры контроля, вибрационное ускорение, техническое состояние.

DIAGNOSTIC ESTIMATION OF THE CONDITION OF THE ELECTRICAL MACHINE WITHOUT DISCONNECTION FROM WORK

Diyar Aslan Akhmedov, Aslan Diyar Akhmedov

The tasks of applying the achievements of general technical diagnostics in the electric power industry for recognizing and evaluating the technical condition of electric machines in working conditions are considered. It is shown that for this purpose the metric method based on the use of a diagnostic measure of distance, separation in space of features, is effective.

Key words: asynchronous motor, stator winding, interphase closure, control parameters, vibration acceleration, technical condition.

Одним из путей решения проблемы повышения надежности электрических машин (ЭМ) является разработка методов и средств диагностики неисправностей и контроля технического состояния в условиях работы. Для обеспечения эффективного контроля текущего состояния важное значение имеет своевременное распознавание неисправностей с помощью соответствующих информативных диагностических признаков [1]. Таковыми для ЭМ могут быть вибрационные, аккустические параметры и характеристики электромагнитные и другие процессы функционирования. Наличие

соответствующей диагностирующей информации, позволяет применить математические методы общетехнической диагностики и на их основе разработать новые способы диагностического контроля текущего состояния ЭМ.

В настоящей статье рассматриваются вопросы применения метода технической диагностики [2], основанного на использовании положений диагностической меры расстояния и разделении в пространстве признаков для оценки технического состояния ЭМ. В работе в качестве диагностирующей информации используются данные экспериментальных исследований неисправностей в ЭМ, проведенных по специальной методике [3]. Эксперименты проводились на отдельных типовых образцах ЭМ с предварительной проверкой их исправностей.

В качестве примера в табл. 1 приведены некоторые экспериментальные данные, полученные на трехфазном асинхронном двигателе (типа 4А132М4УЗ, 11 кВт 1 450 об/мин) при межфазовом замыкании в обмотке статора.

Экспериментальные данные, приведенные в табл. 1, являются результатами измерения усредненных значений исследованных параметров и определены как математическое ожидание на основе многократного измерения этих величин. В соответствии с гипотезой компактности известно, что при заданном техническом состоянии параметры, отображающие данное состояние группируются в одной области в пространстве признаков.

Таблица 1

Результаты измерений

Режим	Состояние обмотки		Параметры вибрационного и акустического процессов			
			Вибросмещение A, мкм	Вибрационная скорость V, мм/с	Вибрационное ускорение α, м/с^2	Уровень шума L, дБ
Х.Х ($\dot{I}$=0)	Исправное		45	2,0	4,0	59
	Межфазовое замыкание в фазах A и B, $\dot{I}_{к.з}$, А	12	57	2,8	5,2	66
		24	60	3,5	6,5	70
		30	65	4,6	8,8	75
Нагрузки ($\dot{I}$ = 0,5$\dot{I}_н$)	Исправное		95	3,0	5,0	53
	Межфазовое замыкание в фазах A и B, $\dot{I}_{к.з}$, А	12	120	3,4	6,1	62
		24	130	4,3	7,8	71

Каждой точке геометрического места состояний в пространстве признаков соответствует определенное значение заданной физической величины. При этом область рассматриваемого геометрического места точек, в которых функция $f(x)$ принимает постоянное значение, называется потенциальным полем, а функция – потенциальным функцией. Очевидно, что при заданной степени тяжести исследуемой неисправности техническое состояние машины может быть характеризовано в пространстве как геометрическое место точек, отражающих значения соответствующих параметров процессов функционирования (табл. 1). В качестве примера на рис. 1 изображены области геометрических мест точек в пространстве признаков двух состояний обмотки статора АД – исправного E_H и неисправного E_s при межфазовом замыкании.

Относительные границы областей названных технических состояний на пространственной плоскости показаны как геометрические места сгруппированных точек. Данные точки характеризуют изменяющиеся значения временных функции вибрационного ускорения за время 0,1 с. При этом условием компактности является то, что число граничных точек мало по сравнению с общим числом точек в области. Как видно, дискриминантные функции $f_1(\alpha)$ и $f_2(\alpha)$ имеют наибольшее значение для точек своей области и убывают по мере удаления от нее. Для распознавания этих состояний следует принять разность показанных дискриминантных функции (рис. 1):

$$f(a) = f_1(a) - f_2(a). \qquad (1)$$

При этом решающим правилом является основное свойство разделяющей функции:

$$f(a) > 0 \text{ при } a \in E_H \text{ и } f(a) < 0 \text{ при } a \in E_s. \qquad (2)$$

Из этого следует, что разделяющая функция $f(a)$ должна быть убывающей функцией расстояния l между точками b и d – центрами областей рассматриваемых технических состояний.

Указанные точки являются центром тяжести соответствующих областей и характеризуют математическое ожидание многомерных векторов $\overline{a}_i^{(E_H)} = k$ и $\overline{a}_i^{(E_s)} = v$. Очевидно, что концы этих многомерных векторов описывают площадь областей исправного и неисправного состояний и математическое среднее этих векторов определяется следующим образом:

$$\bar{K} = \frac{1}{n}\sum_{i=0}^{n} k; \tag{3}$$

$$\bar{V} = \frac{1}{n}\sum_{i=0}^{n} v. \tag{4}$$

На рис. 1 можно ввести расстояние между произвольной точкой x в пространстве признаков, характеризующей, центр области состояния допуска $E_{\text{д}}$ и точками, принадлежащими областям исправного и неисправного состояний E_H и E_s. В данном случае для распознавания состояний можно использовать также следующую диагностическую меру расстояния:

$$a \in E_H \text{ если } L_i \geq L_j; \tag{5}$$

$$a \in E_s \text{ если } L_i < L_j, \tag{6}$$

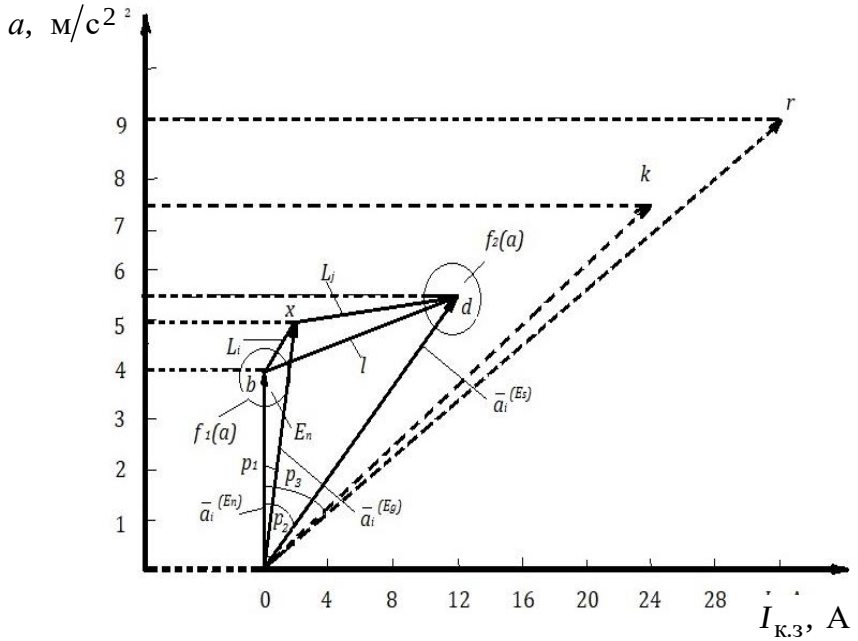
где $i, j = 1, 2, 3, .., n$; $i \neq j$; L_i – расстояние между точками областей исправного состояния и состояния допуска; L_j – расстояние между точками областей состояний допуска и неисправных состояний. При этом в пределах областей исправного состояния и состояний допуска можно принять:

$$L_i \approx L_j \approx l. \tag{7}$$

В пределах этих областей примерно равны между собой и векторы указанных состояний:

$$\bar{a}^{(E_H)} \approx \bar{a}^{(E_d)}. \tag{8}$$

Тогда последние два состояния могут быть соотнесены к единой области исправности. Для оценки степени относительного изменения геометрических расстояний в пространстве признаков при возникновении неисправности по сравнению с их значениями в исправном состоянии для последнего состояния (7) и (8) примем равным единице. С учетом изложенного на примере вибрационного ускорения при его значениях, полученных из экспериментальных исследований, пространстве признаков определено изменение названых геометрических величин. Они используются в качестве диагностической меры (рисунок). Некоторые результаты данного анализа и оценки технического состояния машины при различных степенях тяжести рассматриваемой неисправности приведены в табл. 2.



Области технических состояний в пространстве признаков

Таблица 2

Результаты анализа и оценки технического состояния машины

Состояние обмотки статора в режиме Х Х		Параметры распознавания					
		l, о.е	α_l, о.е	l, о.е	Диагностическая мера		Оценка технического состояния АД
					Знак потенциальной функции $f(\alpha)$	Геометрическое расстояние	
Исправное		1,0	1,0	1,0	≥ 0	$L_i \geq L_j$	E_H
Задано межфазовое замыкание в фазах *A* и *B*, $\dot{I}_{к.з}$, А	12	2,6	1,55	2,0	< 0	$L_i < L_j$	E_s
	24	5,7	2,4	5,0	< 0		
	30	7,7	3,0	7,0	< 0		

Для простоты на рис. 1 диагностические меры расстояния в пространстве признаков иллюстрированы только для случая неисправности, когда ток в короткозамкнутом контре равен 12 А.

Для случаев, когда токи в короткозамкнутом контре равны 24 и 30 А, табличные данные определены аналогично, построением в пространстве признаков области соответствующих неисправных состояний, центры которых в соответствии с экспериментальными данными отмечены точками *k* и *r* на рисунке.

Оценка технического состояния электрических машин в условиях работы успешно может быть произведена на основе методов с использованием диагностической меры расстояния и разделении в пространстве признаков. Для получения диагностической информации для задач диагноза

следует проводить экспериментальные исследование влияния отдельных неисправностей на параметры процессов функционирования в электрических машинах.

Источники

1. Цветков В.А. О диагностическом обслуживании энергетических агрегатов // Электрические станции. 1996. № 1. С. 17–22.

2. Биргер И.А. Техническая диагностика. М: Машиностроение, 1978. 235 с.

3. Диагностирование неисправностей асинхронных электродвигателей на основе сравнения кривых интегральной функции распределения параметров вибрационного ускорения / Р.И. Мустафаев [и др.] // Известия вузов. Электромеханика. 2017. Т. 60, № 5. С. 12–17.

УДК 658.51

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ВЫБОРА И ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ГПС

Тамелла Ахмед кызы Ахмедова[1], Джаваншир Фирудин оглы Мамедов[2], Гурбан Садых оглы Абдуллаев[3], Ильгар Рафаэль оглы Алиев[4]

СГУ, г. Сумгаит

[1,2,3,4]tamella.ahmedova@mail.ru

На основе анализа программных продуктов для создания базы данных определены их основные функции для проектирования, структурирования технических индикаторов с целью их дальнейшего эффективного поиска и выбора.

На примере ФМС машиностроительного предприятия с использованием СУБД мобильный поиск и выбор нестандартных элементов системы управления и промышленного робота гибкой автоматизированной ячейки для продувки каналов плоских заготовок выполнила.

Ключевые слова: программный продукт, база данных, гибкая система производства, сенсор.

APPLICATION OF SOFTWARE FOR AUTOMATED SELECTION AND DESIGNING OF GPS MANAGEMENT SYSTEM ELEMENTS

Tamella Ahmed Kyzy Ahmedova, Javanshir Firudin ogly Mamedov, Gurban Sadih ogly Abdullaev, Ilgar Rafael ogly Aliyev

Based on the analysis of software products for creating a database, their main functions for designing, structuring technical indicators for the purpose of their further effective search and selection are determined. On the example of the FMS of a machine-building

enterprise with the use of a DBMS, mobile search and selection of non-standard elements of a control system and an industrial robot of a flexible automated cell for blowing channels of flat blanks performed.

Key words: software product, database, flexible production system, sensor.

На этапе эскизного проектирования компоновочных схем автоматизированных участков гибкой производственной системы (ГПС) работа проектировщика связана с решением задачи формирования необходимого состава основного технологического оборудования и производственных модулей, стандартных и нестандартных элементов системы управления и электроснабжения, последовательности технологических операций в производственных модулях, распределения основного технологического оборудования между обслуживающими роботами и построения программно-алгоритмического обеспечения [1, 2]. Анализ работ по автоматизации процессов выбора и проектирования нестандартных элементов системы управления [3] показал, что для эффективности решения данной проблемы требуется применение специальных программных средств интеллектуального назначения.

В этой связи в работе рассматривается вопрос создания программного обеспечения для эффективного выбора элементов системы управления ГПС с целью их дальнейшего моделирования и построения реального проекта автоматизированной схемы.

Объектом исследования является ГПС в области машиностроения, где основным принципом при составлении плана расположения оборудования является обеспечение прямоточного движения заготовки в процессе их изготовления в соответствии с технологическим процессом. Металлорежущие, шлифовальные станки, гидравлические прессы и другие устройства, являющиеся основным оборудованием в гибких автоматизированных участках ($ГАУ_1$, $ГАУ_2$,…, $ГАУ_n$) расположены по ходу технологического процесса, т.е. в порядке выполнения технологических операций в ГПС (рис. 1). Промышленные роботы, выполняющие обслуживающие операции, устанавливаются между технологическими оборудованиями в гибких автоматизированных участках.

Представленные размеры в $ГАУ_i$ (на примере $ГАУ_6$) соответствуют стандартам, хранящимся в базе данных (рис. 1).

Стандартные размеры между оборудованиями и безопасное расстояние между оборудованиями и стенами, пролетами цеха выбираются на основе условий. Задавая выше представленные стандартные размеры в виде переменных $b_{\max}$, a_{ij} с помощью программной процедуры «Записи – фильтр»

на экран выводятся необходимые для эскизного чертежа компоновки ГАУ$_i$. Для запроса по стандартным размерам в разделе «Запросы» задаются требуемые условия выбора соответствующих нормативных размеров компоновочного размещения оборудования в ГАУ$_i$ ГПС.

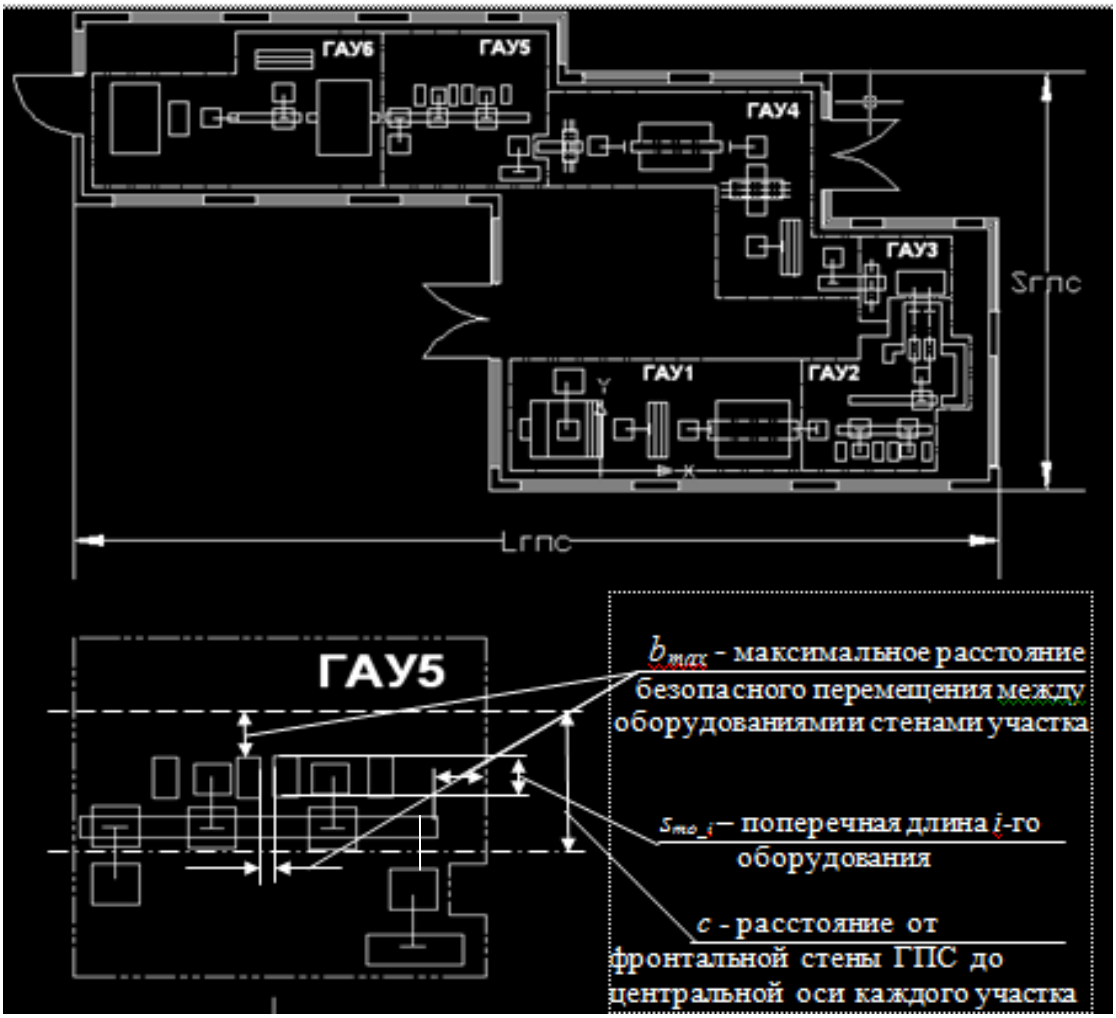


Рис. 1. Компоновочная схема ГПС машиностроительного предприятия: s_{mo_i} – поперечная длина i-го оборудования; $b_{\max}$ – максимальное расстояние безопасного перемещения между оборудованиями и стенами участка; c – расстояние от фронтальной стены ГПС до центральной оси каждого участка

Проектировщик, выполняющий работы на базе разработанного проектно-управляемого интерфейса и готовой операционной системы с расширенными возможностями взаимодействия с офисными, служебными, специальными конструкторскими, математическими программными средствами, на базе локальной и глобальной компьютерной сетью, одновременно осуществляет проектные процедуры по разработке информационного обеспечения автоматизированного проектирования, выбора и управления данной информацией.

Рассмотрим этапы практической реализации вопросов по разработке базы данных нестандартных элементов управления и электроснабжения $ГАУ_i$ ГПС и созданию поисковых запросов из готовой базы данных. Разработка базы данных нестандартных элементов сенсорной системы управления ГПС и операции поиска, выбора выполняется с помощью программной системы Microsoft Access. Типы нестандартных элементов системы управления ГПС, предварительно определенные проектировщиком в режиме конструктора вводятся в ячейки таблицы базы данных. Окончательная табличная форма базы данных всех типов нестандартных элементов системы управления (датчики, система технического зрения (СТЗ), чувствительный элемент) и промышленных роботов (захватное устройство (ЗУ)) ГПС представлена на рис. 2.

db1 : база данных

Таблица1_НЭ_ГПС : таблица

Код	НЭ ГАУ1	НЭ ГАУ2	НЭ ГАУ3	НЭ ГАУ4	НЭ ГАУ5	НЭ ГАУ6
1	ЗУ мех_типа	ЗУ магн_типа	ЗУ мех_типа	ЗУ ваак_типа	ЗУ магн_типа	ЗУ магн_типа
2		Поз_манип			Поз_манип	
3					Беск_моном	
4	Чувств_элем		Чувств_элем	Чувств_элем		Чувств_элем
5	Тепл_датч			Тепл_датч		Тепл_датч
6					СТЗ	СТК
7	Датч_индукт	Датч_электр	Датч_электр	Датч_индукт	Датч_электр	Датч_оптич
гчик)						

Рис. 2. База данных элементов системы управления ГПС

Определенные исследованием типы нестандартных элементов участков ГПС представляются нижеследующим образом: захватные устройства механического, магнитного и вакуумного типа (ЗУ мех_типа, ЗУ магн_типа, ЗУ вак_типа) для захвата малогабаритных и крупногабаритных плоских заготовок, монтированные на руках промышленного робота, применяются на всех $ГАУ_i$ ГПС; позиционирующий манипулятор (поз_манип) для позиционирования плоских заготовок, устанавливаемых на автоматической транспортной системе $ГАУ_2$ и $ГАУ_5$; бесконтактный манометр (беск_моном) для измерения давления воды в гидравлическом прессе $ГАУ_5$; чувствительный элемент (чувст_элем) для измерения относительно больших деформаций, возникающих при движении руки промышленного робота соответственно на участках $ГАУ_1$, $ГАУ_3$, $ГАУ_4$, $ГАУ_6$; тепловые датчики (тепл_датч), устанавливаемые на нагревательных производственных модулях участков $ГАУ_1$, $ГАУ_4$, $ГАУ_6$; СТЗ

для определения дефектов на поверхности заготовок [4], устанавливаемая над автоматической транспортной системой $ГАУ_5$; система технического контроля (СТК) для контроля за качеством конечной продукции, устанавливаемая над автоматической транспортной системой $ГАУ_6$ перед упаковкой продукции в готовые тары; датчики индуктивные, электромагнитные и оптические (датч_индукт, датч_электр, датч_оптич) для фиксирования положений технологического оборудования и перемещения промышленных роботов.

Для определения типов нестандартных элементов системы управления $ГАУ_i$ ГПС осуществляются запросы в готовую базу данных. Для этого на экране в поисковом окне отдельно вводится параметр запроса (НЭ_ГПС). Далее вводят значение параметра (НЭ $ГАУ_i$), из базы данных для $ГАУ_i$ выбираются соответствующие типы нестандартных элементов. Поиск нестандартных элементов для других участков ГПС осуществляется аналогичным образом.

Создание базы данных нестандартных элементов системы управления ГПС осуществляется на основе приобретения готовых технических показателей и полученных расчетных параметров посредством математических и алгоритмических методов, которые включены в подсистему автоматизированного проектирования нестандартных элементов ГПС.

Технические характеристики захватных устройств промышленных роботов, позиционирующих манипуляторов, специальных датчиков, систем технического зрения и контроля ГПС, вводятся в базу данных, которая разрабатывается на базе программной системы. Подсистема базы данных нестандартных элементов системы управления создается и редактируется через панель управления и соответственно команды меню интерфейса комплексной системы автоматизированного проектирования ГПС (рис. 3).

Поиск нестандартных элементов из базы данных осуществляется на основе их основных параметров: грузоподъемность захватного устройства; чувствительность, быстродействие и погрешность позиционирования датчиков [5]. При выборе захватного устройства учитывается специфика технологических операций технологического оборудования и промышленных роботов во всех участках $ГАУ_i$ ГПС. Если учитывать, что в $ГАУ_1$ для загрузки и разгрузки крупногабаритных алюминиевых заготовок требуются захватные устройства с грузоподъемностью от 5 до 10 кг, то при выборе задаются соответствующие условия и выбираются ЗУ механического типа.

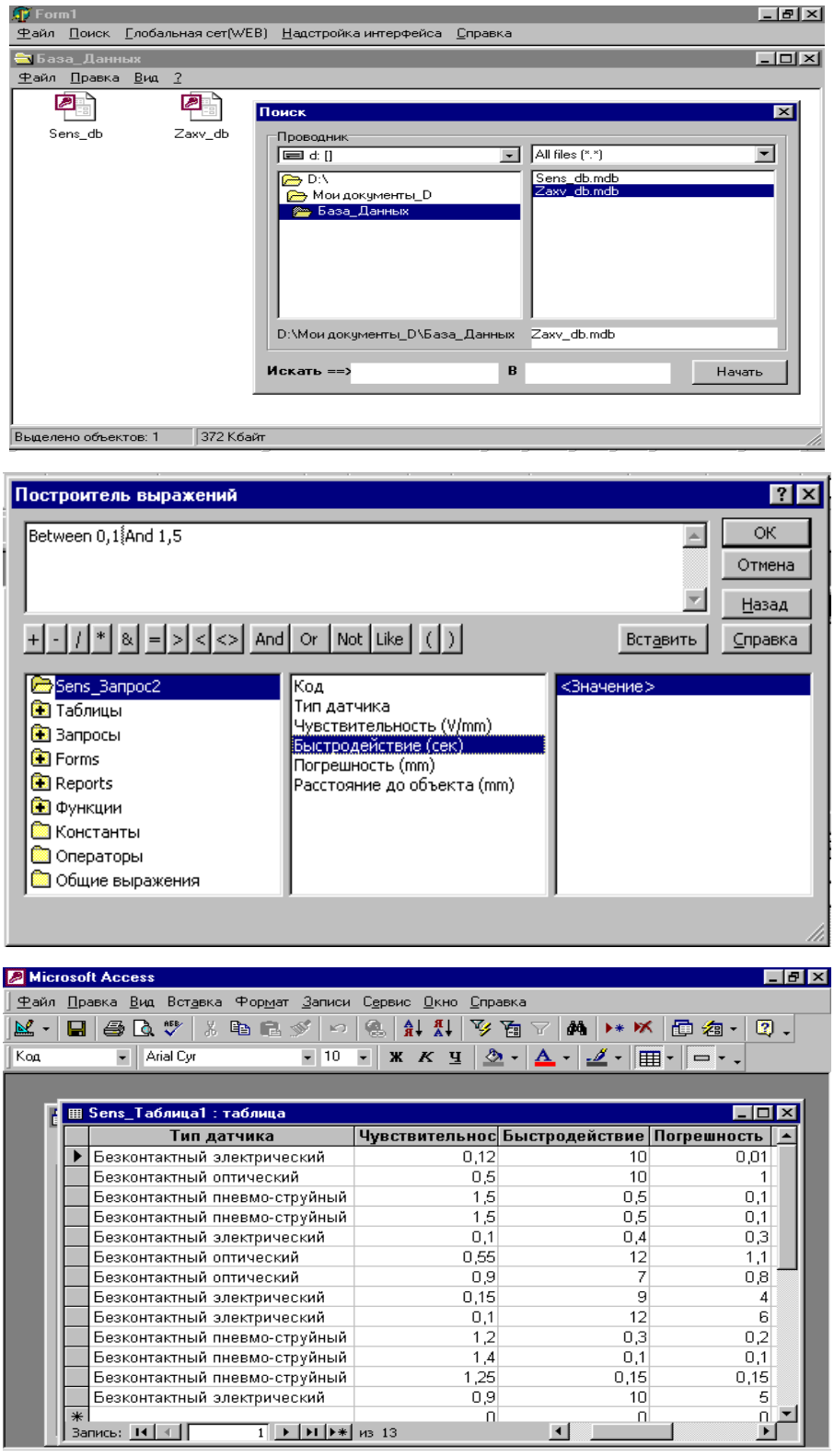


Рис. 3. Программные модули баз данных и выбора типов датчиков

Заданные операторы выбираются из каталога «Операторы» или с помощью пиктограмм на панели управления и вставляются в окно построителя выражений. Далее сохраненное сравнительное или логическое выражение позволяет выбрать все типы захватных устройств и вывести их список в табличной форме.

Список типов датчиков выбираются аналогичным образом в соответствии с требованиями производства и составленными условиями выражениями в системе Access. Если учесть, что при поиске информационных элементов системы управления ГПС, то есть датчиков для фиксирования позиций перемещения руки промышленного робота, захватного устройства промышленного робота требуются высокие технические показатели по быстродействию и погрешности позиционирования, то, составляя условия с логическими и сравнительными операторами, из базы данных выбираются соответствующие датчики.

Таким образом, в работе на основе анализа программных продуктов по созданию базы данных определены их основные функции для проектирования, структурирования технических показателей с целью их дальнейшего эффективного поиска и выбора. На примере ГПС машиностроительного предприятия с применением системы управления базами данных осуществляется мобильный поиск и выбор нестандартных элементов системы управления и промышленного робота гибкого автоматизированного участка для раздувки каналов плоских заготовок.

Источники

1. Андреев Г.А., Новиков В.Н., Схиртладзе А.Г. Проектирование технологической оснастки машиностроительного производства. М.: Высшая школа, 2002. 415 с.

2. Проектирование автоматизированных участков и цехов / Ю.М. Соломенцев [и др.]; под ред. Ю.М. Соломенцева. М.: Высшая школа, 2000. 271 с.

3. Мамедов Дж. Ф. Проектирование интеллектуального информационного обеспечения системы управления и регулирования холодильных установок // Приборы и Системы. Управление, Контроль, Диагностика. 2002. № 12. С. 19–22.

4. Мамедов Дж.Ф., Халилов С.А., Талыбов Н.Г. Разработка системы технического зрения промышленного робота в условиях ГПС // Актуальные проблемы твердотельной электроники и микроэлектроники: тр. 9-й Междунар. науч.-техн. конф. Ч. 2. с. 77–80.

5. Мамедов Ф.И., Дадашева Р.Б., Мамедов Дж.Ф. Двухмерный индуктивный датчик для одновременного измерения двух технологических параметров Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2001. № 5. С. 54–55.

УДК 621.311

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ СМЕШАННЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ НИЗКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Ашраф Баламет Баламетов[1], Афаг Камил Салимова[2], Наиб Исмихан Гаджиев[3]

[1,2]ООО «АзНИПИИЭ», г. Баку
[3]СГУ, г. Сумгаит,

[1]balametov.azniie@gmail.com, [2]afag_sk@mail.ru, [3]naib.haciyev.sdu@mail.ru

Схема традиционной системы централизованного электроснабжения потребителей сельской местности, имеющая протяженные линии, не позволяет обеспечить показатели качества электроэнергии, надежности и экономичности. Показана необходимость модернизации системы электроснабжения 0,38/0,22 кВ. Для электроснабжения потребителей сельской местности предлагается перейти на комбинированные распределительные электрические сети 0,4 кВ с сетью 0,66–1 кВ. Приведены характеристики системы электроснабжения комбинацией распределительной электрической сети 0,4 кВ с сетью 0,66 – 1 кВ. Потери в системе электроснабжения более чем в 2 раза ниже, чем в традиционной 0,38/0,22 кВ.

Ключевые слова: энергосбережение, система электроснабжения, распределительная сеть, потери электроэнергии, сети напряжением до 1 кВ, качество электроэнергии.

ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF MIXED DISTRIBUTION ELECTRIC NETWORKS OF LOW VOLTAGE

Ashraf Balamet Balametov, Afag Kamil Salimova, Naib Ismihan Gadzhiev

The scheme of the traditional system of centralized power supply to consumers in rural areas, which has long lines, does not allow for indicators of power quality, reliability and efficiency. The necessity of upgrading the power supply system of 0.38/0.22 kV is shown. To supply power to consumers in rural areas, it is proposed to switch to combined 0.4 kV distribution electric networks with a network of 0.66–1 kV. The characteristics of the power supply system by the combination of a 0.4 kV distribution network with a network of 0.66–1 kV are presented. Losses in the power supply system are 2 and more times lower than in traditional 0.38/0.22 kV.

Key words: energy saving, power supply system, distribution network, power losses, networks with voltage up to 1 kV, power qualit.

На современном этапе развития отечественной энергетики достаточно остро стоит вопрос перехода к энергосберегающим технологиям в сельскохозяйственном производстве, что обусловлено возрастающим электропотреблением и снижением качества электрической энергии (ЭЭ) для развивающихся сельскохозяйственных потребителей.

Электрическая энергия, поставляемая энергоснабжающими организациями потребителям по договорам, выступает как товар особого вида, характеризующийся совпадением во времени процессов производства, транспортирования и потребления, а также невозможностью его хранения и возврата. Соответственно, как к товару любого вида, к электроэнергии применимо понятие «качество». Отклонение показателей качества электроэнергии от установленных стандартами ухудшает условия эксплуатации электроустановок как сети, так и потребителей.

Цель статьи заключается в анализе путей снижения потерь и повышения качества электрической энергии и разработка энергосберегающей системы электроснабжения.

Особенность электрических сетей сельскохозяйственного назначения – это большая рассредоточенность потребителей электроэнергии, которая и обуславливает значительные протяженности сетей 10(6) и 0,4 кВ, большие расстояния между пунктами потребления, малые величины потребления в каждом узле и незначительная плотность электрической нагрузки в месте потребления [1].

На сегодняшний день существуют схемы электроснабжения сельского хозяйства, которые построены в виде центральной понизительной трансформаторной подстанции, размещенной в центре электрических нагрузок населенного пункта, а распределительные сети 0,4 кВ расходятся в разные стороны от подстанции.

Повсеместно значительная часть распределительных сетей 0,38 кВ находится в неудовлетворительном техническом состоянии и является источником существенных потерь электроэнергии из-за наличия в сетях проводов различных марок, окисленных скруток, несимметричных нагрузок, большой протяженности, отсутствия стабильности уровня напряжения и т. д. Потери в этих сетях доходят до 60 % общих потерь областных энергокомпаний. Сельские сети характеризуются значительным количеством повреждений воздушных линий (ВЛ) напряжением 0,4кВ с неизолируемыми проводами на железобетонных опорах. Основные повреждения на ВЛ напряжением 0,4 кВ – отсутствие контакта на вводе и на линии, отключения защиты от коротких замыканий, обрывы проводов. На сегодняшний день в непригодном для эксплуатации состоянии находятся огромное количество ВЛ напряжением 0,38 кВ [2].

Традиционная система электроснабжения. Приводится анализ технико-экономических показателей системы электроснабжения потребителей электро-энергетической системы (ЭЭС) Азербайджана и показано,

что современный этап развития энергетики характеризуется возрастающим электропотреблением, развитием малых частных объектов, ферм, имений и ростом расстояний от центра питания до индивидуальных потребителей 0,38/0,22 кВ, которые приводят к снижению качества электрической энергии (КЭЭ) и повышению потерь ЭЭ в электрических сетях [2–5]. Показана необходимость модернизации системы электроснабжения 0,38/0,22 кВ и предложена энергосберегающая система электроснабжения.

Существующая трехфазная четырехпроводная система электроснабжения 0,38/0,22 кВ характеризуется рядом недостатков: большее использование цветных металлов, высокий уровень потерь ЭЭ (15 % и более), неудовлетворительное КЭЭ, связанное с превышением коэффициентов несинусоидальности, высокий уровень потерь напряжения, вызывающий недопустимые отклонения напряжения у отдаленных потребителей. Все это приводит к значительным убыткам электроснабжающих организаций, а также приносит значительный вред потребителям ЭЭ. Протяженность сетей 0,4 кВ составляет 60,1 тыс. км. Длина фидеров 6–10 кВ колеблется от 15 км до 25 км. Потери ЭЭ в районных электрических сетях (РЭС) 0,4, 6–10 кВ составляют 60 % от суммарных потерь в ЭЭС.

К приоритетным мероприятиям по снижению технических потерь ЭЭ в РЭС 0,4–10 кВ относятся: использование напряжения 10 кВ в качестве основного напряжения распределительной сети; сокращение радиуса действия строительства ВЛ 0,4 кВ в трехфазном исполнении; использование максимального допустимого сечения провода в ЭС 0,4–10 кВ ; применение столбовых трансформаторов малой мощности 6–10/0,4 кВ для сокращения протяженности сетей 0,4 кВ и потерь ЭЭ в них; более широкое использование устройств FACTS, Smart-Grids автоматического регулирования напряжения под нагрузкой, средств местного регулирования напряжения для повышения КЭЭ и снижения ее потерь.

Схема децентрализованной энергосберегающей системы электроснабжения показана на рис. 1 [1–3]. Вся распределительная сеть выполняется на высоком напряжении 10 кВ, а распределение ЭЭ на напряжении 0,4–0,23 кВ осуществляется путем коротких соединений от трансформатора к потребителям, что позволяет исключать сооружение ВЛ напряжением 0,4 кВ.

Предварительной оценке экономической эффективности, путем реконструкции 10 % сетей 0,4 кВ протяженностью выше 0,6 км в Азербайджанской ЭЭС можно добиться снижения потерь ЭЭ в РЭС с 15 до 4 % и сэкономить в год до 77 млн кВт·ч ЭЭ.

Сравнение экономических расчетов двух систем электроснабжения показало, что энергосберегающая система имеет лучшие технико-экономические показатели по сравнению с традиционной системой электроснабжения.

Поэтому существующую систему центрального распределения электроэнергии целесообразно заменить системой максимальной децентрализации, что позволит значительно сократить потери и капиталовложения.

Комбинированная энергосберегающая система электроснабжения 0,4 кВ и 0,66–1 кВ. Схема комбинированной энергосберегающей системы электроснабжения 0,4 кВ и 0,66–1 кВ показана на рис. 1 [3–4].

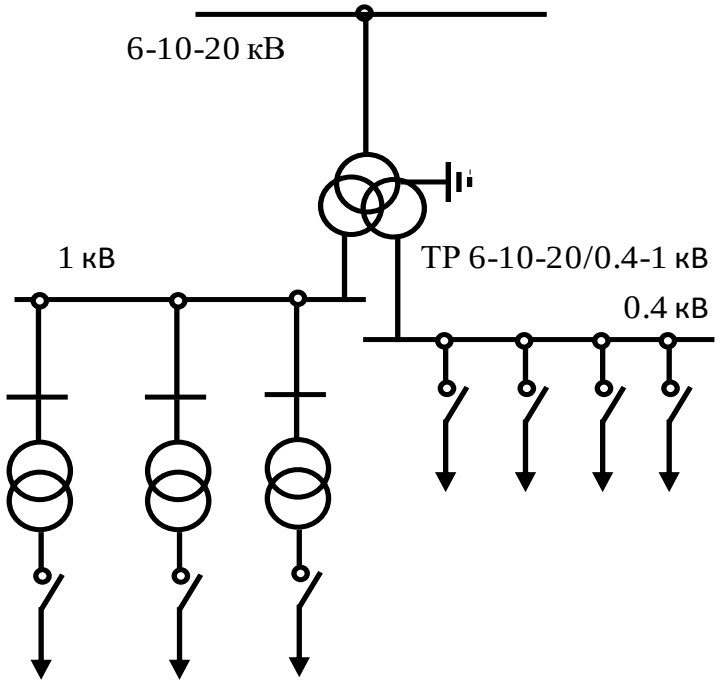


Рис. 1. Комбинированная система электроснабжения 0,4–1 кВ

Децентрализованная энергосберегающая система электроснабжения представляет собой систему распределения на напряжении 10 кВ с изолированными проводами марки СИП, с установкой на опоре питающей сети в максимальной близости к потребителю одно- или трехфазной понизительной трансформаторной подстанции мощностью 10, 16, 25, 40 кВт. При этом распределительные сети 0,38/0,22 кВ практически отсутствуют. Они представлены только в виде вводов 0,38/0,22 кВ от трансформаторной подстанции к потребителю. При этой системе следует предусмотреть воздушную прокладку проводами марки СИП. Защиту на стороне низкого напряжения надлежит осуществить автоматическими выключателями с максимальной и дифференциальной защитой, это обеспечит электробезопасность и контроль за несанкционированным отбором.

Следует также отметить, что если в системе традиционного централизованного электроснабжения железобетонные опоры ВЛ напряжением 0,4 кВ расставляются через каждые 25 м, то при децентрализации железобетонные опоры ВЛ напряжением 10 кВ расставляются каждые 50 м. Со стороны 10 кВ защиту трансформаторной подстанции следует предусмотреть разъединителями-предохранителями.

Внедрение этой системы позволит отказаться от магистральных распределительных сетей 0,38/0,22 кВ, а также воздушных сетей наружного освещения, проходящих по территории жилого поселка [4].

Сравнительный анализ распределительных электрических сетей низкого напряжения. Распределительные электрические сети 0,4 кВ, традиционные применяемые в настоящее время, имеют ряд существенных недостатков:

1) небольшая пропускная способность сетей 0,4 кВ;

2) ограничение длины от распределительного пункта (РП) до потребителя по допустимому напряжению, обычно имеющее значения 200–600 м;

3) большие падения напряжений и потери ЭЭ линий 0,4 кВ;

4) коммерческие потери в сетях 0,4 кВ;

5) низкие показатели качества электрической энергии (ПКЭ).

Использование комбинированной РЭС 0,4 кВ с сетью 0,66–1 кВ позволяет:

1) уменьшить протяженность линий 0,4 кВ за счет введения 0,66–1 кВ;

2) увеличить пропускную способность;

3) уменьшить территории для строительства РЭС за счет уменьшения количества трансформаторных подстанций (ТП) и охранных зон ВЛ;

4) снизить коммерческие потери, а также за счет экономии участков земли, уменьшения количества ТП и протяженности ВЛ себестоимость строительства РЭС;

5) повысить ПКЭ.

В комбинированной распределительной электрической сети 0,4 кВ и 0,66–1 кВ, возможно использование соотношений напряжений, приведенных в табл. 1.

Таблица 1

Варианты смешанных РЭС 0,4 кВ с сетью 0,66–1 кВ

№ п/п	Номинальное напряжение, В		Максимальное напряжение, В	
	фазное	линейное	фазное	линейное
1	220	380	240	420
2	380	660	420	726
3	660	1 143	726	1 257
4	525	910	577	1 000

Пример комбинированной распределительной электрической сети 0,4 кВ с сетью 0,66–1 кВ. Для примера возьмем трансформаторную подстанцию с трансформатором мощностью 100 кВА и линию электропередачи 0,38/0,22 кВ. Пусть длина линии составляет 700 м, количество потребителей – 40.

Выполним экономический расчет традиционной и энергосберегающей системы электроснабжения с одинаковыми техническими параметрами.

Для определения потерь электрической энергии в сети было выполнено моделирование режимов потребления средствами Multisim для обеих систем электроснабжения (рис. 2).

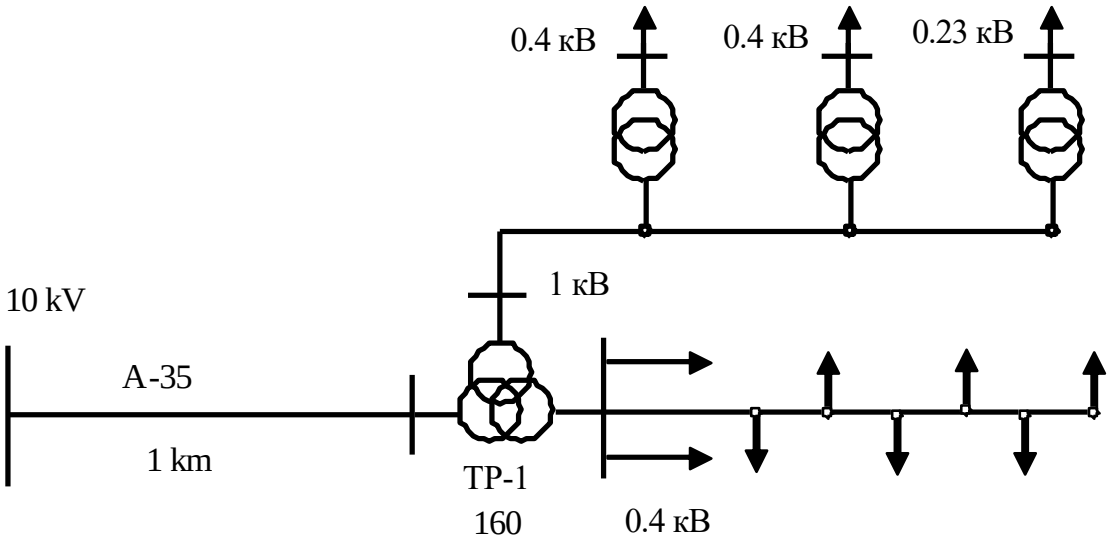


Рис. 2. Комбинированные распределительные сети 0,4 кВ с сетью 0,66–1 кВ

В результате моделирования [4, 5] суммарные потери электрической энергии (с учетом потерь в линии и в трансформаторах) в традиционной системе электроснабжения составили 4 108,44 кВт/год, а в энергосберегающей – 61,32 кВт/год. На рис. 2 изображены три трансформатора по 60 кВА с длиной ВЛ 0,4 кВ по 1 800 м. Параметры проводов для смешанных распределительных сетей 0,4, 0,66 и 1 кВ приведены в табл. 2.

Таблица 2

Параметры проводов

Марка провода	r_0, Ом/км	x_0, Ом/км
А-16	1,94	0,4
А-25	1,28	0,385
А-35	0,85	0,374
А-50	0,588	0,339

Падение напряжения в линии длиной 1 км определяется по формуле:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I_{\max} R, \qquad (1)$$

где R – активное сопротивление линии.

Максимальная передаваемая мощность равна:

$$S = \sqrt{3} \cdot I_{\max} \cdot U; \qquad (2)$$

$$I_{\max} = i_{\max} F,$$

где $i_{\max} = 2{,}5$ А/мм^2 – максимальная плотность тока в линии; F – сечение провода; U – напряжение линии.

Нагрузочные потери электроэнергии в линии определяют по формуле:

$$\Delta W = 3 \cdot I_{\max}^2 \cdot R_{\text{экв}} \cdot T, \qquad (3)$$

где $I_{\max}$ – максимальная токовая нагрузка; $R_{\text{экв}}$ – эквивалентное сопротивление линии; T – период времени.

Выполнен анализ падения напряжения, зависимости удельных потерь мощности от передаваемой мощности, пропускной способности линии в зависимости от напряжения для воздушной линии сечением 35 мм^2 (0,79 Ом/км).

Графические зависимости падения напряжения, удельных потерь мощности, пропускной способности линии в зависимости от напряжения для воздушной линии сечением 35 мм^2 представлены на рис. 3–5, соответственно.

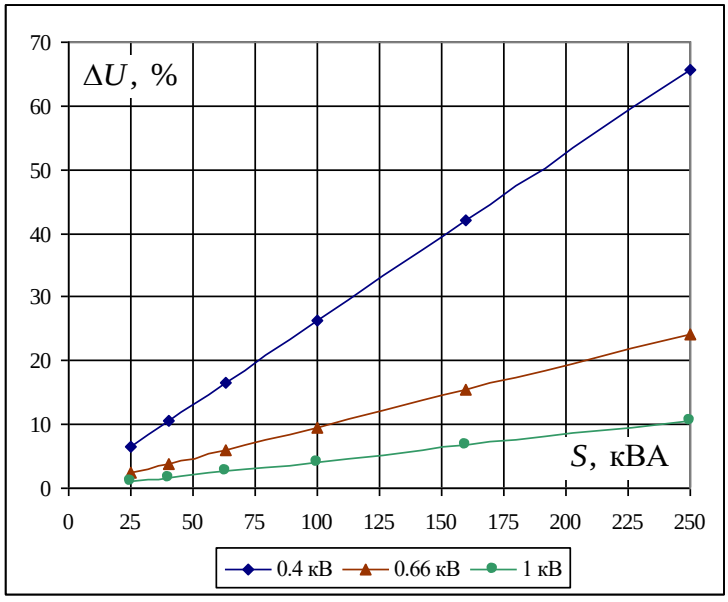


Рис. 3. Зависимость падения напряжения от передаваемой мощности

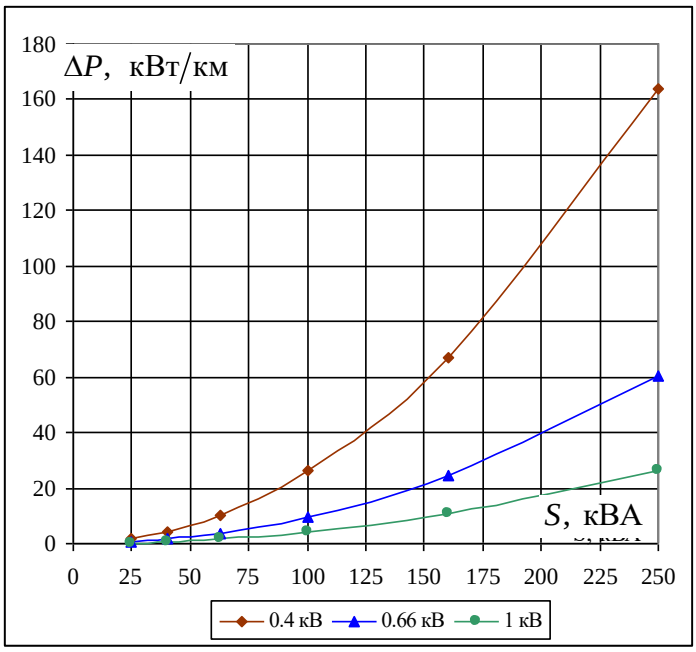


Рис. 4. Зависимость удельных потерь от передаваемой мощности

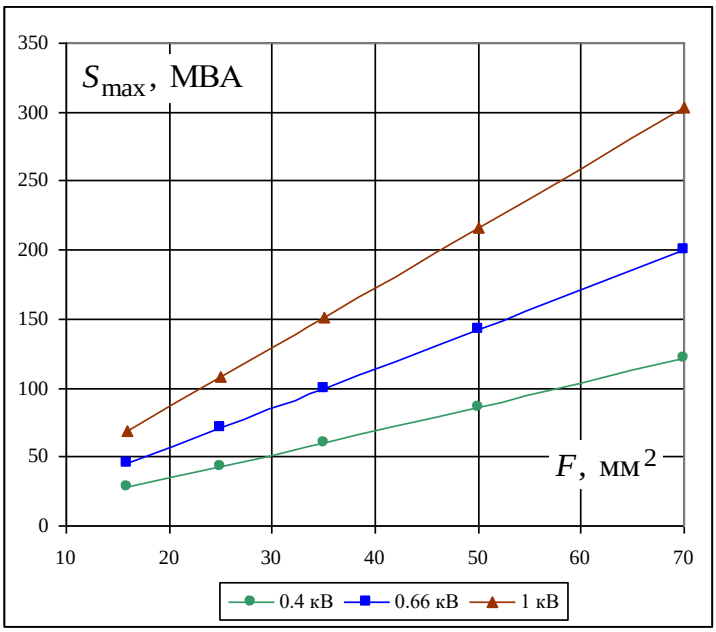


Рис. 5. Пропускная способность линии в зависимости от напряжения

Анализ результатов показывает, что потери электроэнергии в электрической сети 0,66 кВ приводят к увеличению дальности обслуживания потребителей в 1,65 раза больше, чем в электрической сети 0,4 кВА при использовании напряжения 1 кВ дальность обслуживания потребителей растет в 2,5 раза.

При длине передачи мощности на 1 км линии 0,66 кВ потери мощности в 2,7 раза меньше, чем в линии 0,4 кВ. А, при использовании напряжения 1 кВ длиной 1 км потери мощности в 6 раз меньше, чем в линии 0,4 кВ.

Также можно сделать следующие выводы. Для энергоснабжения сельских потребителей предлагается перейти на комбинированную систему распределения ЭЭ, что позволяет решить проблему обеспечения качества, надежности и эффективности ЭЭ. Замена сетей 0,4 кВ на новые комбинированные распределительные сети 0,66–1 кВ выгодна с точки зрения повышения надежности, эффективности и показателей качества ЭЭ.

Переход на РЭС до 0,66–1 кВ обеспечивает увеличение пропускной способности сетей, расширение диапазона обслуживания потребителей, значительное снижение потерь мощности и ЭЭ.

Источники

1. Будзко И.А., Левин М.С. Электроснабжение сельскохозяйственных предприятий и населенных пунктов. М.: Агропромиздат, 1985.

2. Левин М.С., Лещинская Т.Б. Анализ несимметричных режимов сельских сетей 0,38 кВ // Электричество. 1999. № 5. С. 18–22.

3. Зотов А.А. Смешанная трехфазно-однофазная система распределения электроэнергии // Энергетик. 2007. № 11. С. 18–22.

4. Balametov A.B., Salimova A.K., Balametov E.A.. Energy-efficient solutions for electric power supply rural and suburban consumers // The 13th International Conference on Technical and Physical Problems of Electrical Engineering. Van, Turkey, 21–23 September, 2017. P. 79–83.

5. Баламетов А.Б., Халилов Э.Д. Расчет, анализ и нормирование потерь электроэнергии в электрических сетях энергосистем. Баку: ЭЛМ, 2015. 234 с.

УДК 621.314, 519.21:004

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ МЕТОДОМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Юрий Владимирович Бебихов[1], Наталья Николаевна Кугушева[2], Александр Сергеевич Семёнов[3]

[1]ООО «ПТВС», [2,3]МПТИ (ф) СВФУ им. М.К. Аммосова г. Мирный

[1]bebikhovyura@mail.ru, [2]natali_k-80@mail.ru, [3]as.semenov@s-vfu.ru

Данная статья посвящена вопросам определения токов короткого замыкания в системе электроснабжения одного из участков промышленного предприятия методом математического моделирования в среде MatLab. Описаны требования, предъявляемые к системам электроснабжения промышленных предприятий. Выбран участок на промышленном предприятии – компрессорная станция, имеющая радиальную схему электроснабжения. Приведена однолинейная схема электроснабжения, перечень оборудования

компрессорной станции, математическая модель для определения токов короткого замыкания. Получены графические и численные результаты моделирования режима короткого замыкания, которые подтверждают произведенные ранее расчеты с относительной погрешностью смоделированных и расчетных данных не более 10 %.

Ключевые слова: система электроснабжения, токи короткого замыкания, математическое моделирование, программа MatLab, погрешность.

DETERMINATION OF SHORT CIRCUITS CURRENTS IN THE ELECTRICAL SUPPLY SYSTEM BY THE METHOD OF MATHEMATICAL MODELING

Yuri Vladimirovich Bebikhov, Natalya Nikolaevna Kugusheva,
Alexander Sergeevich Semenov

This article is devoted to the issues of determining short-circuit currents in the power supply system of one of the sections of an industrial enterprise by the method of mathematical modeling in the MatLab environment. The requirements for power supply systems of industrial enterprises are described. A site was selected at an industrial enterprise – a compressor station with a radial power supply circuit. A single-line power supply scheme, a list of equipment at a compressor station, a mathematical model for determining short-circuit currents are given. Graphic and numerical results of the simulation of a short-circuit mode were obtained, which confirm the previously performed calculations with a relative error of the modeled and calculated data of no more than 10%.

Key words: power supply system, short circuit currents, mathematical modeling, MatLab program, error.

Требования, предъявляемые к электроснабжению предприятий, зависят от их величины и потребляемой ими мощности. Система электроснабжения предприятия состоит из питающих, распределительных, трансформаторных и преобразовательных подстанций и связывающих их кабельных, воздушных сетей и токопроводов напряжением до 1000 В и свыше 1000 В [1, 2].

Система электроснабжения строится таким образом, чтобы все её элементы постоянно находились под нагрузкой. Холодный резерв в линиях электропередачи и трансформаторах не применяется. При таком режиме работы уменьшаются потери электроэнергии и повышается надежность, так как долго находившийся в бездействии холодный резервный элемент может при его включении отказать в работе вследствие каких-либо неисправностей, оказавшихся незамеченными [3]. Скрытый резерв предусматривается в самой схеме электроснабжения, которая при послеаварийном режиме должна быть в состоянии принять на себя нагрузку временно выбывшего элемента путем перераспределения её между оставшимися в работе частями сети с использованием перегрузочной способности электрооборудования [4].

Схемы распределения электроэнергии строятся по ступенчатому принципу. Число ступеней определяется потребляемой мощностью и размещением электрических нагрузок на территории предприятия. На средних по мощности предприятиях применяются радиальные схемы кабельных сетей напряжением 6 кВ. Радиальные схемы распределения электроэнергии применяются главным образом в тех случаях, когда потребители расположены в различных направлениях от центра питания [5, 6].

Исходя из вышеизложенных условий для примера определения токов короткого замыкания (КЗ) в системе электроснабжения путем математического моделирования выбираем систему электроснабжения компрессорной станции рудника, которая строится по радиальной схеме электроснабжения посредством кабельных линий электропередачи. Однолинейная схема электроснабжения компрессорной станции приведена на рис. 1. Параметры потребителей компрессорной станции приведены в табл. 1.

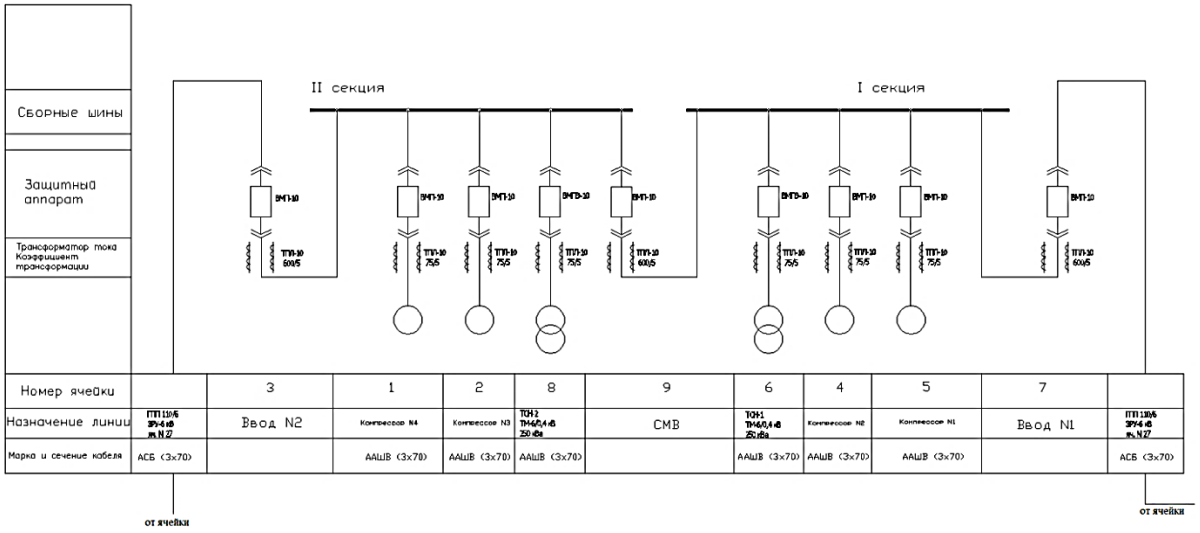


Рис. 1. Однолинейная схема электроснабжения оборудования компрессорной станции

Таблица 1

Параметры потребителей компрессорной станции

№	Потребитель	Кол-во	*U*, кВ	*P*, кВт	*Q*, кВАр
1	Компрессор	4	6	750	562
2	Вентилятор	4	0,4	20	15
3	Электронагреватель	4	0,4	6,6	4,9
4	Мостовой кран	2	0,4	10,5	7,8
5	Насос	4	0,4	6,3	4,7
6	Освещение	21	0,4	0,4	0,3

Для определения токов короткого замыкания в системе электроснабжения компрессорной станции методом математического моделирования на основе проведенных ранее расчетов разработана модель, реализованная с помощью пакета программ MatLab. В настоящее время известно много программных продуктов для математического моделирования технических систем. Среди классических математических пакетов, таких как Mathcad, Maple, Mathematica, особое место занимает пакет программ MatLab [7]. Данный пакет предназначен для моделирования и исследования статических и динамических систем в широком понимании этого термина, включая и дискретные, и непрерывные, и гибридные модели [8]. Приложение Simulink, входящее в состав среды MatLab и представляющее собой библиотеку блоков, является в настоящее время одним из наиболее популярных инструментов численных расчетов и применяется в различных областях знаний [9].

Разработанная модель имитирует работу системы электроснабжения и состоит из следующих основных блоков: источник трехфазного переменного напряжения (*Three-Phase Source*); трехфазный трансформатор (*Three-Phase Transformer*); трехфазная нагрузка (*Three-Phase Series Load*); трехфазный измерительный блок тока и напряжения (*Three-Phase V-I Measurement*); выключатель (*Breaker*); осциллограф (*Scope*); трехфазный измеритель активной и реактивной мощности (*Three-Phase Active & Reactive Power*); блок трехфазного короткого замыкания (*Three-Phase Fault*). Для создания модели выполняем расстановку блоков на схеме в определенной последовательности, задаем их рассчитанные параметры [10, с. 67], соединяем блоки между собой и устанавливаем параметры расчета модели в целом (рис. 2).

Для подтверждения работоспособности собранной математической модели производим измерения сначала в нормальном режиме работы. Снимаем показания с осциллографа Scope5, задействованного на участке работы высоковольтного оборудования – компрессоров. Из графиков, представленных на рис. 3, видно, что такие параметры как полная, активная и реактивная мощности, напряжение и ток практически полностью соответствуют ранее рассчитанным значениям с погрешностью менее 3 %.

Для имитации режима короткого замыкания используется блок *Three-Phase Fault*, расположенный в двух точках *K*1 и *K*2 на участке работы высоковольтного и низковольтного оборудования соответственно. Выбираем время искусственного срабатывания блоков КЗ, равное 0,4 и 0,2 с для точек *K*1 и *K*2 соответственно. Результаты измерения токов при коротком замыкании представлены на рис. 4 и 5.

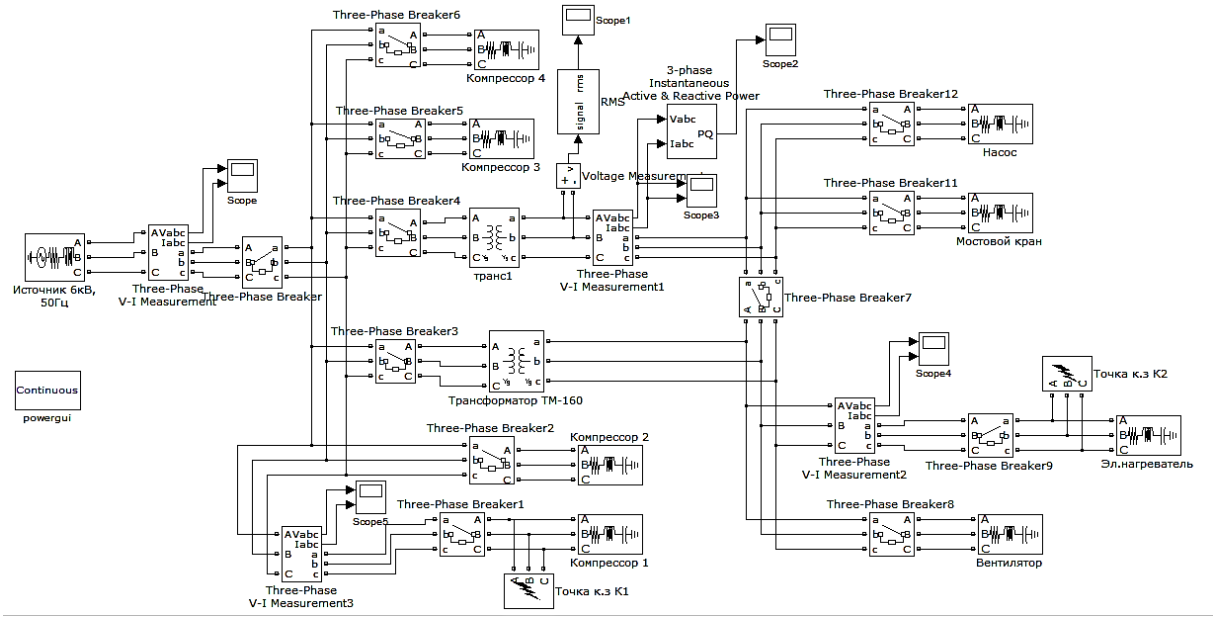


Рис. 2. Математическая модель системы электроснабжения компрессорной станции

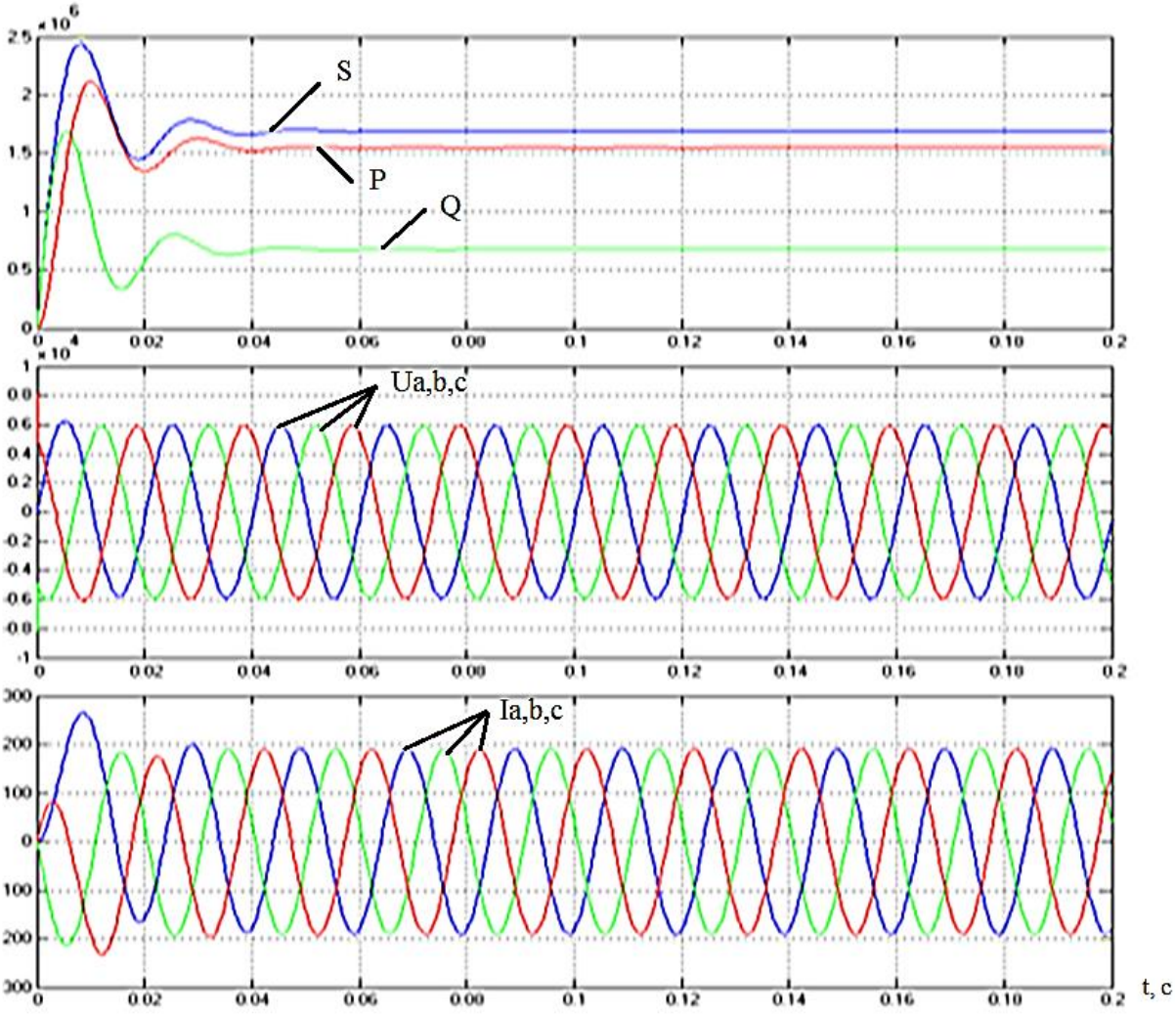


Рис. 3. Графики изменения во времени полной (*S*), активной (*P*) и реактивной (*Q*) мощностей, напряжения на фазах *A*, *B* и *C* $\left(U_{A,B,C}\right)$, а также фазного тока $\left(I_{A,B,C}\right)$

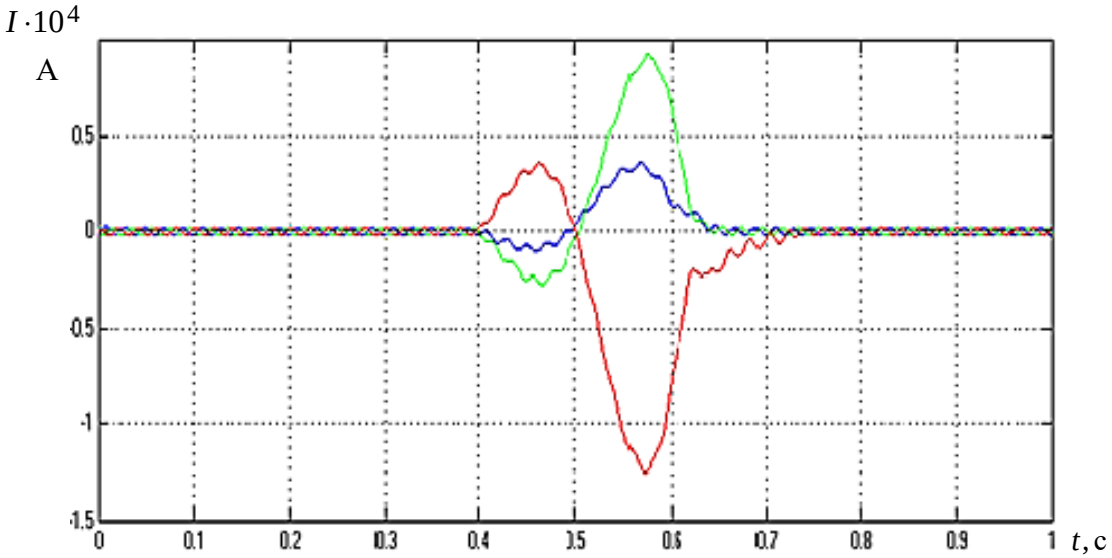


Рис. 4. Трехфазный ток короткого замыкания в точке *К*1

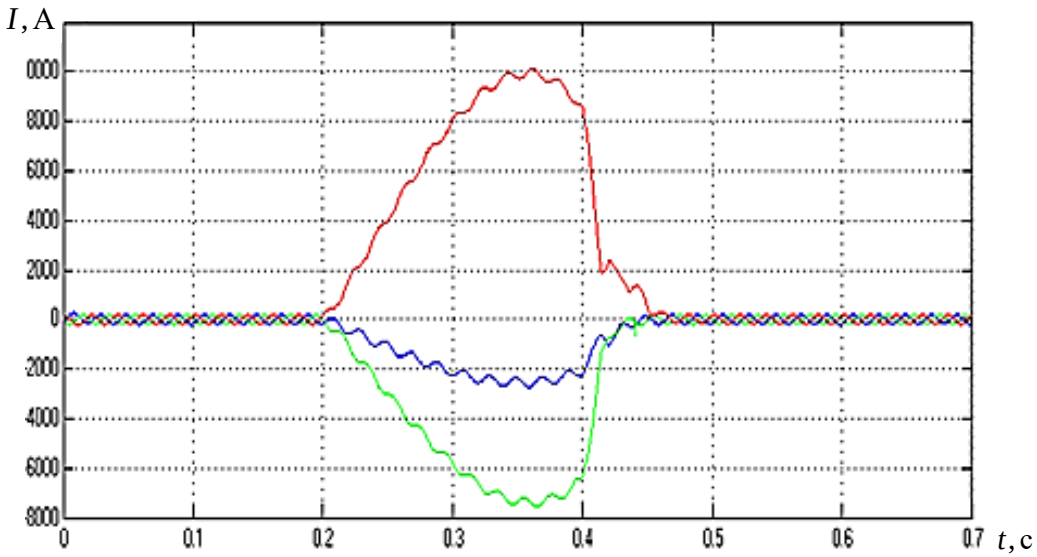


Рис. 5. Трехфазный ток короткого замыкания в точке *К*2

На первом графике (рис. 4) наблюдается постепенное нарастание тока КЗ. Своего максимального значения ток трёхфазного короткого замыкания в точке *К*1 достигает спустя 180 мс. Тогда как на втором графике (рис. 5) видно, что уже спустя 100 мс ток КЗ в точке *К*2 превышает 8 кА. Полученная информация может быть полезна при выборе аппаратов защиты и времени срабатывания уставки.

Для подтверждения корректности определения токов КЗ при помощи математического моделирования проведем сопоставление с ранее рассчитанными параметрами и вычислим относительную погрешность. Внесем в табл. 2 параметры рассчитанного и смоделированного токов короткого замыкания в двух точках.

Таблица 2

Сопоставление токов короткого замыкания

Точки КЗ	$I_k^{(3)}$, А	
	расчет	данные модели
*К*1	10 090	10 870
*К*2	9 930	10 145

Рассчитаем процент относительной погрешности для точек короткого замыкания *К*1 и *К*2 соответственно по следующей формуле:

$$\Delta I_{\text{КЗ}} = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max}} \cdot 100\%;$$

$$\Delta I_{K1} = \frac{10870 - 10090}{10870} \cdot 100\% = 7{,}1\ \%;$$

$$\Delta I_{K2} = \frac{10145 - 9930}{10145} \cdot 100\% = 2{,}1\ \%.$$

В результате проделанной работы были определены токи трехфазного короткого замыкания в системе электроснабжения компрессорной станции методом математического моделирования. Разработанная математическая модель подтвердила свою работоспособность благодаря выявленной отно-сительной погрешности менее 10 % между рассчитанными и смоделирован-ными параметрами. Разработанную математическую модель можно применять на других подобных по своей структуре участковых системах электро-снабжения, имеющих в своем составе как высоковольтное, так и низковольтное оборудование.

Источники

1. Голубцов Н.В., Федоров О.В. Эффективное управление пусконаладочными процессами на электростанции с использованием ранжирования работ // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2018. Т. 20, № 3–4. С. 11–22.

2. Грачева Е.И., Наумов О.В. Потери электроэнергии и эффективность функционирования оборудования цеховых сетей: монография. М.: Русайнс, 2017. 168 с.

3. Целесообразность определения температуры вспышки трансформаторного масла в период текущей эксплуатации / Г.М. Михеев [и др.] // Промышленная энергетика. 2018. № 2. С. 47–49.

4. Fedorov O.V. Expeditious forecasting of power consumption // 2017 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing. Chelyabinsk, 2017. 4 p.

5. Моделирование коммутационных перенапряжений в системах электроснабжения металлургических производств / А.А. Шпиганович [и др.] // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2017. Т. 60, № 9. С. 726–731.

6. Особенности функционирования систем электроснабжения предприятий черной металлургии / А.А. Шпиганович [и др.] // Черные металлы. 2017. № 5. С. 56–61.

7. Семёнов А.С., Якушев И.А., Егоров А.Н. Математическое моделирование технических систем в среде MATLAB // Современные наукоемкие технологии. 2017. № 8. С. 56–64.

8. Петрова М.Н., Семёнов А.С. Математическое моделирование переходных процессов в электромеханических системах // Международный студенческий научный вестник. 2016. № 3–2. С. 312–314.

9. Семёнова М.Н., Семёнов А.С. Исследование системы электроснабжения методом структурного моделирования // Информационные технологии в электротехнике и электроэнергетике: матер. 11-й Всерос. науч.-техн. конф. Чебоксары, 2018. С. 341–344.

10. Семёнов А.С., Хубиева В.М., Кугушева Н.Н. Моделирование режимов работы систем электроснабжения горных предприятий: монография. М.: Перо, 2015. 100 с.

УДК 621.314.263

СПОСОБЫ И УСТРОЙСТВА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СОВМЕСТИМОСТИ В АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДАХ

Андрей Сергеевич Бодылев[1], Ренат Рашитович Шакиров[2], Лилия Амировна Рябишина[3]

ФГБОУ ВО «УГНТУ», г. Уфа

[1]body_lev@icloud.com, [2]renat111@yandex.ru, [3]ryabli@yandex.ru

В данной статье рассмотрена проблема электромеханической совместимости статических преобразователей с асинхронным двигателем. Широкое применение преобразователей частоты в промышленности негативно сказывается на качестве электрической энергии, а так же отрицательно влияет на работу электродвигателей.

Ключевые слова: электромеханическая совместимость, асинхронный двигатель, электрическая энергия, электропривод, управляемый статический преобразователь, гармоника, резонанс, фильтр.

THE DEVICES AND METHODS PROVIDE ELECTROMECHANICAL COMPATIBILITY IN ASYNCHRONOUS ELECTRIC DRIVES

Andrey Sergeevich Bodylev, Renat Rashitovich Shakirov, Liliya Amirovna Ryabishina

This article deals with the problem of electromechanical compatibility of static converters with an asynchronous motor. The widespread use of frequency converters in the industry adversely affects the quality of electrical energy, as well as adversely affects the operation of electric motors.

Key words: electromechanical compatibility, asynchronous motor, electric energy, electric drive, controlled static converter, harmonic, resonance, filter.

В современных электроприводах регулирование скорости вращения вала двигателя осуществляется с помощью преобразователей частоты. Преобразователь частоты (ПЧ) является нелинейным потребителем в электрической сети, вследствие чего возникает проблема, связанная с гармоническими искажениями напряжения питающей сети. ПЧ пагубно влияет на показатели электроэнергии подводимой к электродвигателю (ЭД), в результате этого появляется такая проблема, как электромеханическая совместимость ПЧ с ЭД. Физический смысл электромеханической совместимости заключается в том, что в результате своей работы ПЧ искажают кривую выходного напряжения, внося в нее высшие гармонические составляющие [1].

В современных управляемых электроприводах используются преобразователи частоты с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ). Выходное напряжение такого преобразователя имеет форму прямоугольных импульсов, содержит в своем спектре высшие гармонические составляющие, порядок которых определяется следующим выражением:

$$n = k \cdot f_{\text{ШИМ}}, \qquad (1)$$

где $k = \overline{1,m};$ $f_{\text{ШИМ}}$ – частота широтно-импульсной модуляции.

Влияние высших гармоник напряжения приводит к появлению пульсаций электромагнитного момента, что в свою очередь вызывает механические колебания вращающихся частей двигателя. В результате всего этого появляются вибрации и акустический шум. Но при обычных условиях это все не влечет за собой больших проблем, так как эти моменты малы. Проблемы могут возникнуть при более точном регулировании либо при необходимости достижения скорости вращения вала ЭД равным нескольким оборотам в минуту или ниже.

Для того чтобы оценить качество электромеханических преобразований энергии в электроприводе на базе ПЧ с АД используют следующие показатели.

1. Коэффициент пульсаций электромагнитного момента:

$$k_n = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} M_n^2}}{M_{\text{ср}}} \cdot 100\ \%, \qquad (2)$$

где M_n – амплитудное значение *n*-й гармонической составляющей электромагнитного момента; $M_{\text{ср}}$ – среднее значение электромагнитного момента АД.

2. Амплитуда пульсаций электромагнитного момента:

$$M_m = \frac{M_{(n)\max}}{M_{\text{ср}}} \cdot 100\ \%, \qquad (3)$$

где $M_{(n)\max}$ – максимальная амплитуда *n-й* гармонической составляющей в спектре электромагнитного момента.

3. Уровни шума и вибрации ЭП характеризуются уровнем звукового давления и измеряются в соответствии с нормативным документом ГОСТ Р ИСО 3744-2013 [3]. Измерение механической вибрации ЭД производится в соответствии с ГОСТ IEC 60034-14-2014[4].

Также к показателям качества электромеханической совместимости можно отнести и так называемые резонансные частоты, при которых в ЭП наблюдаются резонансные явления, происходящие в результате совпадения частоты питающего напряжения или частоты вращения двигателя с собственной частотой колебаний механической системы. Определение резонансных частот выполняется опытным или расчетным путем.

Обеспечение электромеханической совместимости ПЧ и АД в ЭП сводится к снижению пульсаций электромагнитных моментов, которые появляются в результате работы ПЧ, устранению резонансных явлений, возникающих при регулировании скорости вращения вала ЭД разнообразными способами.

Существуют следующие способы обеспечения электромеханической совместимости АД с ПЧ в ЭП.

1. Схемные решения (применение многоуровневых автономных инверторов напряжения (АИН)).

2. Специальные законы управления ПЧ (установка несущей частоты по возможности наиболее высокой; алгоритм с пропуском резонансных частот; алгоритм на основе исключения гармоник).

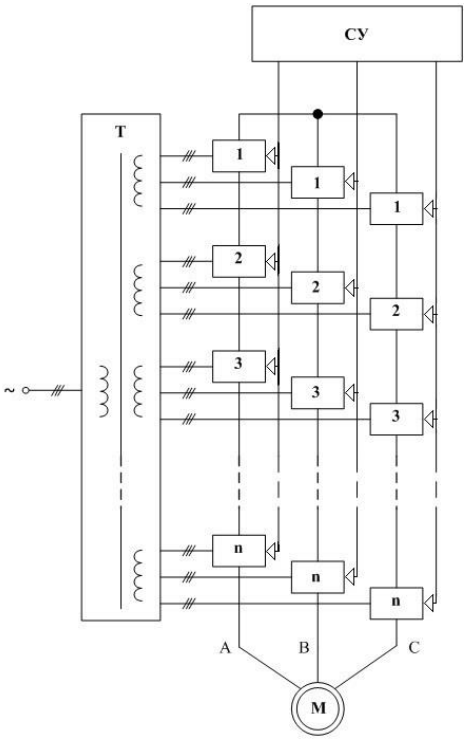
3. Применение фильтрующих устройств.

4. Конструкторские решения при проектировании АД.

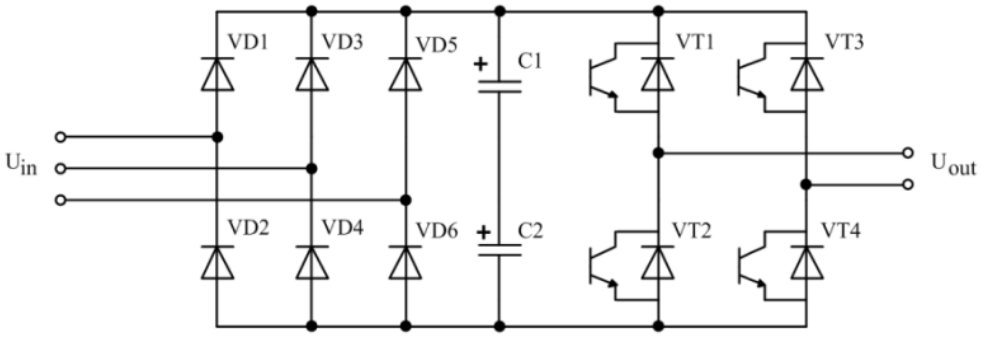
Применение многоуровневых АИН позволяет значительно уменьшить амплитуды высших гармоник в спектре выходного напряжения преобразователя, питающего двигатель, на частотах переключения силовых ключей и кратных ей, тем самым уменьшая коэффициент нелинейных искажений напряжения. Улучшение качества выходного напряжения инвертора при повышении количества уровней преобразователя происходит за счет приближения формы напряжения инвертора к синусоидальному виду, при этом одновременно с уменьшением высших гармоник в спектре напряжения происходит снижение пульсаций электромагнитного момента двигателя [2].

Однако многоуровневые схемы преобразования целесообразно применять только в высоковольтных электроприводах. С увеличением уровней преобразователя пропорционально увеличивается количество силовых ключей, это все приводит к увеличению массогабаритных показателей электрооборудования, а также к высокой стоимости.

На рис. 1 приводится структурная схема многоуровневого преобразователя частоты МУПЧ. Преобразователь состоит из входного многообмоточного трансформатора Т, системы управления СУ и нескольких уровней силовых ячеек, каждая из которых представляет собой автономный инвертор напряжения (рис. 2).



а



б

Рис. 1. Структурные схемы: *а* – МУПЧ, *б* – одноуровневый АИН

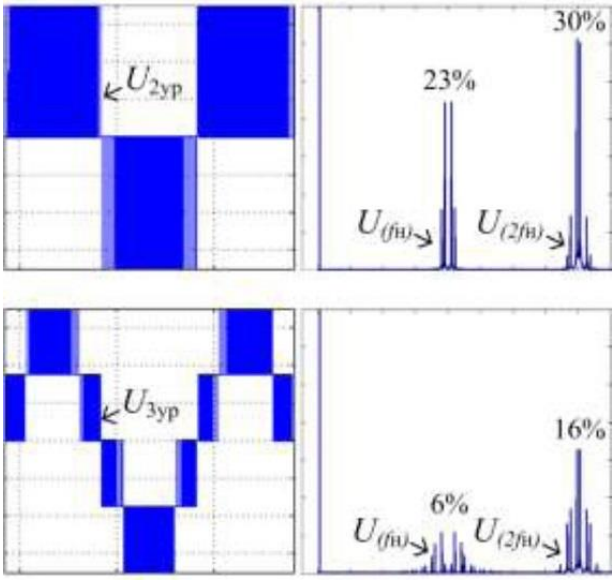


Рис. 3. Форма выходного напряжения с гармоническим составом для двух- и трехуровневого варианта схем АИН

Существуют множество разнообразных способов обеспечения электромеханической совместимости ПЧ с ЭД, но наиболее современными и выгодными являются следующие методы.

Метод, основанный на установке частоты модуляции ПЧ с наиболее высокой ШИМ, позволяет уменьшить пульсации электромагнитного момента в результате уменьшения токов, подводимых к обмотке статора АД. Частота гармонических составляющих напряжения, подводимого к обмотке статора, увеличивается, токи в обмотке уменьшаются, в результате этого снижается пульсация электромагнитных моментов АД. Главный недостаток данного метода заключается в больших динамических потерях энергии в результате большого числа переключений в ПЧ.

Для достижения наибольшей электромеханической совместимости ПЧ с АД в ЭП устанавливают так называемый *LC*-фильтр (синусный), устанавливающийся на выходе преобразователя (рис. 3, *а*). *LC*-фильтр

содержит последовательно подключенные индуктивности и параллельные цепи, состоящие из последовательно подключенных индуктивности и емкости, которые, в свою очередь образуют последовательный колебательный контур, настроенный на определенную гармонику [5]. Выделение и компенсация высших гармоник определенного порядка позволяют получить кривую выходного напряжения, близкую к синусоиде (рис. 3, *б*).



а *б*

Рис. 3. Установка синусного фильтра на выходе преобразователя частоты (*а*) и формы напряжения с током до и после синусного фильтра (*б*)

Но, как и у любого способа улучшения электромеханической совместимости, у данного есть минусы, заключающиеся в высокой стоимости фильтра, увеличении падения напряжения между ПЧ и АД, уменьшении КПД системы.

Для того чтобы достичь нужного уровня электромеханической совместимости преобразователя с электродвигателем, необходимо проектировать комплектный электропривод. В таком ЭП двигатели проектируются под определенный тип преобразователя, поставляемого совместно с ЭД. В результате специальных конструкторских решений, таких как увеличение воздушного зазора двигателя, использование скосов пазов статора и ротора, увеличение числа фаз обмотки статора, применение демпфирующих материалов, достигается наилучший симбиоз ПЧ с АД, в результате которого электромеханическая совместимость достигает наибольшего уровня, а потери, шум и вибрация значительно уменьшаются.

Источники

1. Вершини В.И., Загривный Э.А., Козярук А.Е. Электромагнитная и электромеханическая совместимость в электротехнических системах с полупроводниковыми преобразователями: конспект лекций. СПб.: Санкт-петербургский горный ин-т, 2000. 67 с.

2. Зиновьев Г.С. Силовая электроника: учеб. пособие для бакалавров. 5-е изд., испр. и доп. М.: Юрайт, 2012. 667 с.

3. ГОСТ Р ИСО 3744-2013. Определение уровней звуковой мощности и звуковой энергии источников шума по звуковому давлению. Технический метод в существенно свободном звуковом поле над звукоотражающей плоскостью. М.: Стандартинформ, 2014. 64 с.

4. ГОСТ Р 54149-2010. Машины электрические вращающиеся. Механическая вибрация некоторых видов машин с высотами вала 56 мм и более. Измерение, оценка и пределы жесткости вибраций. М.: Стандартинформ, 2015. 16 с.

5. Бодылев А.С., Рябишина Л.А. Гармонические искажения при работе преобразователей частоты // Повышение надежности и энергоэффективности электротехнических систем и комплексов: межвуз. сб. науч. тр. Уфа, 2018. С. 183–186.

УДК 621.314.26

МЕТОДЫ ПРЯМОЙ И КОСВЕННОЙ ОЦЕНКИ НАГРЕВА ЭЛЕМЕНТОВ РЕАКТИВНЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Антон Евгеньевич Буллер[1], Екатерина Андреевна Кузнецова[2],
Семен Дмитриевич Никонов[3], Сергей Дмитриевич Омельченко[4]

ФГАОУ ВО «НИУ ЮУрГУ», г. Челябинск

[1]buller95anton@gmail.com, [2]ket_ke@mail.ru,
[3]minoremimimi@mail.ru, [4]sergei.omel.97@gmail.com

В статье рассматривается проблема нагрева элементов реактивных электродвигателей. Авторами показано, что во многом нагрев элементов двигателя зависит от выбора формы тока и источника питания. Также был предложен косвенный метод по оценке температуры массивного безобмоточного ротора на основании соотношений для индукционного нагрева.

Ключевые слова: безобмоточный ротор, тепловые потери, нагрев электрических машин, форма фазного тока.

METHODS OF DIRECT AND INDIRECT ESTIMATION OF HEATING ELEMENTS OF REACTIVE ELECTRIC MOTORS

Anton Evgenievich Buller, Ekaterina Andreevna Kuznetsova,
Semen Dmitrievich Nikonov, Sergey Dmitrievich Omelchenko

The article deals with the problem of heating elements of jet electric motors. The authors showed that in many respects the heating of the engine elements depends on the choice of the current shape and the power source. An indirect method was also proposed for estimating the temperature of a massive non-winding rotor based on the ratios for induction heating.

Key words: non-winding rotor, heat loss, heating of electrical machines, form of phase current.

В настоящее время ряд исследователей [1–3] и мировых производителей все больше внимания уделяют синхронным реактивным электрическим машинам. Данный тип электродвигателей в первую очередь отличается наличием безобмоточного ротора, имеющего различную магнитную проницаемость по продольной и поперечной осям.

Одним из первостепенных параметров, определяющим как работу самого электродвигателя, так и всего комплекса «вентильный преобразователь – двигатель» в целом является температура элементов комплекса. Зачастую по температуре двигателя можно сделать вывод о потерях, выделяющихся в нем. Учет этого обстоятельства при разработке системы управления позволяет выбрать наиболее эффективную (по критерию минимального нагрева) форму тока, а также разработать меры по снижению нагрева как отдельных частей электродвигателя, так и всего электропривода. Особо остро этот вопрос стоит ввиду применения широкого спектра вентильных преобразователей, имеющих на выходе модулированное напряжение, содержащее в своем составе высшие гармоники. Современные тенденции в развитии электрических машин говорят о том, что перспективным может быть и отход от традиционной синусоидальной формы тока, например, прямоугольная форма тока подразумевает высокие возможности по быстродействию электроприводов по моменту.

В реактивной электрической машине можно выделить три зоны выделения тепловой энергии: обмотки статора, магнитопровод статора и ротор. При этом нагрев первых двух элементов можно описать с помощью известных соотношений для традиционных машин переменного тока, представленных в литературе [4, 5]. Абсолютно другая ситуация обстоит относительно нагрева ротора. В этом случае традиционные тепловые расчеты электрических машин, основанные на тепловой схеме замещения [5], приводят к большой погрешности вычислений или нерациональному разрастанию тепловой схемы замещения.

С другой стороны, если обратить внимание, что тепловыделение в роторе происходит, в первую очередь, из-за протекания по нему вихревых токов, наводящихся полем статора, то привлекательной видится расчетная модель, используемая в установках индукционного нагрева, так как условия нагрева ротора реактивной машины очень близки к условиям классической задачи теории индукционного нагрева, подробно описанной в литературе [6]. Такая задача сводится к рассмотрению нагрева загрузки (в нашем случае – ротора) цилиндрической или близкой к ней формы в поле цилиндрического же индуктора (в нашем случае многофазного статора).

В рассматриваемой выше ситуации нагрев ротора будет прямо пропорционален частоте тока, протекающего по статору. Однако при питании обмоток статора от полупроводниковых преобразователей неизбежно присутствуют высшие гармоники, искажающие картину нагрева. Эта ситуация усугубляется при питании обмоток прямоугольной формой тока. Для учета подобной картины в литературе по индукционному нагреву [6] предложен принцип, близкий к принципу суперпозиции: энергия, выделяющаяся в роторе при воздействии спектра частот равна сумме энергий при воздействии каждой частоты в отдельности при известном распределении интенсивности влияния каждой из частот. Подобный математический аппарат был также подтвержден современными публикациями по многочастотному индукционному нагреву [7]. Тогда на единицу длины ротора будет выделяться мощность [7]:

$$\Delta P = 1{,}25 \cdot 10^{-3} \cdot J^2 \cdot \sqrt{\rho \cdot \mu \cdot f} \cdot F\left(r/z\right), \qquad (1)$$

где ΔP – мощность, выделяющаяся на единице длины ротора; J – функция настил (поверхностная плотность тока, измеряемая в ампер-витках индуктора, приходящихся на единицу длины загрузки) тока; ρ – удельное сопротивление ротора; μ – магнитная проницаемость ротора; f – частота тока; F – функция Берча (описывает распространение магнитных волн в цилиндре в зависимости от его геометрии); r – радиус ротора; z – длина ротора [7]. Тогда температуру ротора можно вычислить из соотношения:

$$\Delta P = \frac{c \cdot G \cdot \left(t_{\text{н}} - t_0\right)}{\tau_{\text{н}}}, \qquad (2)$$

где c – теплоемкость ротора; G – масса ротора; $t_{\text{н}}$ и t_0 – температуры нагрева и начальная; $\tau_{\text{н}}$ – время нагрева.

Для того чтобы точно определить гармонический состав тока, протекающего по обмоткам статора, были экспериментально отсняты гармонические характеристики с помощью цифрового осциллографа *Fluke*-192B. Характеристики представлены на рис. 1 и 2. Гармонический состав определялся для каждой из форм тока при частоте тока фазы 50 Гц и питании обмоток двигателя от индивидуальных источников тока. Спектральные характеристики показывают, что индивидуальные источники тока позволяют сформировать синусоидальный ток высокого качества, поэтому можно сделать вывод, что при питании обмоток статора реактивной машины синусоидальным током достаточно рассмотреть только первую гармонику, а влиянием остальных, с достаточной степенью точности, можно пренебречь.

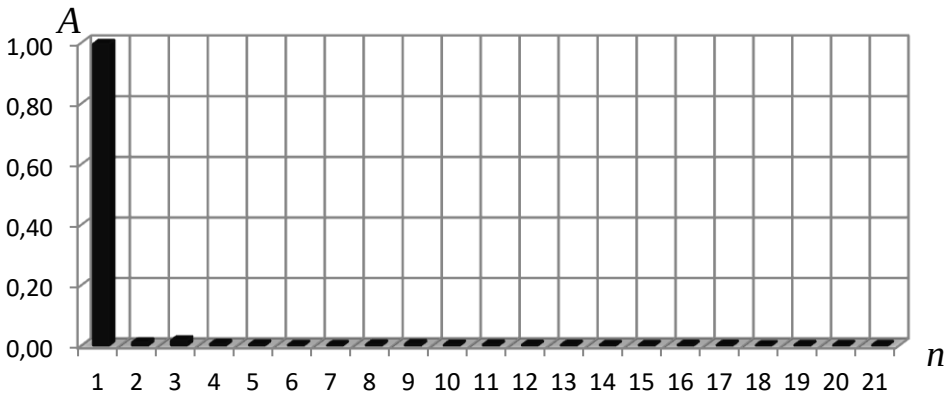


Рис. 1. Гармонический состав синусоидального тока

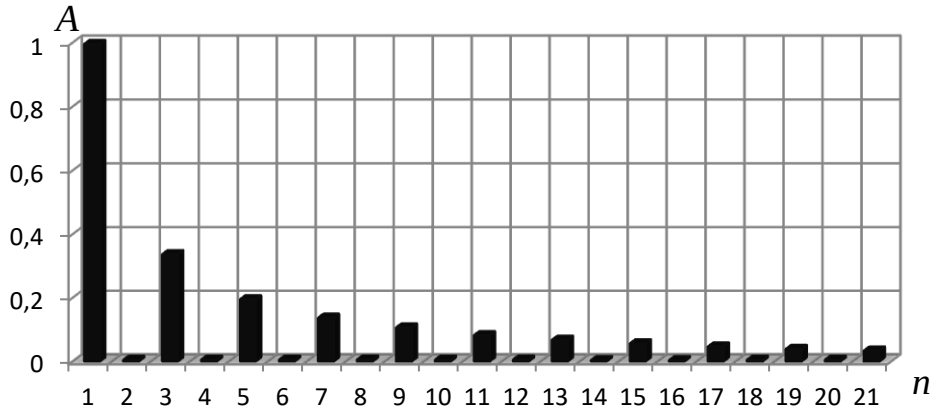


Рис. 2. Гармонический состав прямоугольного тока

На основании приведенных соотношений и экспериментального спектрального анализа токов были получены расчетные кривые нагрева ротора от каждой форм тока. Графики зависимости температуры ротора от времени нагрева представлены на рис. 3.

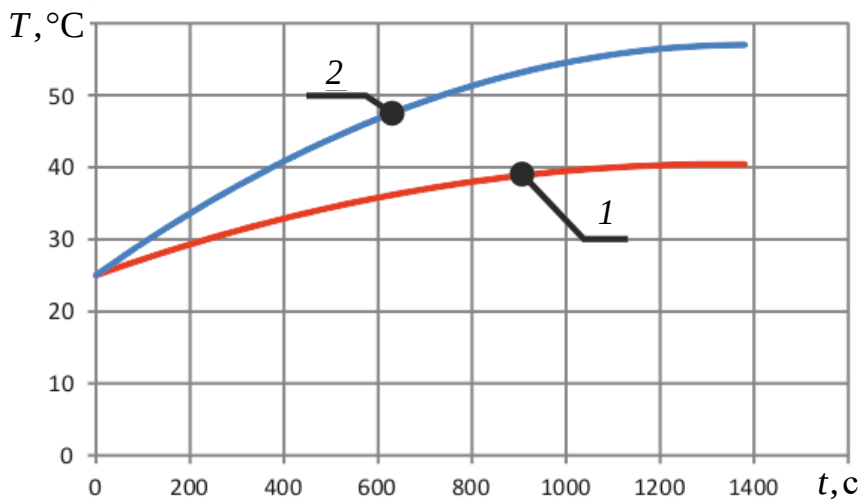


Рис. 3. Расчетные кривые нагрева ротора реактивного электродвигателя:
1 – синусоидальным током, *2* – прямоугольным током

На рисунке представлены кривые нагрева ротора двигателя синусоидальным и прямоугольным токами на основании соотношений для индукционного нагрева. Расчет произведен для случая, когда ток фазы статора составлял 5,5 А. Из рисунков видно, что питание обмоток прямоугольным током вызывает значительное увеличение температуры ротора до 20 %, что в свою очередь, указывает на пропорциональное увеличение потерь. Это объясняется наличием в гармоническом составе прямоугольного тока высших гармоник. Подобное обстоятельство можно объяснить с помощью скин-эффекта – эффекта вытеснения тока на поверхность проводника, в нашем случае – массивного безобмоточного ротора. Так как наводимые токи от высших гармоник проникают на малую глубину, нагрев ротора замедляется за счет теплообмена более нагретой поверхности с более холодной серединой. Эта мысль была в дальнейшем подтверждена при экспериментальном исследовании с помощью тепловизора. Затем теплообмен между частями ротора устанавливается, дальнейший нагрев идет по экспоненциальной кривой.

При прочих очевидных достоинствах рассмотренный выше метод имеет один недостаток – он не учитывает теплообмен ротора с окружающим воздухом и другими частями электродвигателя. В тепловом отношении электрическая машина представляет собой чрезвычайно сложный объект, имеющий в различных частях разную теплопроводность, источники тепловой энергии в котором распределены неравномерно. Указанные обстоятельства исключают проведение полного теплового расчета двигателя с целью определения температуры каждой конкретной части, а также устанавливают в качестве единственного полностью достоверного метода эксперимент. Помимо сравнения опытных и расчетных данных, экспериментальное исследование позволяет сравнить процессы нагрева при питании обмоток от различных источников на лабораторном макете электропривода: электромашинного источника (гладкий ток), преобразователя частоты (ШИМ 3 кГц) и источника тока (ШИМ 20 кГц).

Экспериментальное исследование нагрева электродвигателя также усложнялось выбором устройства, с помощью которого измерялась температура. Измерение температуры возможно с помощью нескольких современных приборов, получивших широкое распространение в промышленности. К таким приборам относят пирометры, тепловизоры и контактные термометры. Ввиду объективных недостатков, обусловленных различным отражением света от различных поверхностей (что ведет к искажению

показаний тепловизора и пирометра), многие авторы рекомендуют применение и считают наиболее точным в качестве измерительного устройства контактные термометры. К числу их недостатков можно причислить лишь неудобство применения – требование непосредственного контакта между измерителем и поверхностью.

Для того чтобы проиллюстрировать разницу в показаниях вышеописанных приборов, на рис. 4 представлено измерение с их помощью одного и того же процесса нагрева обмотки статора током, равным 5,5 А.

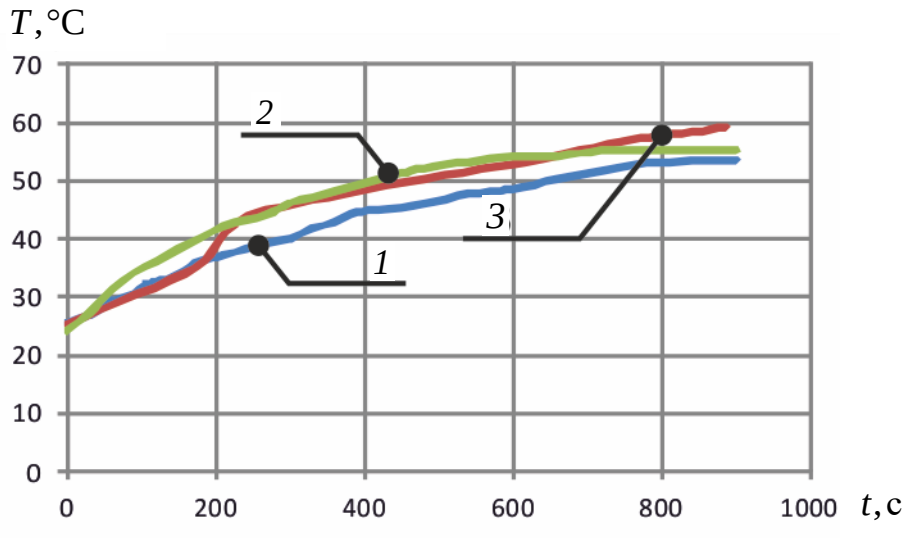


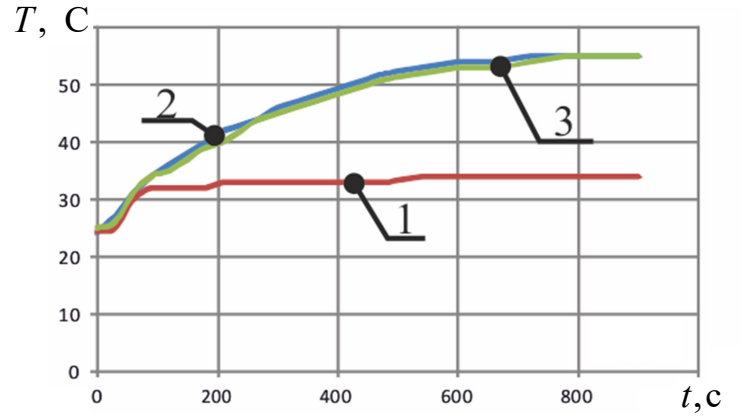
Рис. 4. Сравнение измерения температуры с помощью различных измерительных приборов: *1* – пирометр; *2* – контактный термометр; *3* – тепловизор

Кривые показывают, что на отдельных участках расхождение между показаниями различных приборов достигает 20 %. Принимая экспериментальные данные во внимание, все дальнейшие эксперименты проводились с помощью контактного термометра.

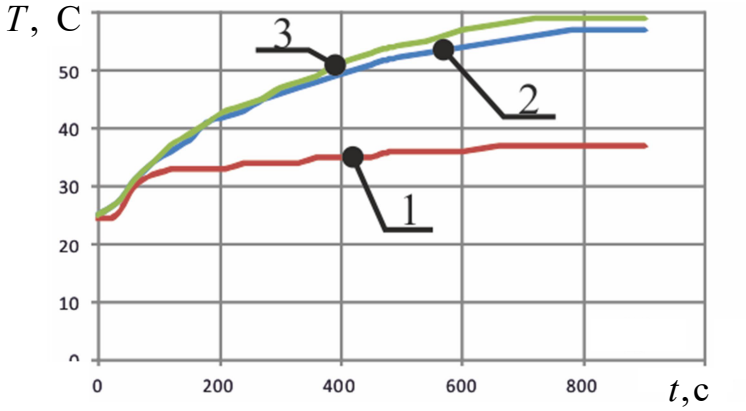
Приняв в качестве измерительного прибора контактный термометр, были проведены опыты по сравнению процессов нагрева от различных источников питания обмоток статора с целью выявления нагрева ротора для каждого из рассматриваемых случаев. Эксперименты проведены для трех случаев: при питании обмоток гладким током (от электромашинного источника), при питании преобразователя частоты с частотой модуляции 3 кГц, а также от источника тока с частотой модуляции 20 кГц. Ток фазы составлял 5,5 А. Результаты экспериментов представлены на рис. 5.

На основании экспериментальных характеристик нагрева ротора можно установить, что вид кривых совпадает с видом расчетных кривых, представленных на рис. 3, расхождение расчета не превышает 10 %.

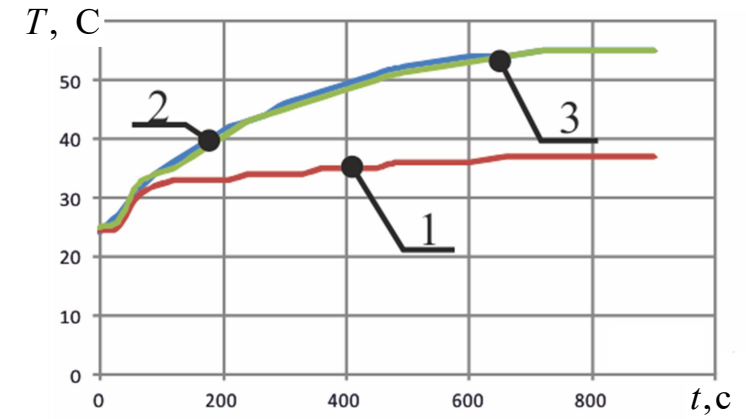
При этом расчет осуществлялся без учета охлаждения от окружающей среды. Также заметно, что с точки зрения нагрева ротора самым неблагоприятным является ток с низкой частотой ШИМ. Подобное обстоятельство объясняется скин-эффектом: высокочастотная составляющая проникает только в поверхностный слой и создает нагрев не всего ротора, а лишь его поверхности.



а



б



в

Рис. 5. Экспериментальные кривые нагрева элементов электродигателя при гладком токе (*а*), ШИМ 3кГц (*б*) и ШИМ 20кГц (*в*): *1* – ротор; *2* – железо статора, *3* – обмотка статора

Наконец, необходимо отметить, что экспериментальные кривые нагрева были сняты при заторможенном роторе, следовательно, можно спрогнозировать некоторое снижение температуры при вращающемся двигателе за счет вентиляции. С увеличением частоты ШИМ, с которым работают транзисторы, увеличиваются и коммутационные потери [8]. Однако коммутационные потери составляют всего 4 % от всех потерь [8], поэтому их увеличение будет незначительным на фоне снижения потерь от нагрева при высокой частоте ШИМ.

Температуры нагрева стали статора и обмотки статора близки и мало изменяются от формы тока, это вызвано большой площадью соприкосновения данных элементов, как следствие – большим теплообменом между элементами. Учитывая полученные экспериментальные зависимости, можно заключить, что наиболее выгодный с точки зрения удельных показателей режим питания током прямоугольной формы оказывается неблагоприятным с точки зрения нагрева ротора. Как показывает расчет (рис. 4), увеличение нагрева ротора может достигать 20 %. Исходя из вышеописанных обстоятельств, можно утверждать, что в случае питания обмоток прямоугольным током желательно использовать модернизированную конструкцию ротора не только по критерию максимальных удельных показателей, но и с точки зрения выделения потерь в роторе.

В существующих публикациях по вопросу нагрева ротора синхронных электрических машин были предложены решения по созданию различного вида рифлений ротора [9] или же разработке ротора специальной формы с немагнитными промежутками. Подобное решение может рекомендоваться в случае модернизированной конструкции ротора, однако это обстоятельство может привести к усложнению конструкции ротора.

В качестве заключения можно привести два тезиса. Во-первых, предложен простой и надежный метод по расчету температуры массивного безобмоточного ротора на основании соотношений для индукционного нагрева. Расчеты показали, что применение прямоугольной формы тока в обмотках статора увеличивает потери на 20 %. Во-вторых, с точки зрения проектирования системы управления оказалось, что для снижения температуры нагрева массивного ротора целесообразно использовать индивидуальные источники тока, так как они обладают большей частотой модуляции.

Источники

1. Развитие частотных методов синтеза электроприводов с синхронными машинами / Ю.С. Усынин [и др.] // Вестник Южно-Уральского государственного университета. 2011. Вып. 16, № 34(251). С. 21–27. (Сер. «Энергетика»).

2. Vagati A. Advanced Motor Technologies: Synchronous Motors and Drives // Energy Efficiency Improvements in Electric Motors and Drives. 1997. P. 223–247.

3. Estima J., Cardoso A. Efficiency Analysis of Synchronous Reluctance Motors // Proc. of the International Conference on Engineering. 2013. P. 1–9.

4. Дементьев Ю.Н. Математическое описание электроприводов переменного тока с вентильным преобразователем в установившемся режиме // Электричество. 2012. № 6. С. 36–42.

5. Филиппов И.Ф. Теплообмен в электрических машинах. Л.: Энергоатомиздат, 1986. 256 с.

6. Кувалдин А.Б. Индукционный нагрев ферромагнитной стали. М.: Энергоатомиздат, 1988. 200 с.

7. Формирование двухчастотных колебаний тока в системах индукционного нагрева / С.К. Земан [и др.] // Известия Томского политехнического университета. 2009. № 4. С. 105–111.

8. Дудкин М.М., Цытович Л.А. Адаптивные интегрирующие устройства для управления силовыми вентильными преобразователями // Электротехника. 2015. № 12. С. 2–6.

9. Удельные показатели электропривода с синхронным реактивным двигателем независимого возбуждения / Ю.С. Усынин [и др.] // Вестник Южно-Уральского государственного университета. 2008. Вып. 9, № 11(111). С. 52–53. (Сер. «Энергетика».)

УДК [621.316.925+621.318.5] (045)

ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТЕЙ ФИЛЬТРОВ ФУРЬЕ ДЛЯ УСТРОЙСТВ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ В РЕЖИМАХ НАСЫЩЕНИЯ ТРАСНФОРМАТОРОВ ТОКА

Лариса Витальевна Вайтеленок

Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ», г. Смоленск

larisa.vaytelenok.786@mail.ru

В статье при помощи программного моделирования производится оценка погрешностей фильтров Фурье устройств релейной защиты при насыщении измерительных трансформаторов тока. Моделирование насыщения трансформаторов тока и работы фильтров производится в программе Matlab.

Ключевые слова: релейная защита, цифровая обработка сигналов, фильтры Фурье, насыщение трансформаторов тока, погрешности, моделирование.

EVALUATION OF FOURIER FILTERS ERRORS FOR RELAY PROTECTION DEVICES IN SATURATION MODES OF CURRENT TRANSFORMERS

Larisa Vitalyevna Vitelenok

In the article, using software modeling, an estimate is made of the errors of the Fourier filters of relay protection devices at saturation of measuring current transformers. Simulation of current transformer saturation and filter operation is performed in the Matlab program.

Key words: relay protection, digital signal processing, Fourier filters, current transformer saturation, errors, simulation.

В настоящее время источником информации для устройств релейной защиты и автоматики (РЗиА) являются измерительные преобразователи тока и напряжения. Среди преобразователей тока наибольшее распространение получили электромагнитные трансформаторы тока (ТТ) [1]. Данные устройства состоят из замкнутого магнитопровода, выполненного из магнитных материалов, и обмоток: первичной и вторичной. В стационарных режимах работы погрешность для защитных обмоток не должна превышать нормируемого [2] значения, равного 5–10 процентов.

Однако, как показывают исследования [3, 4], значения погрешностей могут существенно увеличиться при возникновении насыщения магнитопровода ТТ. Данный режим может возникнуть из-за высокого процентного содержания апериодической составляющей в первичном токе. Причинами появления данной составляющей могут служить переходные процессы в энергетической системе при возникновении короткого замыкания (КЗ) или при коммутации. Вторым фактором, обуславливающим появление насыщения ТТ, является значительная величина остаточной магнитной индукции в магнитопроводе в момент возникновения КЗ.

По оценкам [4], погрешности трансформации при насыщении могут составлять до 80 процентов.

Возникновение данных погрешностей в трансформации первичного тока может отразиться на точности обработки информации в микропроцессорных устройствах РЗиА.

Цифровая обработка может быть осуществлена многими методами [5]. В данной статье рассматривается цифровая обработка посредством фильтров Фурье, выделяющих из входного сигнала x ортогональные составляющие промышленной частоты f_0 согласно следующим формулам:

$$X_s(nT) = \frac{2}{N}\sum_{n=0}^{N-1} x(nT)\cdot \sin(2\cdot\pi\cdot f_0\cdot nT);$$

$$X_c(nT) = \frac{2}{N}\sum_{n=0}^{N-1} x(nT)\cdot\cos(2\cdot\pi\cdot f_0\cdot nT),$$

где n – номер выборки; T – период дискретизации сигнала; N – число выборок за период промышленной частоты.

Для анализа возможных погрешностей фильтрации при насыщении в данной работе было произведено моделирование работы ТТ в программе Matlab.

В качестве математической модели ТТ была принята модель, описанная в [6]. В этом случае принимается упрощенная схема замещения трансформатора тока, показанная на рис. 1.

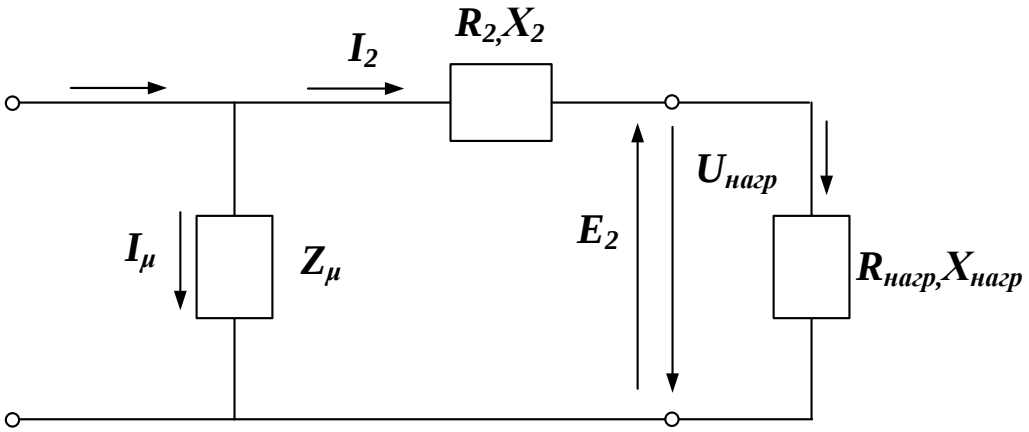


Рис. 1. Схема замещения ТТ: $I_{1п}$ – приведенный первичный ток; I_{μ} – ток намагничивания; I_2 – вторичный ток; $I_{нагр}$ – ток в нагрузке; Z_{μ} – сопротивление ветви намагничивания; R_2 и X_2, $R_{нагр}$ и $X_{нагр}$ – активные и реактивные сопротивления вторичной обмотки и нагрузки; $U_{нагр}$ – напряжение на нагрузке; E_2 – ЭДС в витках вторичной обмотки

Согласно данной схеме ЭДС определяется следующим образом:

$$e_2 = \left(R_2 + R_{нагр}\right)i_2 + \left(L_2 + L_{нагр}\right)\frac{di_2}{dt},$$

где L_2 и $L_{нагр}$ – индуктивности вторичной обмотки и нагрузки.

По закону полного тока:

$$Hl = w_1 i_1 - w_2 i_2,$$

где H – мгновенное значение напряженности магнитного поля; l – средняя длина магнитной силовой линии; w_1 и w_2 – число витков первичной и вторичной обмоток.

Для получения значений кривой намагничивания $B = f(H)$ используется аппроксимирующая функция:

$$H = 10^{-12} \sin h(19{,}04B) + 18{,}1B.$$

Входными данными для данной модели являются следующие параметры: $i_1 = f(t)$ – зависимость первичного тока; w_1, w_2 – число витков; R_2 и $R_{\text{нагр}}$ – активные сопротивления; L_2 и $L_{\text{нагр}}$ – индуктивности вторичной ветви; s – сечение стали магнитопровода; l – средняя длина пути магнитной линии.

В данной работе исследовался трансформатор тока ТПОЛ-10-600/5.

При подаче на вход модели зависимости тока $i_1 = 6000 \cdot \sin(\omega_0 t)$ (ω_0 – угловая частота первой гармоники тока 50 Гц), насыщения не происходит, что и показано на рис. 2: зависимость приведенного первичного тока $i_{1\text{п}}$ совпадает с вторичным током i_2.

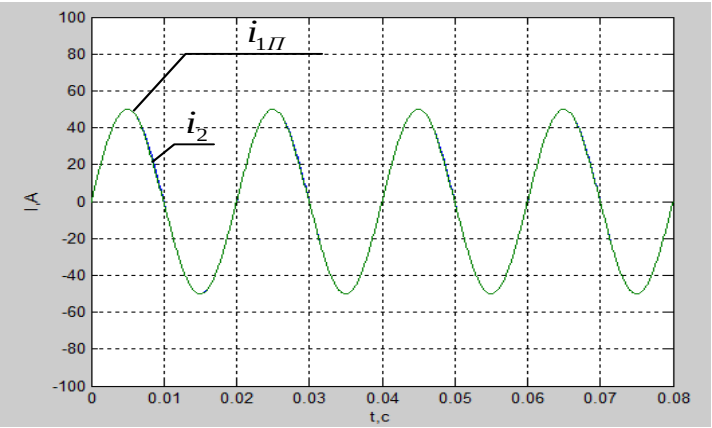


Рис. 2. Зависимости токов без насыщения

Для анализа работы фильтров Фурье была смоделирована работа данных фильтров с выделением из последовательности i_2 значений $i_2(nT)$ с периодом дискретизации $T = 0{,}001$ с, что соответствует 20 выборкам. Значения модуля и фазы вторичного тока вычисляются следующим образом:

$$|I_2| = \sqrt{I^2{}_{2c}(nT) + I^2{}_{2s}(nT)}\ ;$$

$$\varphi_0 = \text{arctg}\frac{I_{2c}(nT)}{I_{2s}(nT)}.$$

Так как при каждом сдвиге окна данных $i_2(nT)$ к углу φ_0 добавляется постоянная добавка в виде фазового сдвига [7]:

$$\Delta\varphi = \frac{360°}{N},$$

то оценку погрешности будем вести не по значению φ_0, а по значению $\Delta\varphi = \varphi(nT) - \varphi\left[T\left(n-T\right)\right]$, которое в идеальном случае равняется 18° при $N = 20$. Действительное значение модуля вторичного тока равняется 50 А.

На рис. 3 представлены зависимости вычисленных фильтрами Фурье информационных параметров от дискретного времени nT.

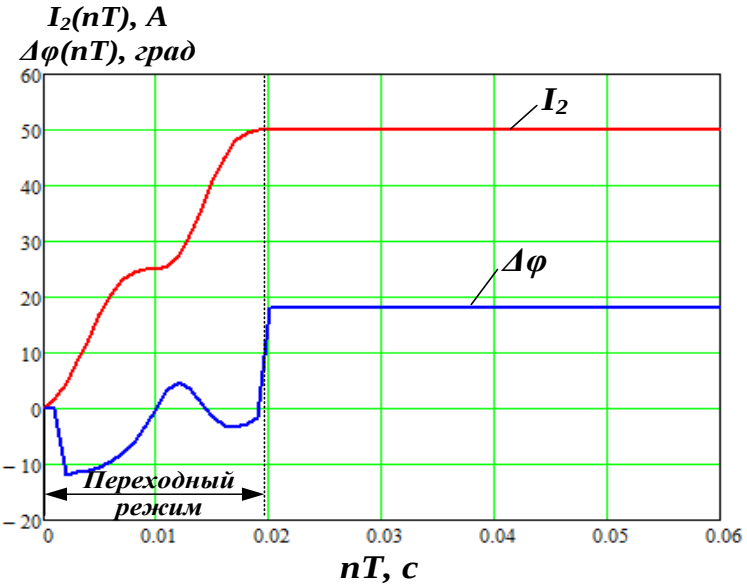


Рис. 3. Результаты фильтрации

Согласно полученным результатам, для фильтров Фурье характерен переходный режим до времени установления значений I_2 и Δφ. В соответствии с функциональными формулами фильтров этот переходный режим длится время равное $T\left[N-1\right]$ или $\left(T_0 - T\right)$, т. е. при большем числе выборок и меньшем значении T переходный процесс в фильтрах длится большее время. Это обстоятельство необходимо учесть для устройств РЗ с протоколом передачи данных МЭК 61850-9-2, так как. данный протокол требует не менее 80 выборок за период промышленной частоты.

В установившемся режиме погрешность вычислений I_2 и Δφ не превышает 0,02 % (рис. 4).

Для моделирования насыщения ТТ на вход модели подавался первичный сигнал, содержащий помимо составляющей основной гармоники апериодическую составляющую:

$$i_a = 6000 \cdot e^{-10t}.$$

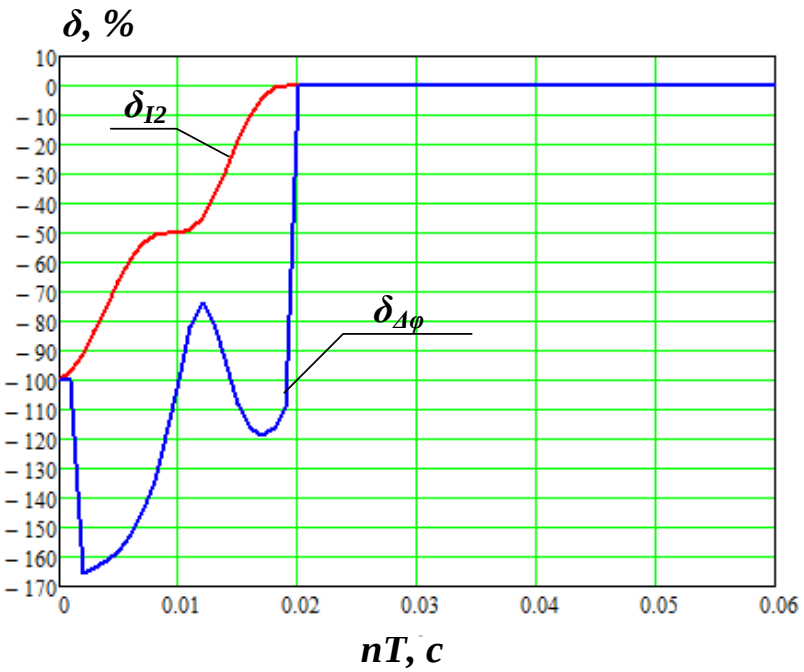


Рис. 4. Погрешности определения I_2 и Δφ

Полученные при этом зависимости токов приведены на рис. 5.

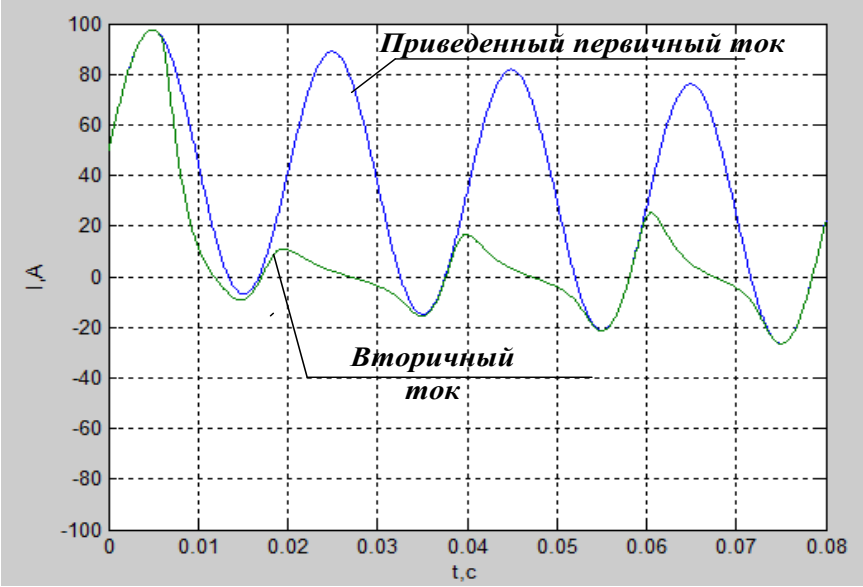


Рис. 5. Зависимости токов при насыщении

В данном случае участок достаточно точной трансформации составляет около 8 мс. По мере затухания апериодической составляющей наблюдается увеличение максимума вторичного тока для каждого из последующих периодов, т. е. степень насыщения со временем уменьшается.

Оценка погрешностей фильтрации при насыщении ТТ была произведена как для приведенного первичного тока $i_{1П}$, так и для вторичного i_2. Результаты фильтрации представлены в виде графиков на рис. 6.

В результате фильтрации $i_{1П}$ даже после 0,019 с величины $I_{1П}$ и $\Delta\varphi_{1П}$ не имеют установившегося значения. Погрешность определения $I_{1П}$ и $\Delta\varphi_{1П}$ составляет около 6 % (рис. 7), причем со временем она затухает по экспоненте.

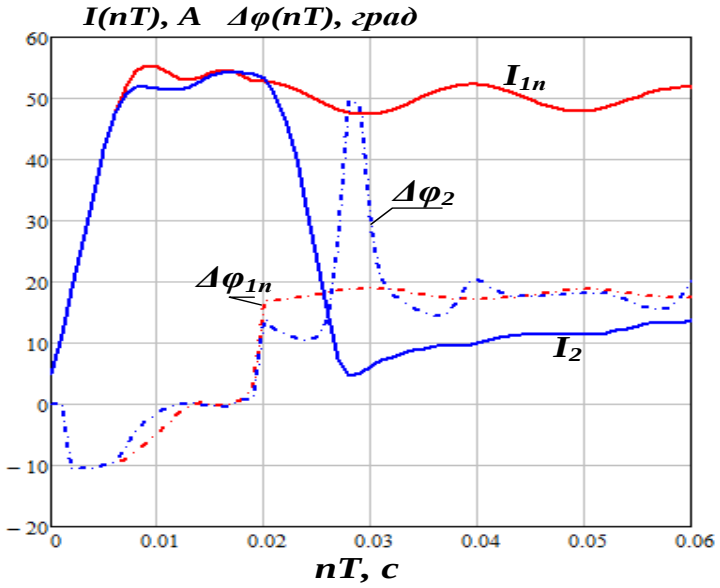


Рис. 6. Результаты фильтрации при насыщении

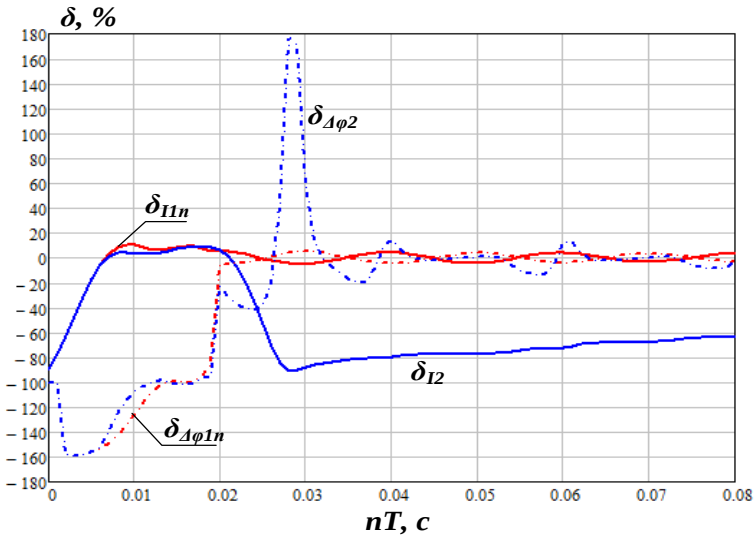


Рис. 7. Погрешности фильтрации при насыщении

Результаты фильтрации i_2 в переходном режиме незначительно отличаются от результатов фильтрации $i_{1П}$, однако после 0,02 с значение I_2 начинает резко уменьшаться, достигая своего минимума в момент 0,028 с (погрешность составляет – 91 %). В дальнейшем происходит нарастание значения I_2, однако оно не достигает истинного значения даже для четвертого периода с момента насыщения (погрешность около – 66 %).

Так как погрешность определения модуля отрицательна, происходит занижение вычисленного тока I_2, что в свою очередь может повлечь несрабатывание или замедленное срабатывание релейных защит.

Погрешность определения фазового сдвига $\Delta\varphi_2$ имеет максимум в момент 0,028 с (180 %), а затем уменьшается и составляет в среднем около 10 %, причем ее знак меняется дважды за период промышленной частоты.

В результате можно сделать вывод о том, что насыщение ТТ вносит дополнительную погрешность в результаты фильтрации помимо погрешности от наличия апериодической составляющей в первичном токе. Для рассматриваемого случая данная дополнительная погрешность составляет около 60 % (начиная со второго периода промышленной частоты).

Уменьшить данную погрешность возможно использованием специальных алгоритмов обнаружения насыщения и восстановления вторичного тока. Также предлагается использовать преобразователи тока, которые либо не подвержены насыщению, либо не трансформирующие апериодические составляющие вообще.

Источники

1. Измерение переменного тока в проводнике для нужд релейной защиты / Т.А. Новожилов [и др.] // Омский научный вестник. 2016. № 3(147). С. 67–73.

2. ГОСТ 7746-2015. Трансформаторы тока. Общие технические условия. М.: Стандартинформ, 2019. 39 с.

3. Кужеков С.Л., Дегтярев А.А., Сербиновский Б.Б. О требованиях к трансформаторам тока и устройствам релейной защиты в переходных режимах при наличии апериодической составляющей в первичном токе // Современные направления развития систем релейной защиты и автоматики энергосистем: сб. матер. IV Междунар. науч.-техн. конф. Екатеринбург, 2013. 8 с.

4. Кужеков С.Л. О способах уменьшения влияния погрешностей трансформаторов тока в переходных режимах на работу релейной защиты электроэнергетических систем // Современные направления развития систем релейной защиты и автоматики энергосистем: матер. Междунар. науч.-техн. конй. М., 2009. С. 99–104.

5. Реализация цифровых фильтров в микропроцессорных устройствах релейной защиты / Ю.В. Румянцев [и др.] // Энергетика. Известия вузов и энергетических объединений СНГ. 2016. № 5. С. 397–417.

6. Петелин С.А. Модель однофазного трансформатора тока // Цифровая подстанция. URL http://digitalsubstation.com/blog/2017/05/29/model-odnofaznogo-transformatora-toka-s-nasyshheniem/ (дата обращения: 15.08.18).

7. Лайонс Р. Цифровая обработка сигналов / пер. с англ. 2-е изд. М.: ООО «Бином-Пресс», 2006. 656 с.

УДК 621.33 (072)

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА РАСХОД ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ НА ТЯГУ ПОЕЗДОВ

Иван Павлович Васильев[1], Сергей Александрович Дмитриев[2], Андрей Евгеньевич Рогов[3]

ПКБ ЦТ ОАО «РЖД», г. Москва

[1,2,3]xPr1me@mail.ru

В статье освящены факторы различной природы, каждый из которых по-разному влияет на расход топливно-энергетических ресурсов (ТЭР). Изложены типы классификаций этих факторов и необходимость их учета при анализе энергопотребления на тягу поездов, разработке и внедрении проектов, направленных на снижение энергоемкости перевозочного процесса и повышение энергетической эффективности тягового подвижного состава.

Ключевые слова: электровоз, основное сопротивление движению, расход топливно-энергетических ресурсов, фактор, профиль пути, тяга поездов.

FACTORS INFLUENCING FUEL AND ENERGY RESOURCES CONSUMPTION ON TRAIN TRAFFIC

Ivan Pavlovich Vasilyev, Sergey Aleksandrovich Dmitriev, Andrey Evgenievich Rogov

The article focuses on factors of a different nature, each of which has a different effect on the consumption of fuel and energy resources (FER). The types of classifications of these factors are outlined and the need to take them into account when analyzing energy consumption for train traction, developing and implementing projects aimed at reducing the energy intensity of the transportation process and increasing the energy efficiency of traction rolling stock.

Key words: electric locomotive, main resistance to movement, consumption of fuel and energy resources, factor, track profile, train traction.

Федеральный закон «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» (23 ноября 2009 года № 261-ФЗ),

а также Энергетическая стратегия России на период до 2030 года определяют эффективность экономики одним из ключевых стратегических ориентиров долгосрочной государственной энергетической политики. Наиболее энергоемкой отраслью экономики, имеющей особое стратегическое значение для страны, является железнодорожный транспорт, который на сегодня обладает значительным потенциалом энергосбережения. Однако для выявления и реализации данного потенциала необходимо понимать, какие факторы влияют на расход топливно-энергетических ресурсов на тягу поездов.

Локомотивное хозяйство ОАО «РЖД» потребляет более 4 % вырабатываемой в России электроэнергии и более 10 % дизельного топлива, около 90 % которых затрачивается на тягу поездов [1]. Затраты на такой объем топливно-энергетических ресурсов составляют основную долю (более 50 %) эксплуатационных расходов Дирекции тяги – филиала ОАО «РЖД» [1, 2].

Ежегодно ОАО «РЖД» совместно с профильными научно-исследовательскими институтами (АО «ВНИИЖТ», АО «ВНИКТИ», ФГБОУ ВПО «МИИТ», НИУ «МЭИ») и заводами-изготовителями локомотивов ведут работу по снижению эксплуатационных затрат холдинга ОАО «РЖД» за счет снижения энергоемкости перевозочного процесса и повышения энергетической эффективности тягового подвижного состава (ТПС):

• организуются и проводятся эксплуатационные и тягово-энергетические испытания при различных погодных условиях для оптимизации алгоритмов управления ТПС и отработки технологии вождения как тяжеловесных, так и легковесных поездов;

• проводятся научно-исследовательские работы по применению альтернативных источников энергии для обеспечения перевозочного процесса;

• разрабатываются проекты модернизаций схем тягового привода локомотивов и т. д.

Для эффективной реализации подобных работ необходимо учитывать внешние и внутренние факторы различной природы, влияющие на расход ТЭР на тягу поездов (рис. 1) [1, 2, 7, 10].

В общем виде полный расход топливно-энергетических ресурсов A, $\text{кВт} \cdot \text{ч}$, при движении поезда по перегону складывается из затрат энергии на преодоление сил основного $A_{\text{осн}}$ и дополнительного $A_{\text{доп}}$ сопротивлений

движению и на собственные нужды $A_{\text{доп}}$ локомотива при учете ряда дополнительных потерь ТЭР, обусловленных особенностями подвижного состава и организации перевозочного процесса [3–5, 8–9]:

$$A = \Delta_{\text{э}} \cdot \Delta_{\text{т}} \cdot \Delta_{\text{о}} \cdot \left(\sum A_{\text{осн}} + \sum A_{\text{доп}} + \sum A_{\text{сн}} \right);$$

$$A = \Delta_{\text{э}} \cdot \Delta_{\text{т}} \cdot \Delta_{\text{о}} \cdot \left[\sum (G + Q) \cdot \left(K_{\text{н.т}} \cdot K_{\text{в}} \cdot w_0 + w_i + w_r \right) \cdot S + \sum A_{\text{сн}} \right],$$

где G – вес локомотива, кН; Q – вес поезда, кН; S – длина пути, м; w_0 – удельное основное сопротивление движения, Н/кН; w_i – дополнительное удельное сопротивление движению от уклона, Н/кН; w_r – дополнительное удельное сопротивление движению от кривой, Н/кН; $K_{\text{н.т}}$ – коэффициент, учитывающий низкую температуру наружного воздуха; $K_{\text{в}}$ – коэффициент, учитывающий встречный и боковой ветер; $\Delta_{\text{э}}$, $\Delta_{\text{т}}$ и $\Delta_{\text{о}}$ – коэффициенты дополнительных потерь ТЭР от факторов топливно-энергетического ресурса, технических и организационных факторов.



Рис. 1. Факторы, влияющие на расход ТЭР на тягу поездов

На сопротивление движению оказывают влияние профиль и план участка пути, по которому проходит подвижной состав (равнинные участ-

ки, участки, имеющие холмистый профиль, гористые участки, наличие кривых, в особенности малого радиуса и т. д.). При движении поезда по уклонам и кривым расход ТЭР зависит от их крутизны, протяженности, длины и радиуса кривой. С увеличением крутизны подъема или при уменьшении радиуса кривой увеличивается дополнительное сопротивление движению, и, следовательно, возрастает расход ТЭР [3]:

$$w_i = \pm i; \quad w_r = \frac{s_{\text{кр}}}{l_{\text{п}}}\left(\frac{200}{r} + 1{,}5 \cdot \tau_{\text{к}}\right),$$

где i – уклон, %; R – средний радиус S-образных кривых; $\tau_{\text{к}}$ – непогашенное ускорение в кривой, $\text{м}/\text{с}^2$; $S_{\text{кр}}$ – расстояние между кругами катания колес подвижного состава, мм; $l_{\text{п}}$ – длина поезда, мм.

Также большое влияние на расход электрической энергии и дизельного топлива оказывает неудовлетворительное состояние пути, повышенный износ которого приводит к ухудшению условий движения подвижного состава, *а* следовательно, к увеличению расхода энергоресурсов.

Дополнительное сопротивление движения меняется в зависимости от метеорологических условий (температура и влажность наружного воздуха, скорость и направление ветра, осадки и их интенсивность).

С понижением температуры возникает соответствующее изменение плотности воздуха, и как следствие, возрастает аэродинамическое сопротивление подвижного состава, определяемое по формуле [4–6]:

$$w_{\text{в}} = C_x \cdot \Omega \cdot \left(p \cdot V^2/2\right),$$

где C_x – безразмерный аэродинамический коэффициент, учитывающий обтекаемость тела (у локомотивов $C_x = 0{,}5 \div 1$, пассажирских и грузовых четырехосных вагонов в составе поезда $C_x = 0{,}16 \div 0{,}23$); Ω – площадь наибольшего поперечного сечения (мидель) подвижного состава, м^2; V – скорость движения, $\text{м}/\text{с}$.

Плотность воздуха, $\text{кг}/\text{м}^3$:

$$\rho_{\text{в}} = 0{,}35 \cdot \frac{H_{\text{бар}}}{t_{\text{н.в}} + 273},$$

где $H_{\text{бар}}$ – атмосферное давление, гПа (1 мм.рт.ст. – 1,33 гПа); $t_{\text{н.в}}$ – температура наружного воздуха, °С.

В соответствии с правилами тяговых расчетов процесс учета влияния температур наружного воздуха ниже –25 °С на дополнительное сопротивление движению упрощен. Основное сопротивление движению умножается на коэффициент $K_{\text{н.т}}$ (табл. 1) в зависимости от скорости движения поезда [3].

Таблица 1

Коэффициент $K_{\text{н.т}}$, учитывающий низкую температуру наружного воздуха

V, км/ч	Грузовые вагоны при $t_{\text{н.в}}$, °С						Пассажирские вагоны при $t_{\text{н.в}}$, °С					
	–30	–35	–40	–45	–50	–60	–30	–35	–40	–45	–50	–60
20	1,01											
40	1,03		1,04		1,05	1,06	1,02		1,03			1,04
60	1,05	1,06	1,07		1,08	1,09	1,03	1,04		1,05	1,06	1,07
80	1,07	1,08	1,09	1,10	1,11	1,12	1,04	1,05	1,06	1,07	1,08	1,09
100	1,09	1,10	1,12	1,13	1,14	1,15	1,05	1,06	1,07	1,09	1,10	1,11
120	1,11	1,12	1,13	1,15	1,16	1,17	1,06	1,07	1,09	1,10	1,11	1,12
140	–						1,07	1,08		1,11	1,12	1,13
160								1,09	1,10	1,12	1,13	1,15

Зимой возникают силы дополнительного сопротивления движению обусловленные взаимодействием гребней бандажей колесных пар и снежного покрова, лежащего на рельсах.

При низких температурах возрастает вязкость смазки, следовательно, повышаются коэффициенты трения в буксовых и моторно-осевых подшипниках и передаче подвижного состава, что приводит к увеличению сил сопротивления движению.

Ветер может оказывать прямое тормозящее сопротивление или попутное воздействие. При встречном ветре увеличивается скорость, реализуемая подвижным составом, и возрастают силы аэродинамического сопротивления движению, в то время как попутный ветер уменьшает эти показатели. Также отрицательно сказывается влияние бокового ветра, так как под его воздействием подвижной состав смещается в сторону, возникает трение гребней колесных пар о боковую поверхность рельса и возникают дополнительные силы, направленные в сторону, противоположную движению поезда.

Дополнительное сопротивление движению поездов от встречного и бокового ветра в соответствии с правилами тяговых расчетов учитывается умножением основного сопротивления движения на коэффициент $K_{\text{в}}$ (табл. 2) в зависимости от скорости движения поезда [3].

Таблица 2

Коэффициент $K_в$ учитывающий встречный и боковой ветер

Скорость ветра, *V*, м/с	Скорость поезда *V*, км/ч								
	10	20	40	60	80	100	120	140	160
6	1,12	1,11	1,09	1,08	1,07	1,06	1,05	1,04	1,03
8	1,19	1,17	1,15	1,13	1,11	1,09	1,08	1,07	1,06
10	1,31	1,28	1,24	1,20	1,16	1,14	1,12	1,10	1,09
12	1,42	1,39	1,32	1,27	1,23	1,19	1,15	1,14	1,12

На расход ТЭР существенное влияние оказывают факторы, связанные с подвижным составом [1, 7]:

• состав поезда (средняя масса на ось вагона поезда, скорость движения и характер ее изменения при проследовании участка, тип вагонов, входящих в состав поезда, и техническое состояние их ходовой части, характер груза, коэффициент неоднородности поезда, относительная масса локомотива в общей массе поезда;

• техническое состояние локомотива (ходовая часть, расхождение характеристик колесно-моторных блоков, прокат бандажей, склонность к боксованию и т. д.);

• процент наличия композиционных и чугунных тормозных колодок в составе;

• мощность, затрачиваемая локомотивом на обеспечение собственных нужд, и степень ее использования в движении и на остановках.

Кроме того, необходимо учитывать перевозку грузов в неполновесных составах или в не полностью загруженных вагонах, что приводит к возрастанию величины удельного сопротивления движению, и как следствие, к перерасходу энергоресурсов на тягу поездов. С увеличением массы состава и оптимизации загрузки вагонов уменьшается расход энергии на единицу выполненной работы.

На расход ТЭР влияние также оказывают следующие факторы [1, 7, 9, 10]:

1) качество дизельного топлива в случае тепловозной тяги;

2) уровень и характер изменения напряжения в контактной сети в случае электрической тяги. Недостаток системы электроснабжения постоянного тока заключается в том, что такой ток достаточно трудно трансформировать (повышать или понижать напряжение без значительных потерь). Чем выше мощность электровоза, тем больше потери. Большие величины потребляемых токов создают значительные потери электроэнергии. На переменном токе большие объемы движения на участке создают большие затраты электроэнергии на перемещение единицы груза.

Кроме того, в контактной сети имеют место определенные потери части электрической энергии, затрачиваемой на преодоление сопротивления цепей электроснабжения, в связи с чем при анализе электропотребления следует учитывать [7]:

• сечение контактных проводов;

• форму и тип контактной подвески;

• критическую скорость;

• балльную оценку состояния контактной сети;

• коэффициент трения скольжения токоприемника по контактному проводу.

Существенное влияние на расход ТЭР в пути следования состава оказывают организация движения и поездная ситуация на участке (наличие и количество других поездов, встречное движение). Воздействие всех факторов, связанных с отклонением скорости от расчетной при движении состава по пути следования и непредусмотренными графиком движения торможениями, разгонами и простоями на остановках, отражается на уровне расхода ТЭР [1, 7, 10].

Дополнительное действие на расход ТЭР оказывает человеческая составляющая организационного фактора, связанная с квалификацией членов локомотивной бригады, их возраста, физического и психологического состояния. Как пример, использование локомотивной бригадой рациональных режимов управления локомотивом при широком внедрении систем автоведения позволяет добиться значительного снижения энергопотребления [1, 7, 10].

Некоторые из перечисленных выше факторов оказывают на расход ТЭР только повышающее или только понижающее действие, но существуют и такие, влияние которых неоднозначно [10]. При этом все приведенные факторы взаимосвязаны, меняются по сложным законам и могут быть классифицированы на следующие типы.

1. Постоянные (тип тягового электроснабжения, расстояние между тяговыми подстанциями) и изменяющиеся во времени (вес поезда, величина межпоездного интервала, грузонапряженность электрифицированного участка), фиксируемые в установленные моменты времени.

2. Основные (масса и скорость движения поезда, грузооборот линии и другие) дополнительные (износ (прокат) бандажей колесных пар подвижного состава, схема формирования состава вагонов поезда) и косвенные.

Косвенными являются факторы, которые непосредственно влияют на прямые факторы и опосредовано на расход ТЭР (это, прежде всего, техническое состояние подвижного состава, пути, устройств электроснабжения, сигнализации и связи, квалификация машинистов и другие факторы).

3. Детерминированные и случайные:

Параметры поезда и участка пути, допускаемые скорости движения на станциях и перегонах относятся к детерминированным (ранее определенным и установленным) факторам.

Случайными являются факторы, значение которых могут измениться по случайному закону в заданном интервале (к ним можно отнести условия движения (поездная ситуация), климатические факторы).

4. Зависящие от производственного персонала. Такими факторами можно считать режимы ведения поезда, квалификацию локомотивных бригад и работников подразделений других служб, поездную ситуацию и т. д. Не зависящими от персонала являются климатические факторы, а также параметры и техническое состояние состава вагонов, пути, устройств электроснабжения, сигнализации и связи.

Необходимо отметить тот факт, что некоторые факторы в зависимости от решаемой задачи могут быть отнесены либо к одному, либо к другому классу, то есть занимать промежуточное положение по отношению к рассмотренным выше классифицированным типам. Например, скорость движения поезда, с одной стороны, определяется параметрами локомотива, состава вагонов и других технических устройств, одновременно, с другой стороны, зависит от организации движения поездов на данном участке, поэтому в определенных задачах она может быть либо техническим, либо организационным фактором. Одни и те же факторы могут быть отнесены к разным классам в зависимости от уровня планирования и управления железнодорожным транспортом, на котором они рассматриваются [8–10].

Расход электрической энергии зависит от множества факторов различной природы, каждый из которых влияет на расход энергии по-разному [7]. Все эти факторы необходимо учитывать при анализе энергопотребления на тягу поездов, разработке и внедрении проектов, направленных на снижение энергоемкости перевозочного процесса и повышение энергетической эффективности тягового подвижного состава ТПС.

Источники

1. Энергосбережение на железнодорожном транспорте / В.А. Гапанович [и др.]. М.: Интехэнерго-Издат, Теплоэнергетик, 2014. 304 с.

2. Стратегия инновационного развития ОАО «Российские железные дороги» на период до 2015 г. (Белая книга ОАО «РЖД»): утв. ОАО «РЖД». Доступ из справ.-прав. системы «КонсультантПлюс» (дата обращения: 17.09.18).

3. Правила тяговых расчетов: утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 12 мая 2016 г. № 867р. М.: ОАО «РЖД», 2016. 515 с.

4. Гребенюк П.Т., Долганов А.Н. Скворцова А.И. Тяговые расчеты: справочник. М.: Транспорт, 1987. 272 с.

5. Цукало П.В. Экономия электроэнергии на электроподвижном составе. М.: Транспорт, 1983. 174 с.

6. Силы сопротивления движению подвижного состава // Железные дороги. URL: http:// lokomo.ru/podvizhnoy-sostav/sily-soprotivleniya-dvizheniyu-podvizhnogo-sostava.html (дата обращения: 17.09.18).

7. Вялкова О.С. Факторы, влияющие на расход электрической энергии на тягу поездов // Технические науки – от теории к практике: сб. ст. по матер. XXVII Междунар. науч.-практ. конф. Новосибирск, 2013. Ч. II. № 10(23). С. 26–31.

8. Симак Р.С. Повышение энергоэффективности ОАО «РЖД» в контексте энергетической стратегии России // Вестник ВНИИЖТа. 2014. № 6. С. 21–25.

9. Игин В.Н. Резервы повышения энергоэффективности локомотивов // Железнодорожный транспорт. 2015. № 3. С. 50–54.

10. Кирик Н.В. Транспортные системы и технологии перевозок // Транспортні системи та технології перевезнь: зб. наук. пр. ДНУЗТ ім. акад. В. Лазаряна. 2015. Вып. 10. С. 44–49.

УДК 658.5:004.9

КОНТРОЛЛЕР КАК КООРДИНАТОР В ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ ПРЕДПРИЯТИЯ

Юлия Юрьевна Вассунова[1], Александр Евгеньевич Увакин[2]

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

[1]vassynova.yy@mail.ru, [2]uvakin96@gmail.com

В данной статье раскрывается тема контроллера как ключевой части информационной системы, рассматриваются основные функции контроллера, которые позволяют определить потребность в информации, достаточной для принятия оптимальных решений на предприятии, принципы работы контроллера, его составляющие и условия для его оптимальной работы.

Ключевые слова: информационная система, модель, представление, контроллер, логические контроллеры, проектирование MVC.

CONTROLLER AS A COORDINATOR IN THE ENTERPRISE INFORMATION SYSTEM

Yuliya Yurievna Vasunova, Alexander Evgenievich Uuvakin

This article reveals the topic of the controller as a key part of the information system, discusses the main functions of the controller, which allow you to determine the need for information sufficient for making optimal decisions at the enterprise, the principles of the controller, its components and conditions for its optimal operation.

Key words: information system, model, representation, controller, logic controllers, MVC design.

В настоящее время переход от парадигмы «технологический процесс – система управления» к парадигме «производственная система – супервизор» приводит к целесообразности использования термина «промышленная информационная система».

Информационная система предприятия – это инфраструктура, функционирующая на базе информационных технологий и однородных аппаратно-программных средств, которая обладает функциональностью информационной системы и способна работать в условиях – круглосуточного графика.

Информационная система обеспечивает надежную и эффективную работу технологического объекта за счет управления режимами его работы. При этом система может выполнять все виды работ с информацией, включая манипулирование цифровыми данными, передачу видеоизображения, голоса и т. д. Основная задача системы заключается в функционировании на базе средств сбора данных – компьютерной и коммуникационной техники. При этом акцент делается на выдачу информации одному и более пользователей по одному и более адресов. В том числе информация передается руководству предприятия для локальной и(или) глобальной оценки эффективности работы отдельных частей и(или) предприятия в целом.

Цель функционирования информационной системы – предоставлять нужную информацию в нужное время, в достаточном объеме, в нужном месте и требуемого качества. Предполагается, что информационная система охватывает все области функционирования и уровни управления предприятием, поэтому состав, сроки, объемы и цели поставляемой информации различны для разных пользователей.

Чаще всего к системе предъявляются следующие требования.

1. Система должна иметь два уровня: верхний – уровень оперативного управления и нижний – уровень системы автоматического управления технологическим оборудованием производства. Связь между верхним и нижним уровнями системы должна осуществляться по информационной шине.

2. Система должна обеспечивать достоверностью используемой информации, формировать сообщения о дефектах информационных каналов.

При проектировании и разработке информационных систем разработчики сталкиваются с целым рядом проблем:

• защита информации от несанкционированного доступа к данным;

• неверно спроектированные интерфейсы;

• зависимость элементов системы друг от друга;

• неверное понимание бизнес-процессов организации;

• нецелевое использование ресурсов;

• интеграция системы в работу предприятия;

• отсутствие информации, помогающей в принятии решений;

• зависимость от входной и выходной информации;

• применение неоптимальных для решения конкретной прикладной задачи технологий.

Вышеперечисленны проблемы заставляют уделять серьезное внимание выбору методов проектирования и разработки информационных систем.

Наиболее перспективным шаблоном проектирования на сегодняшний день является шаблон ModelViewController (MVC) и [1]. Наглядно схема работы системы по шаблону проектирования MVC представлена на рисунке.



Рис. 1. Схема работы по шаблону проектирования MVC

При использовании данного шаблона проектирования система делится на три отдельных больших блока:

1-й блок «Модель» – отвечает за бизнес-логику приложения, предоставление данных и оповещение об изменениях своего состояния, а также реагирует на команды «Контроллера» путем изменения своего состояния;

2-й блок «Представление» – отвечает за отображение данных пользователю в определенном виде и получение от него команд на редактирование данных, отправление команд пользователя «Контроллеру»;

3-й блок «Контроллер» отвечает за интерпретацию команд пользователя, получаемых от «Представления», в набор действий над «Моделью» для ее последующего изменения.

Задача контроллера как координатора заключается в том, чтобы обеспечить эффективный обмен и анализ информации для того, чтобы на ее основе принять управленческие решения. Контроллер должен прежде всего определить потребность в информации, достаточной для принятия оптимальных решений. Для этого необходимо решить следующие проблемы:

• содержание информации, степень ее уплотнения, точность;

• метод обработки и передачи информации, информационные каналы;

• кто создает информацию, кто собирает, обрабатывает, хранит, отправляет, уничтожает информацию;

• когда должно сообщаться: в установленные сроки, по свободному графику, по запросу;

• зачем сообщается та или иная информация.

Главные функции контроллера при этом:

• выполнение алгоритма функционирования технологического оборудования в автоматическом и прочих режимах (выполнение определенной последовательности действий, необходимой в ходе технологического процесса);

• дискретная логика (включение/выключение двигателей, клапанов, нагревателей, обработка сигналов от датчиков положения и т. д.);

• обработка аналоговых сигналов от датчиков (давление, температура, расход, уровень и т. д.);

• ПИД-регулирование;

• выполнение функций обмена данным с другими контроллерами, системами визуализации, прочим оборудованием (например, с принтерами, сканерами и т. д. по цифровому интерфейсу).

Программируемые логические контроллеры (ПЛК) представляют собой микропроцессорные устройства, предназначенные для выполнения алгоритмов управления. Принцип их работы заключается в сборе и обработке данных по прикладной программе пользователя с выдачей управляющих сигналов на исполнительные устройства.

В настоящее время рядом зарубежных фирм, таких как Siemens, Allen Bradley, ABB и др., освоен выпуск большой номенклатуры контроллеров. Следовательно, существует проблема выбора контроллера для решения задачи управления [1].

Основными требованиями к контроллеру, реализующему управление необходимого технологического процесса, являются: надежность, возможность работы в условиях повышенной запыленности, достаточное количество аналоговых и дискретных входов и выходов, возможность подключения системы визуализации, цена, доступность и качество сервиса, а также возможность быстрого обучения персонала или наличия готовых специалистов.

Рассмотрим контроллеры фирмы SIEMENS, которые в настоящее время являются лидерами на мировом рынке программируемых систем управления. Также решающую роль в выборе программируемого контроллера играет цена. Особенно это актуально сейчас, в период мирового экономического кризиса. ПЛК SIEMENS SIMATIC уже давно применяют в системах автоматизации по всему миру, ведь автоматизировать с помощью этих контроллеров можно все, что так или иначе поддается автоматизации. Технические характеристики этого контроллера удовлетворяют требованиям системы управления и достаточны для ее нормального функционирования [2].

Разработчики Siemens существенно расширили рамки использования стандартного средства для программирования контроллеров. Теперь стало возможным создавать в одном проекте всю структуру системы управления, конфигурировать как сетевой обмен данных, так и конкретные устройства, не теряя времени на переключение между различными файлами, а также производить диагностику и отладку встроенными инструментами. К существенным преимуществам можно отнести встроенный редактор для систем визуализации на основе панелей оператора SIMATIC. Таким образом, использование одной интегрированной среды разработки дает возможность создавать конфигурацию системы на всех уровнях, что существенно сокращает время и затраты на разработку проектов.

Такой мощный компонент для создания систем автоматизации, как SIMATIC, находит все большее применение в различных областях промышленности и применяется в проектах самой различной сложности. Очевидно, что такое оптимальное соотношение функциональности, качества и стоимости делает эту серию контроллеров лучшим выбором для решения даже довольно сложных задач автоматизации.

Источники

1. Рогачев С. Обобщенный Model-View-Controller URL: http:// rsdn.org/ article/patterns/generic-mvc.xml (дата обращения: 04.04.17).

2. Дейт К. Дж. Введение в системы баз данных / пер. с англ. 8-е изд. М.: Изд. дом «Вильямс», 2008. 1328 с.

3. Иванов К.К. Использование шаблона проектирования MVC в разработке современных информационных систем // Молодой ученый. 2017. № 19. С. 20–22. URL: https://moluch.ru/archive/153/43308/ (дата обращения: 28.09.18).

УДК 621.313

УЧЕТ НАСЫЩЕНИЯ И ФОРМЫ КРИВОЙ МАГНИТНОГО ПОЛЯ В СИНХРОННЫХ МАШИНАХ С ПРОДОЛЬНО-ПОПЕРЕЧНЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ

Надир Мирзабала оглы Гаджибалаев[1], Самира Мохаббат кызы Джаббарова[2]

СГУ, г. Сумгаит

[1]n.hacibalayev@mail.ru, [2]Samira.cabbarova.70@box.az

Проанализирована проблема учета насыщения магнитной цепи в синхронных машинах (СМ) обычной конструкции и в СМ с продольно-поперечным возбуждением (ППВ) при исследовании переходных процессов. В СМ обычной конструкции при исследовании переходных процессов неоднократно были предприняты попытки учета насыщения. Однако в СМ с ППВ этот вопрос не рассматривался.

Так как возможны различные варианты размещения поперечной обмотки возбуждения в СМ с ППВ, то исследование формы кривой магнитного поля, создаваемого этой обмоткой, представляется актуальной научно-технической задачей.

Ключевые слова: учет насыщения, магнитная цепь, переходные процессы, продольно-поперечная обмотка, явнополюсная синхронная машина.

THE STATE OF THE PROBLEM OF TAKING INTO ACCOUNT THE SATURATION AND SHAPE OF THE MAGNETIC FIELD CURVE IN SYNCHRONOUS MACHINES WITH LONGITUDINAL-TRANSVERSE EXCITATION

Nadir Mirzabala ogly Hajibalaev, Samira Mohabbat kyzy Jabbarova

The problem of taking into account the saturation of the magnetic circuit in the SM of a conventional construction and in the SM with the SSV is analyzed in the study of transients. It was found that in the SM of a conventional construction, when studying transients, attempts were made to account for saturation. However, this issue was not considered in the SM with the PPV.

It has been established that since various options are possible for placing the transverse excitation winding in the SM with the FP, the study of the shape of the magnetic field curve created by this winding seems to be an actual scientific and technical problem.

Key words: saturation counting, magnetic circuit, transient processes, longitudinal-transverse winding, polar-pole synchronous machine.

В известных работах по СМ с ППВ, посвященных исследованию переходных процессов в них, учет насыщения магнитной цепи не проводился [1, 2, 21, 25, 26, 27]. Полученные в [1, 22] весьма оптимистические результаты при исследовании переходных процессов в СД с резкопеременной нагрузкой выдвинули задачу учета насыщения.

Прежде всего рассмотрим, как насыщается магнитная цепь в СМ обычной конструкции. Проанализируем мнения различных авторов по этому вопросу. Согласно работам [4, 5, 11, 14, 15, 20, 21], в идеализированной электрической машине принимается, что все электродвижущие силы (ЭДС) пропорциональны создающим их током, то есть насыщение отсутствует. Однако в реальной машине влияние насыщения может оказаться значительным. Тем не менее ни один из этих методов не вводит в основные уравнения функции изменения индуктивностей в зависимости от токов. При решении уравнений выбранные с учетом насыщения параметры считаются не зависящими от токов, то есть постоянными.

В работе [15] в идеализированной СМ насыщение не учитывается. Однако отмечается, что влияние насыщения в ряде случаев учитывается выбором параметров, соответствующих некоторому среднему насыщенному состоянию ее магнитной цепи. Отмечается, что насыщение должно учитываться при исследовании явлений самовозбуждения и форсировки возбуждения СМ.

В работе [7] рассмотрено, как влияет насыщение на электромагнитную мощность (момент) СМ. Применительно к неявнополюсной СМ это выглядит следующим образом.

$$P_{\exists M} = M_{\exists M} = \frac{E_0 U}{X_{CH}} \sin\theta = \frac{E_0 U}{X_{aH}\left(1 + X_S / X_{aH}\right)} \sin\theta. \qquad (1)$$

Здесь $X_{CH} = X_S + X_{aH}$ – насыщенное значение синхронного индуктивного сопротивления; E_0 – ЭДС машины с насыщенным магнитопроводом, определенная по фиктивной (спрямленной) характеристике $E = f(F)$ при $\mu = \text{const}$ По определению насыщенных и ненасыщенных значений сопротивлений, а также из векторной диаграммы магнитодвижущей силы (МДС) имеем:

$$X_a / X_{aH} = K_\mu = F / F_\delta = E_\infty / E = E_{0\infty} / E_0, \qquad (2)$$

где K_μ – коэффициент насыщения.

Подставляя последнее соотношение в (1), получим:

$$P_M = M_{\exists M} = \frac{E_{0\infty} U}{X_a \left(1 + X_S / X_{aH}\right)} \sin\theta = \frac{E_{0\infty} U}{X_C} K_P \sin\theta, \qquad (3)$$

где K_P – коэффициент, учитывающий влияние насыщения на амплитуду мощности, равен:

$$K_P = \frac{X_C}{X_a \left(1 + X_S / X_{aH}\right)} = \frac{1 + \left(X_S / X_a\right)}{1 + \left(X_S / X_a\right) K_\mu}.$$

Максимальное значение X_S / X_a и K_μ для неявнополюсных машин составляют соответственно 0,15 и 1,25–1,3. Поэтому K_P отличается от единицы не более чем на 3–4 %.

Таким образом, с указанной максимальной погрешностью можно определять электромагнитную мощность (момент) по формуле, полученной для машины с ненасыщенным магнитопроводом, то есть полагая $K_P = 1$.

Очевидно, что ЭДС $E_{0\infty}$ в (3) должна быть определена для тока возбуждения (МДС возбуждения) машины, найденного с учетом насыщения.

В случае явнополюсных СМ электромагнитная мощность с учетом насыщения определяется по формуле

$$P_{\exists M} = M_{\exists M} = \frac{E_{0\infty} U}{X_d} K_{Pd} \sin\theta + U^2 / 2\left(1/X_q - 1/X_d\right) K_{Pdq} \sin 2\theta, \qquad (4)$$

где коэффициенты, учитывающие влияние насыщения машины на амплитуды первой и второй гармонических мощности, равны:

$$K_{Pd} = \frac{E_0}{E_{0\infty}} \frac{X_d}{X_{dH}} = \frac{1}{K_{\mu d}} \frac{X_{ad}\left(1 + X_S / X_{ad}\right)}{X_{adH}\left(1 + X_S / X_{adH}\right)} = \frac{1 + X_S / X_{ad}}{1 + X_S / X_{adH} \cdot K_{\mu d}}; \qquad (5)$$

$$K_{Pdq} = \frac{1/X_{qH} - 1/X_{dH}}{1/X_q - 1/X_d}.$$

Для явнополюсных машин с нормальной характеристикой холостого хода вычисления электромагнитной мощности в предположении

$$K_{Pd} = K_{Pdq} = 1$$

дают максимальную погрешность порядка 5–10 %.

При исследовании переходных процессов СМ автор предполагает, что потери в магнитопроводе равны нулю, а магнитная проницаемость постоянна, т. е. $K_{\mu} = \text{const}$. Это позволяет использовать принцип наложения, например $\psi_a = L_a i_a + M_{ab} i_b + \cdots + M_{af} i_f + \cdots$.

В [5, 7] отмечается, что при проектировании и эксплуатации СМ возникает необходимость определения тока возбуждения, нужного для обеспечения заданного режима (U, I, cosφ) с учетом насыщения магнитной цепи. Для этой цепи пользуются векторной диаграммой Потье. Авторы пользуют насыщенными значениями индуктивных сопротивлений продольной и поперечной реакции якоря $\left(X_{adH}, X_{aqH}\right)$. С ненасыщенными значениями $\left(X_{ad}, X_{aq}\right)$ они связаны соотношениями:

$$X_{adH} = X_{ad} / K_{\mu d} \ , \ \ X_{adH} = X_{aq} / K_{\mu q} .$$

Если сталь сердечников машины не насыщенна ($\mu_C = \infty$), то $K_{\mu d} = K_{\mu q} = 1$. Очевидно, что, $X_{aqH} = X_{aq}$. Для неявнополюсной СМ $X_{ad} = X_{aq}$. Отмечается, что принятие $K_{\mu q} = 1$ ошибочно. При отсутствии более точных данных для номинального режима можно принять $K_{\mu q} \approx 1{,}15$.

В работе [10] учету насыщения магнитной цепи СМ в установившихся режимах работы уделяется большое внимание. При определении режима работы синхронного генератора (СГ) – тока возбуждения при заданных U, I и cosφ – учет насыщения является обязательным. По-другому обстоит дело в случае построения характеристик СГ. В частности, показано, что регулировочные характеристики, рассчитанные с учетом насыщения, мало отличаются от характеристик, рассчитанных без учета насыщения. Это касается как явнополюсной, так и неявнополюсной машины. Причину этого автор не отмечает. Однако ясно, что основная причина кроется в постоянстве напряжения на зажимах. Автор отмечает, что при построении внешних характеристик учет насыщения обязателен. Сопоставление внешних характеристик, построенных при одном и том же токе возбуждения с учетом и без учета насыщения, позволяет убедится в том, что характеристики без учета насыщения совпадают с точными характеристиками лишь при малых напряжениях и дают только качественное представление об изменении напряжения.

Отмечается, что в режиме короткого замыкания (КЗ) поле возбуждения оказывается сильно ослабленным из-за размагничивающего действия продольной реакции якоря. Поэтому магнитная цепь машины слабо насыщена и для определения тока КЗ можно воспользоваться в общем случае схемой замещения ненасыщенной машины. При рассмотрении угловых характеристик, анализе условий устойчивости параллельной работы и построении *U*-образных характеристик об учете насыщения магнитной цепи автор умалчивает.

При математическом описании СМ в переходных режимах автор делает общепринятое допущение о том, что относительная магнитная проницаемость стальных участков магнитной цепи бесконечна велика. На основании этого допущения магнитное поле в машине может рассматриваться как сумма магнитных полей, образованных в отдельности токами в каждом из ее контуров. Это существенно упрощает расчеты и дает возможность проведения аналитического расчета переходных процессов.

Авторы [13], также как [10], считают, что при КЗ СМ магнитный поток реакции якоря является целиком продольным и сильно размагничивает поле возбуждения. Следовательно, при КЗ машина является ненасыщенной. При построении характеристик и определении режимов авторы учитывают насыщение магнитной цепи по характеристике холостого хода путем построения векторной диаграммы Потье и так называемой «шведской» диаграммы, причем предпочтение отдается последней из-за ее сравнительной простоты.

В качестве переходных процессов СМ авторы рассматривают внезапное КЗ СГ, при этом насыщение магнитной цепи не учитывают. Рассматриваются также колебания СМ, присоединенной к мощной сети, возникающие при нарушении равенства между вращающим моментом, приложенным к ее валу, и развиваемым ею электромагнитным моментом. Насыщение магнитной цепи вновь не учитывают, считая его влияние незначительным.

Значительно большее внимание вопросу насыщения в СМ уделяется в работе [12]. Отмечается, что в СМ воздушный зазор делается большим, чем в асинхронном двигателе (АД), и поэтому потоки рассеяния составляют несколько большую часть полного потока. Тем не менее при анализе СМ принимается, как и в АД, что насыщение во всех частях сердечника изменяется в функции одной переменной, а именно магнитного потока воздушного зазора. Утверждается, что экспериментально найденные нагрузочные характеристики параллельны характеристике холостого хода. Определенное графически на базе этих характеристик индуктивное сопротивление рассеяния обмотки якоря X_δ обычно превышает значение

X_δ, вычисленное по конструктивным данным машины. В связи с этим вводится индуктивное сопротивление Потье X_p. Это сопротивление заменяет индуктивное сопротивление рассеяния X_δ на векторной диаграмме, а ЭДС E_P за сопротивлением X_p заменяет ЭДС воздушного зазора E_δ.

Насыщение мало влияет на динамическую устойчивость. С насыщением переходное сопротивление X'_d изменяется, хотя не настолько, как изменяется X_d. Но это влияние столь незначительно, что им пренебрегают. Автор утверждает, что насыщение оказывает существенное влияние на статическую устойчивость СМ. При анализе угловых характеристик статической устойчивости СГ автор пользуется насыщенными параметрами:

$$E_{\text{нас}} = E_d / K_{\mu d};$$

$$X_{\text{нас}} = X_P + X_{ad} / K_{\mu d} = X_P + (X_d - X_P) K_{\mu d}.$$

Однако следует иметь в виду, что $K_{\mu d}$ зависит от E_p и, следовательно, меняется с изменением нагрузки. Поэтому при построении угловой характеристики даже для постоянного тока возбуждения надо учитывать изменение $K_{\mu d}$. Однако, автор не проводит сравнение угловых характеристик, построенных без учета и с учетом насыщения. Поэтому утверждение автора о значительном влиянии насыщения на статическую устойчивость вызывает недоумение. Автор также утверждает, что статический предел устойчивости, вычисленный в пренебрежении насыщением и предположении постоянства тока возбуждения, меньше действительного предела устойчивости при учете насыщения и постоянном токе возбуждения.

Исследования влияния насыщения в расчетах электромеханических переходных процессов показали, что если насыщение, т. е. нелинейность характеристики холостого хода, и непостоянство индуктивных сопротивлений не учтены, то в некоторых случаях могут получиться довольно заметные погрешности: токи и напряжения могут получиться несколько преувеличенными, а периоды качаний ротора преуменьшенными [6]. Значения угла, очень близкие к истинным в первых циклах колебаний, затем стремятся к несколько меньшим установившимся значениям. Из этого следует, что для выяснения изменений угла δ в первом и втором циклах качаний нет надобности учитывать насыщение. Исследования показали, что даже при значительной и продолжительной форсировке возбуждения СГ насыщения не оказывают заметного влияния на общий характер изменения угла, тока и напряжения. В приближенных расчетах учет насыщения можно отражать некоторым уменьшением индуктивного сопротивления.

В работе [3] принято, что изменения токов в продольной оси СМ не изменяют насыщение в поперечной оси и наоборот. Данное допущение позволяет исходить из эквивалентных схем по продольной и поперечной осям. Аналогично принимается, что насыщение путей потоков рассеяния в продольной оси не влияет на насыщение пути основного рабочего потока в той же оси и наоборот. Таким образом, принимается, что каждый из потокосцеплений протекает по независящему от остальных потоков пути и для каждого из таких путей имеется своя кривая намагничивания, не зависящая от других магнитных путей. Все сказанное приводит к эквивалентным схемам и не зависящим кривым намагничивания. Располагая указанными кривыми намагничивания для упрощенной математической модели синхронной машины (СД), автор проводит качественный анализ динамической устойчивости при набросе нагрузки. Такой метод учета насыщения приводит к громоздким математическим выкладкам. Однако в дальнейшем автор не проводит сопоставительный анализ результатов, полученных при учете и неучете насыщения.

Одно из основных допущений, принятых в работе [28] при выводе дифференциальных уравнений СМ, то есть при исследовании переходных процессов, заключается в том, что магнитная проницаемость сердечников статора и ротора принимается равной бесконечности. Это означает, что машина считается ненасыщенной. Насыщение учитывается лишь косвенно соответствующим выбором индуктивных сопротивлений.

При составлении математической модели СМ в работе [12], делаются общепринятые допущения, в числе которых отмечается пренебрежение насыщением магнитной цепи.

Таким образом, практически все авторы, за исключением [6, 23], делают следующий вывод: учет насыщения необходим, так как в ряде случаев неучет его может привести к серьезным ошибкам. Это, в частности, касается построения внешних характеристик.

По-другому обстоит дело с учетом насыщения при исследовании переходных процессов СМ. Ряд авторов считает достаточным пользоваться насыщенными значениями индуктивностей без учета их изменения. Другие же пренебрегают влиянием насыщения на динамическую устойчивость, считая его незначительным. Более изощренно к этому вопросу подошел А.А. Янко-Триницкий [23], считая насыщения различных участков магнитопроводов неодинаковыми и учет этого фактора необходимым. Однако такой подход приводит к громоздким математическим выкладкам. О результатах расчета автор не сообщает.

В работах [8, 9, 16, 17, 18, 19], нами рассмотрены вопросы расчета магнитного поля, связанные с решением уравнений Максвелла. Показано, что аналитическое решение последних затруднено отсутствием аналитической зависимости между напряженностью и магнитной индукцией поля. Предложено уравнение, описывающие кривую намагничивания.

Для выполнения расчетно-теоретических исследований СМ с продольно-поперечным возбуждением необходимо знать параметры поперечной обмотки возбуждения и всей машины с учетом особенностей ее размещения (конструкции обмотки и формы магнитного поля, образуемого этой обмоткой).

Прежде всего выясним, имеет ли смысл оценивать влияние формы магнитного поля поперечной обмотки возбуждения на форму кривой ЭДС индуктированной ею в обмотке якоря.

Известно, что для того чтобы уменьшить несинусоидальность напряжения ЭДС, в первую очередь стремятся сделать более синусоидальной форму кривой магнитной индукции поля возбуждения [7, 10].

В обычных СМ, несмотря на принятые меры, коэффициент искажения синусоидальности кривой поля возбуждения может превышать требуемые значения. Однако такое повторение формы кривой индукции в кривой ЭДС наблюдается только в фазе сосредоточенной обмотки, имеющей по одной катушке в группе и выполненной без укорочения шага. В этом случае относительные значения высших гармонических ЭДС по отношению к первой совпадают с относительными значениями высших гармонических индукции в кривой поля.

При соединении фаз трехфазной обмотки в звезду в линейном напряжении исчезают высшие гармонические ЭДС порядок которых равен трем.

Таким образом, форма кривой линейного напряжения трехфазной обмотки оказывается улучшенной по сравнению с формой кривой индукции даже в случае наименее совершенного исполнения обмотки якоря. Дальнейшее улучшение формы кривой как фазного, так и линейного напряжения трехфазных обмоток достигается за счет применения распределенных обмоток с укороченным шагом. Таким образом удается получить практически синусоидальную форму кривой ЭДС даже при существенно несинусоидальной форме кривой индукции поля возбуждения. Исходя из требований, предъявляемых к синусоидальности кривой линейного напряжения, можно было бы не стремиться к улучшению формы поля возбуждения (хотя это привело бы к дальнейшему уменьшению коэффициента искажения несинусоидальности ЭДС).

Однако меры по улучшению формы кривой поля возбуждения принимаются главным образом для того, чтобы уменьшить содержание высших гармонических в нем самом, поскольку высшие гармонические, не принимая участия в процессе преобразования энергии, вызывают добавочные магнитные потери.

Как было отмечено выше, поперечная обмотка возбуждения не участвует в создании основного рабочего поля и выполняет только функции регулирования. Поэтому требования к форме поля, создаваемого этой обмоткой, с точки зрения влияния ее на форму кривой ЭДС якоря и уменьшения добавочных магнитных потерь не имеют существенного значения и поэтому не актуальны.

Второй вопрос по форме поля поперечной обмотки возбуждения заключается в следующем: имеет ли смысл искать пути по увеличению первой (основной) гармонической поля этой обмотки.

Поскольку предлагаемые в работе конструкции поперечной обмотки возбуждения как явнополюсной, так неявнополюсной машины не меняют геометрию и размеры машины, то очевидно имеет смысл говорить о повышении первой гармонической МДС этой обмотки. Действительно, так как поперечная обмотка возбуждения в обеих машинах выполняется распределенной, то первая гармоническая индукция пропорциональна первой гармонической МДС.

Источники

1. Абдулкадыров А.И. Исследование и некоторые вопросы оптимизации переходных процессов синхронных машин с дополнительной обмоткой возбуждения в поперечной оси: автореф. … канд. техн. наук. Л.: ВНИИЭлектромаш, 1979.

2. Абдулкадыров А.И. Проблема демпфирования колебаний синхронных машин при резкопеременной нагрузке и пути ее решения // Ученые записки АГНА. 1997. № 1. С. 59–64.

3. Принцип регулирования фазы магнитного поля возбуждения в синхронной машине / А.И. Абдулкадыров [и др.] // Труды Кременчугского политехнического университета. 2008. № 3. С. 172–174.

4. Адкинс Б.А. Общая теория электрических машин / пер. с англ. М., Л.: Госэнергоиздат, 1960. 272 с.

5. Беспалов И.Я., Котеленц Р.Ф. Электрические машины. М.: Академия, 2010. 320 с.

6. Венников В.А. Переходные электромеханические процессы в электрических системах. М.: Высшая школа, 1970. 472 с.

7. Вольдек А.И. Электрические машины: учебник для студентов высш. техн. заведений. – 3-е изд., перераб. Л.: Энергия, 1978. 832 с.

8. Hacıbalayev N.M. Qeyri – xətti elektromaqnit sahəsinin həllinə dair // Energetikanın problemləri. 2002. № 1-2.

9. Гаджибалаев Н.М. Результаты компьютерных исследований влияния насыщения магнитной цепи синхронной машины с продольно-поперечным возбуждением при резкопеременной нагрузке // Проблемы Энергетики. 2012. № 1. С. 112–117.

10. Иванов-Смоленский А.В. Электрические машины: учебник для вузов. М.: Высшая школа, 1980. 928 с.

11. Копылов И.П. Электрические машины: учебник для вузов. М.: Энергоатомиздат, 1986. 360 с.

12. Копылов И.П. Электромеханические преобразователи энергии. М.: Энергия, 1983. 392 с.

13. Костенко М.П., Пиотровский Л.М. Электрические машины. Ч. 2. Машины переменного тока. Л., «Энергия», 1973. 648 с.

14. Синхронные машины: Переходные и установившиеся процессы / пер. с англ. инж. И.И. Талалова; под ред. канд. техн. наук, доц. Н.И. Соколова. М., Л.: Госэнергоиздат, 1959. 272 с.

15. Кононенко Е.В., Сипайлов Г.А., Хорьков К.А. Электрические машины (специальный курс). М.: Высшая школа, 1987. 287 с.

16. Набиев М.А., Гулиев З.А., Гаджибалаев Н.М. Уравнение кривой намагничивания // Микроэлектронные преобразователи и приборы на их основе: тр. 3-й Междунар. науч.-техн. конф., 2001. С. 70.

17. Набиев М.А., Гулиев З.А., Гаджибалаев Н.М. К расчету магнитных полей в ферримагнитных телах // Микроэлектронные преобразователи и приборы на их основе: тр. 3-й Междунар. науч.-техн. конф. 2001. С. 71.

18. Набиев М.А., Гулиев З.А., Гаджибалаев Н.М. К решению уравнений Максвелла для ферромагнитной среды // Электричество. 2002. № 3. С. 54–57.

19. Набиев Ф.М. Электрические машины. М.: Радиософт, 2008. 292 с.

20. Новогрецкий С.Н. Регулирование возбуждения синхронного генератора в поперечной оси для повышения устойчивости работы судовой электростанции: автореф. … канд. техн. наук. URL: https://revolution. allbest. ru/physics/00578869_0.html (дата обращения: 17.09.18).

21. Осин И.Л., Шакарян Ю.Г. Электрические машины. М.: Высшая школа, 1984. 304 с.

22. Ротерс Г.К. Электромагнитные механизмы. М.-Л.: Госэнергоиздат, 1949. 523 с.

23. Янко-Триницкий А.А. Новый метод анализа работы синхронных двигателей при резкопеременных нагрузках. М.: Госэнергоиздат, 1958. 103 с.

24. Shinryo J. Induction Synchronous Motor // Mitsubishi denki gino, 1989. Vol. 38, № 6.

25. Sepen C.H. Process of increasing the Iransient Stability Power limits on A.C. Iransmission Systems // CIGRE – 1962. Paper 305. 1964. Paper 304.

26. Takata S., Veda R. A dual mode excitation control of synchronous machime for suppressing its hunting // IEEE Trans Power Apparatus and Sistemes. 1971. Vol. 90, № 4.

27. Subramaniam P., Malik O.P. Closed loop optimization of power systems with two – axis excitation // IEEE Trans Power Apparatus and Sistemes. 1973. № 1-2.

28. Постников И.М. Обобщенная теория и переходные процессы электрических машин. М.: Высшая школа, 1975. 319 с.

УДК 621.311

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОКОВОЙ КОМПЕНСАЦИИ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ

Аскер Гусейн оглы Гасымов[1], Эльмира Наджаф кызы Байрамалиева[2], Ругия Кязым кызы Мамедзаде[3]

СГУ, г. Сумгаит

[1]asger.qasimov @mail.ru, [2]bayramaliyeva@bk.ru, [3]mamedzade.59@mail.ru

При автоматическом регулировании выходного напряжения трансформатора используется напряжение на выходе трансформатора и токи отходящих линий, с помощью которых определяется напряжение в какой-нибудь одной точке сети, которое сравнивается с заданным напряжением уставки и в зависимости от их разности воздействует на изменение выходного напряжения в сторону повышения или понижения. С этой целью исследуется трансформатор напряжения с несимметричным режимом работы со схемой токовой компенсации. Благодаря токовой компенсации обеспечивается встречное регулирование напряжения, необходимое для поддержания напряжения на шинах у потребителя.

Ключевые слова: автоматическое регулирование напряжения, токовая компенсация, токи отходящих линий, метод контурных токов, встречное регулирование, измерительный орган.

STUDY OF CURRENT COMPENSATION FOR AUTOMATIC REGULATION OF VOLTAGE

Asker Huseyn ogly Gasymov, Elmira Najaf kyzy Bairamalieva, Rugia Kazim kyzy Mamedzade

Automatically regulating the transformer output voltage uses the voltage at the transformer output and the currents of the outgoing lines, which determine the voltage at any one point of the network, which is compared with a given setpoint voltage and, depending on their difference, affects the output voltage change in the direction of increase or downgrades For this purpose, a voltage transformer

with an asymmetrical mode of operation with a current compensation circuit is investigated. Thanks to the current compensation, counter voltage regulation is required to maintain the voltage on the tires at the consumer.

Key words: automatic voltage regulation, current compensation, outgoing line currents, loop current method, counter regulation, measuring organ.

Режим напряжения в электрических сетях существенно влияет на пропускную способность сетей, уровень устойчивости, потери электроэнергии, качество электроэнергии у потребителей. Важным этапом автоматизации регулирования напряжения в энергосистемах является автоматизация управления трансформаторами с регулированием напряжения под нагрузкой (РПН). Устройство автоматического регулятора напряжения (АРН) позволяет поддерживать напряжение на заданном уровне, в то время как в эксплуатации требовалось осуществлять встречное регулирование напряжения, то есть регулирование с отрицательным статизмом по току нагрузки. Регулирование напряжение– это автоматическое изменение режима напряжения в сети и у электрических потребителей в целях обеспечения технических условий или повышения экономичности работы всей системы электроснабжения.

Для обеспечения встречного регулирования напряжения обычно применяют АРН с токовой компенсацией. На измерительный орган токового регулятора [1] подают разность двух напряжений – напряжение на шинах центра питания (ЦП) и падение напряжения на сопротивлении отходящей линии. Степень компенсации падения напряжения в сети определяется выбором сопротивления схемы. Регуляторы напряжения имеют специальный орган настройки – установочное устройство. Его положение выбирается в соответствии с некоторым средним значением напряжения, которое требуется поддерживать на шинах ЦП.

Напряжение на шинах потребителя отличается от напряжения на шинах низкого напряжения питающей подстанции на значение падения напряжения в линии и будет изменяться при изменении тока нагрузки, проходящего по линии. Для того чтобы поддерживать постоянным напряжение у потребителя, измерительный орган дополняется токовой компенсацией. Благодаря токовой компенсации обеспечивается так называемое встречное регулирование, необходимое для поддержания напряжения на шинах у потребителя. Во время регулирования выходного напряжения используются напряжение на выходе трансформатора и токи отходящих линий, с помощью которых определяется напряжение в какой-нибудь одной точке сети, которое сравнивается с заданным напряжением уставки и в зависимости от их разности воздействует на изменение выходного напряжения в сторону повышения или понижения [2].

С этой целью исследуется трансформатор напряжения с несимметричным режимом работы со схемой токовой компенсации (рис. 1). Здесь U'_{ef} и U''_{ef} являются выходными параметрами трансформатора напряжения и каждый из них определяется в зависимости от значений токов $\dot{I}_4$ и I_5 отходящих линий. С учетом магнитных связей между обмотками трансформатора напряжения можно составить его схему замещения, как показано на рис. 1.

В цепи, представленной на рис. 1, токи I_{AB}, I_{BC}, I_{AC}, I_3, I_6 и I_7 принимаются контурными токами. Для определения этих токов, используя метод контурных токов [3], можно записать уравнения:

$$\begin{gathered}
I_{AB}\cdot Z_{11}+I_{CB}\cdot Z_{12}+I_{AC}\cdot Z_{13}+I_3\cdot Z_{14}+I_6\cdot Z_{15}+I_7\cdot Z_{16}=U_{AB};\\
I_{AB}\cdot Z_{21}+I_{CB}\cdot Z_{22}+I_{AC}\cdot Z_{23}+I_3\cdot Z_{24}+I_6\cdot Z_{25}+I_7\cdot Z_{216}=U_{BC};\\
I_{AB}\cdot Z_{31}+I_{CB}\cdot Z_{32}+I_{AC}\cdot Z_{33}+I_3\cdot Z_{34}+I_6\cdot Z_{35}+I_7\cdot Z_{36}=U_{AC};\\
I_{AB}\cdot Z_{11}+I_{CB}\cdot Z_{12}+I_{AC}\cdot Z_{43}+I_3\cdot Z_{44}+I_6\cdot Z_{45}+I_7\cdot Z_{46}=E_5;\\
I_{AB}\cdot Z_{51}+I_{CB}\cdot Z_{52}+I_{AC}\cdot Z_{53}+I_3\cdot Z_{54}+I_6\cdot Z_{55}+I_7\cdot Z_{56}=E_4;\\
I_{AB}\cdot Z_{61}+I_{CB}\cdot Z_{62}+I_{AC}\cdot Z_{63}+I_3\cdot Z_{64}+I_6\cdot Z_{65}+I_7\cdot Z_{66}=E_{54},
\end{gathered} \tag{1}$$

где

$$\begin{gathered}
Z_{11}=Z_{1A}+Z_{1B}-2Z_{AB};\quad Z_{12}=Z_{1B}-Z_{AB}+Z_{AC}-Z_{BC};\\
Z_{13}=Z_{1A}+Z_{1C}-2Z_{AC}-Z_{AB}+Z_{CB};\quad Z_{14}=-Z_{12A}+Z_{BA}-Z_{12B}+Z_{AB};\\
Z_{15}=-Z_{12B}+Z_{AB1}+Z_{BC1}-Z_{AC1};\quad Z_{16}=Z_{12A}+Z_{BA}+Z_{AC1}-Z_{BC1};\\
Z_{21}=-Z_{1B}+Z_{AC}-Z_{AB}-Z_{BC};\quad Z_{22}=Z_{2C}+Z_{1B}-2Z_{BC};\\
Z_{23}=-Z_{1C}+Z_{BC}-Z_{AC}-Z_{AB};\quad Z_{24}=-Z_{12B}+Z_{CB1}+Z_{BA1}-Z_{CA1};\\
Z_{25}=-Z_{12B}-Z_{12C}+Z_{BC1}+Z_{CB};\quad Z_{26}=Z_{BA1}-Z_{CB1}+Z_{12C}-Z_{BC};\\
Z_{31}=-Z_{12A}+Z_{AB1}+Z_{BA1}-Z_{12B};\quad Z_{32}=-Z_{AB}+Z_{BC}-Z_{AC};\\
Z_{33}=Z_{1A}+Z_{1C}-2Z_{AC};\quad Z_{34}=-Z_{12A}+Z_{CA1}-Z_{A1C}+Z_{AB1};\\
Z_{35}=Z_{12C}-Z_{B1C}+Z_{AB1}-Z_{AC1};\quad Z_{36}=-Z_{12A}+Z_{12C}-Z_{CA1}+Z_{AC1};\\
Z_{41}=-Z_{12A}+Z_{BA1}-Z_{AB1}+Z_{12B};\quad Z_{42}=-Z_{12B}+Z_{AB1}-Z_{CA1}+Z_{A1C}\\
Z_{43}=-Z_{12A}+Z_{AB1}-Z_{B1C}+Z_{CA1};\\
Z_{44}=-Z_{2A}+Z_{2B}-2Z_{A1B1}+R_1+X_1+R_3+r_3;\\
Z_{45}=Z_{22}-Z_{A1B1}-Z_{A1C1}+Z_{B1C1};\quad Z_{46}=Z_{2A}-Z_{A1B1}-Z_{A1C1}+Z_{B1C1};
\end{gathered} \tag{2}$$

$$Z_{51}=Z_{AB1}-Z_{AC1}-Z_{12B}+Z_{BC1};\quad Z_{52}=Z_{12B}-Z_{BC1}-Z_{BC1}+Z_{12C};$$
$$Z_{53}=-Z_{12C}+Z_{AB1}-Z_{B1C}+Z_{AC1};\quad Z_{54}=-Z_{A1B1}-Z_{A1C1}+2Z_{B1C1};$$
$$Z_{55}=Z_{2B}+Z_{2C}+R_2+X_2+R_6+r_6-2Z_{B1C1};$$
$$Z_{56}=-Z_{B1C1}+Z_{A1C1}-Z_{A1B1}-R_2-X_2-R_6-r_6;$$
$$Z_{61}=-Z_{12A}+Z_{AC1}-Z_{BC1}+Z_{BA1};\quad Z_{62}=Z_{BA1}-Z_{BC1}-Z_{12C}+Z_{CA1};\quad (2)$$
$$Z_{63}=-Z_{12A}-Z_{12C}+Z_{CA1}+Z_{AC1};\ Z_{64}=-Z_{22A}-Z_{A1C1}+Z_{B1C1}+Z_{22B}$$
$$Z_{65}=-Z_{A1B1}-Z_{A1C1}+Z_{B1C1}+Z_{2C};\quad Z_{66}=Z_{1A}+Z_{2A}+Z_{A1C1};$$
$$E_{54}=E_5-E_4.$$

Если из систем уравнений (1) исключить I_{AB}, I_{BC} и I_{AC} получим систему уравнений:

$$\left.\begin{aligned} &I_3(F_1-Q_1)+I_6(F_2-Q_2)+I_7(F_3-Q_3)=F_{11}-Q_{11}\\ &I_3(Q_1-P_1)+I_6(Q_2-P_2)+I_7(Q_3-P_3)=Q_{11}-P_{11}\\ &I_3(P_1-e_1)+I_6(P_2-e_2)+I_7(P_3-e_3)=P_{11}-e_{11}\end{aligned}\right\},\qquad (3)$$

где

$$F_{11}=\frac{K_{11}-K_{22}}{A_1-B_1};\quad Q_{11}=\frac{K_{22}-K_{33}}{B_1-D_1};\quad P_{11}=\frac{K_{33}-K_{44}}{D_1-N_1};$$
$$e_{11}=\frac{K_{44}-K_{55}}{N_1-M_1};\quad K_{11}=\frac{K_{AB}-K_{AC}}{a_1-b_1};\quad K_{22}=\frac{K_{BC}-K_{AC}}{b_1+c_1};$$
$$K_{33}=\frac{K_{AC}-K_5}{c_1-d_1};\quad K_{44}=\frac{K_5-K_4}{d_1-n_1};\quad K_{55}=\frac{K_4-K_{45}}{n_1-m_1};$$
$$K_{AB}=\frac{U_{AB}}{Z_{11}};\quad K_{BC}=\frac{U_{BC}}{Z_{21}};\quad K_{AC}=\frac{U_{AC}}{Z_{31}};\qquad (4)$$
$$a_1=\frac{Z_{12}}{Z_{11}};\quad b_1=\frac{Z_{22}}{Z_{21}};\quad c_1=\frac{Z_{32}}{Z_{31}};\quad d_1=\frac{Z_{42}}{Z_{41}};\quad n_1=\frac{Z_{52}}{Z_{51}};\quad m_1=\frac{Z_{62}}{Z_{61}};$$
$$K_4=\frac{E_4}{Z_{51}};\quad K_5=\frac{E_5}{Z_{41}};\quad K_{45}=\frac{E_{54}}{Z_{61}}.$$

По значениям токов I_3, I_6 и I_7 можно определить выходные напряжения трансформатора U'_{ef} и U''_{ef}.

Эти токи можно определить из уравнений (3):

$$\dot{I}_3=\frac{\Delta 3}{\Delta};\qquad \dot{I}_3=\frac{\Delta 6}{\Delta};\qquad \dot{I}=\frac{\Delta 7}{\Delta}.\qquad (5)$$

Здесь

$$\Delta 3 = \begin{vmatrix} F_{11} - Q_{11} & F_2 - Q_2 & F_3 - Q_3 \\ Q_{11} - P_{11} & Q_2 - P_2 & Q_3 - P_3 \\ P_{11} - e_{11} & P_2 - e_2 & P_3 - e_3 \end{vmatrix}; \quad (6)$$

$$\Delta 6 = \begin{vmatrix} F_1 - Q_1 & F_{11} - Q_{11} & F_3 - Q_3 \\ Q_1 - P_1 & Q_{11} - P_{11} & Q_3 - P_3 \\ P_1 - e_1 & P_{11} - e_{11} & P_3 - e_3 \end{vmatrix}; \quad (7)$$

$$\Delta 7 = \begin{vmatrix} F_1 - Q_1 & F_2 - Q_2 & F_{11} - Q_{11} \\ Q_1 - P_1 & Q_2 - P_2 & Q_{11} - P_{11} \\ P_1 - e_1 & P_2 - e_2 & P_{11} - e_{11} \end{vmatrix}; \quad (8)$$

$$\Delta = \begin{vmatrix} F_1 - Q_1 & F_2 - Q_2 & F_3 - Q_3 \\ Q_1 - P_1 & Q_2 - P_2 & Q_3 - P_3 \\ P_1 - e_1 & P_2 - e_2 & P_3 - e_3 \end{vmatrix}; \quad (9)$$

$$F_1 = \frac{A_2 - B_2}{A_1 - B_1}; \qquad F_2 = \frac{A_3 - B_1}{A_1 - B_1}; \qquad F_3 = \frac{A_4 - B_4}{A_1 - B_1};$$

$$Q_1 = \frac{B_2 - P_2}{B_1 - D_1}; \qquad Q_2 = \frac{B_3 - P_3}{B_1 - D_1}; \qquad Q_3 = \frac{B_4 - D_4}{B_1 - D_1};$$

$$P_1 = \frac{D_2 - N_2}{D_1 - N_1}; \quad P_2 = \frac{D_3 - N_3}{D_1 - N_1}; \qquad P_3 = \frac{D_4 - N_4}{D_1 - N_1};$$

$$e_1 = \frac{N_2 - M_2}{N_1 - M_1}; \quad e_1 = \frac{N_3 - M_3}{N_1 - M_1}; \qquad e_1 = \frac{N_4 - M_4}{N_1 - M_1}; \quad (10)$$

$$A_1 = \frac{a_2 + b_2}{a_1 - b_1}; \quad A_2 = \frac{a_3 - b_3}{a_1 - b_1}; \; A_3 = \frac{a_4 - b_4}{a_1 - b_1}; \; A_4 = \frac{a_5 - b_5}{a_1 - b_1};$$

$$B_1 = \frac{b_2 - c_2}{b_1 + c_1}; \qquad B_2 = \frac{b_3 - c_3}{b_1 + c_1}; \; B_3 = \frac{b_4 - c_4}{b_1 + c_1}; \; B_4 = \frac{b_5 - c_5}{b_1 + c_1};$$

$$D_1 = \frac{c_2 - d_2}{c_1 - d_1}; \quad D_2 = \frac{c_3 - d_3}{c_1 - d_1}; D_3 = \frac{c_4 - d_4}{c_1 - d_1}; \; D_4 = \frac{c_5 - d_5}{c_1 - d_1};$$

$$N_1 = \frac{d_2 - n_2}{d_1 - n_1}; \; N_2 = \frac{d_3 - n_3}{d_1 - n_1}; \; N_3 = \frac{d_4 - n_4}{d_1 - n_1}; \; N_4 = \frac{d_5 - n_5}{d_1 - n_1};$$

$$M_1=\frac{n_2-m_2}{n_1-m_1};\ M_2=\frac{n_3-m_3}{n_1-m_1};\ M_3=\frac{n_4-m_4}{n_1-m_1};\ M_4=\frac{n_5-m_5}{n_1-m_1};$$

$$a_2=\frac{Z_{13}}{Z_{11}};\quad a_3=\frac{Z_{14}}{Z_{11}};\quad a_4=\frac{Z_{15}}{Z_{11}};\quad a_5=\frac{Z_{16}}{Z_{11}};$$

$$b_2=\frac{Z_{23}}{Z_{21}};\ b_3=\frac{Z_{24}}{Z_{21}};\ b_4=\frac{Z_{25}}{Z_{21}};\ b_5=\frac{Z_{26}}{Z_{21}};$$

$$C_2=\frac{Z_{33}}{Z_{31}};\ C_3=\frac{Z_{34}}{Z_{31}};\quad C_4=\frac{Z_{35}}{Z_{31}};\ C_5=\frac{Z_{36}}{Z_{31}};\qquad (10)$$

$$d_2=\frac{Z_{43}}{Z_{41}};\quad d_3=\frac{Z_{44}}{Z_{41}};\quad d_4=\frac{Z_{45}}{Z_{41}};\quad d_5=\frac{Z_{46}}{Z_{41}};$$

$$n_2=\frac{Z_{53}}{Z_{51}};\quad n_3=\frac{Z_{54}}{Z_{51}};\quad n_4=\frac{Z_{55}}{Z_{51}};\quad n_5=\frac{Z_{56}}{Z_{51}};$$

$$m_2=\frac{Z_{63}}{Z_{61}};\quad m_2=\frac{Z_{63}}{Z_{61}};\quad m_4=\frac{Z_{65}}{Z_{61}};\quad m_5=\frac{Z_{66}}{Z_{61}};$$

Выходные напряжения трансформатора определяются в зависимости:

$$\left.\begin{aligned}U'_{ef}&=(I_6-I_7)\cdot r_6\\U''_{ef}&=(I_3+I_7)\cdot r_3\end{aligned}\right\}.\qquad (11)$$

В последнем уравнении, учитывая (5), получим:

$$U'_{ef}=\frac{\Delta 6-\Delta 7}{\Delta}\cdot r_6;\qquad (12)$$

$$U''_{ef}=\frac{\Delta 3+\Delta 7}{\Delta}\cdot r_3.\qquad (13)$$

Можно отметить, что сопротивления r_3 и r_6, показанные на рисунке, выбираются практически одинаковыми: $r_3=r_6=r_6$.

В зависимости от значений I_4 и I_5, для проведения регулировочной операции напряжения, определяющиеся по значениям (12) и (13) надо сравнить друг с другом:

$$\Delta U_{ef}=U''_{ef}-U'_{ef}.\qquad (14)$$

Если здесь учитывать (12) и (13) получим:

$$\Delta U_{ef}=\frac{\Delta 3+\Delta 7-\Delta 6+\Delta 7}{\Delta}\cdot r=\frac{\Delta 3+2\Delta 7-\Delta 6}{\Delta}\cdot r.\qquad (15)$$

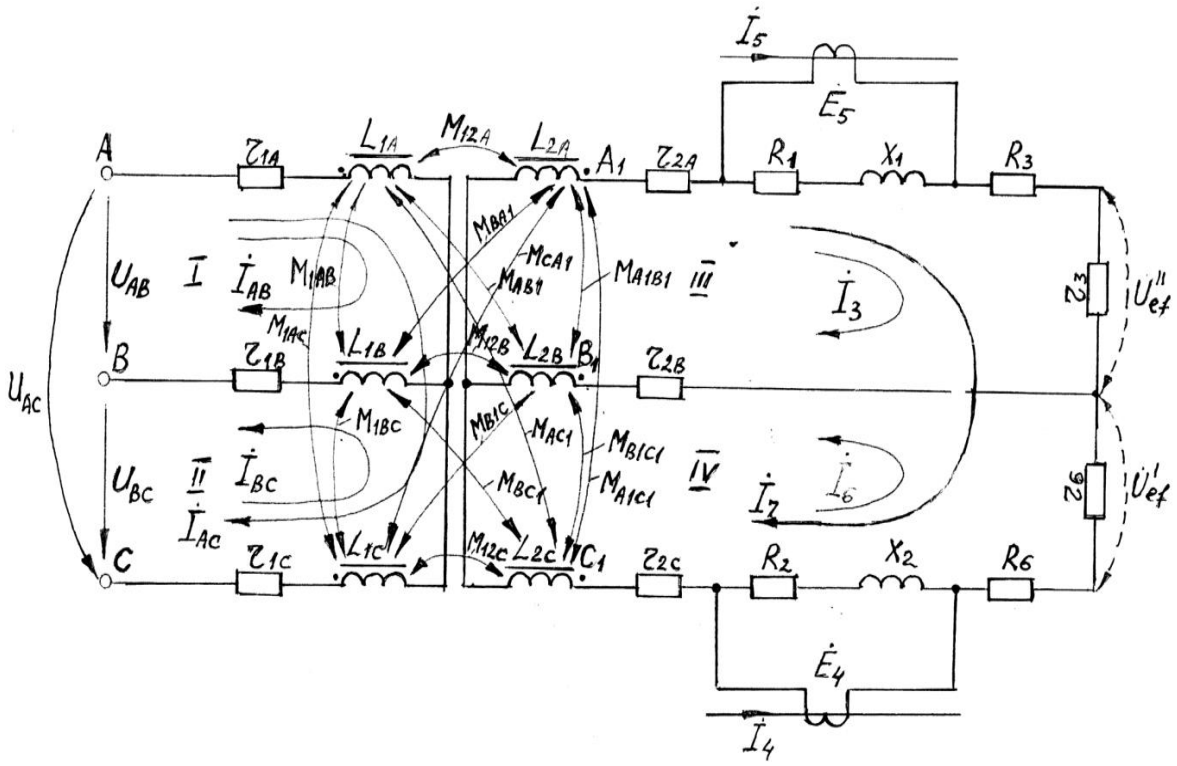


Рис. 1. Схема с токовой компенсацией трансформатора напряжения с несимметричным режимом работы: U_{AB}, U_{BC}, U_{AC} – напряжения первичных обмоток трансформатора; r_{1A}, r_{1B}, r_{1C}, l_{1A}, l_{1B}, l_{1C} – активные сопротивления и индуктивности первичной обмотки трансформатора; r_{2A}, r_{2B}, r_{2C}, l_{2A} ,l_{2B}, l_{2C} – активные сопротивления и индуктивности вторичной обмотки трансформатора; M_{1AB}, M_{1BC}, M_{1AC} – взаимная индуктивность между обмотками первичной обмотки; M_{A1B1} ,M_{B1C1},M_{A1C1} – взаимная индуктивность между обмотками вторичной обмотки; M_{AB1},M_{AC1},M_{BA1},M_{BC1},M_{CA1},M_{CB1} – взаимная индуктивность между первичными и вторичными фазными обмотками трансформатора; R_1, X_1 – параметры цепи компенсации для тока I_4; R_2, X_2 – параметры цепи компенсации для тока I_5; R_3, r_3 и R_6, r_6 – делители напряжения

Открыв в последнем выражении с учетом (6)–(9) все детерминанты, получим:

$$\Delta U_{ef} = \frac{q_x(y_2 \cdot z_3 - z_2 \cdot y_3) + q_y(x_2 \cdot z_3 - z_2 \cdot x_3) + q_z(y_2 \cdot x_3 - x_2 \cdot y_3)}{x_1(y_2 \cdot z_3 - y_3 \cdot z_2) + y_1(z_2 \cdot x_3 - x_2 \cdot z_3) + z_1(x_2 \cdot y_3 - y_2 \cdot x_3)} +$$

$$+ \frac{2\left[q_x(y_1 \cdot z_2 - y_2 \cdot z_1) + q_y(x_1 \cdot z_2) + q_z(x_1 \cdot y_2 - x_2 \cdot y_1) \right]}{x_1(y_2 \cdot z_3 - y_3 \cdot z_2) + y_1(z_2 \cdot x_3 - x_2 \cdot z_3) + z_1(x_2 \cdot y_3 - y_2 \cdot x_3)} -$$

$$- \frac{q_x(z_1 \cdot y_3 - y_1 \cdot z_3) + q_y(x_1 \cdot z_3 - z_1 \cdot x_3) + q_z(y_1 \cdot z_3 - z_1 \cdot y_3)}{x_1(y_2 \cdot z_3 - y_3 \cdot z_2) + y_1(z_2 \cdot x_3 - x_2 \cdot z_3) + z_1(x_2 \cdot y_3 - y_2 \cdot x_3)} \cdot r. \qquad (16)$$

Здесь:

$$\begin{gathered} q_x = F_{11} - Q_{11}; \quad q_z = P_{11} - e_{11}; \\ x_1 = F_1 - Q_1; \quad x_2 = F_2 - Q_2; \quad x_3 = F_3 - Q_3; \\ y_1 = Q_1 - P_1; \quad y_2 = Q_2 - P_2; \quad y_3 = Q_3 - P; \\ z_1 = P_1 - e_1; \quad z_2 = P_2 - e_2; \quad z_3 = P_3 - e_3. \end{gathered} \qquad (17)$$

Если в (16) сделать некоторые преобразования, получим

$$\Delta U_{ef} = \frac{q_x \cdot A_x + q_y \cdot A_y + q_z \cdot A_z}{x_1(y_2 \cdot z_3 - y_3 \cdot z_2) + y_1(z_2 \cdot x_3 - x_2 \cdot z_3) + z_1(x_2 \cdot y_3 - y_2 \cdot x_3)}. \qquad (18)$$

Здесь

$$\begin{gathered} A_x = y_2 \cdot z_3 - z_2 \cdot y_3 + 2(y_1 \cdot z_2 - y_2 \cdot z_1) - (z_1 \cdot y_3 - y_1 \cdot z_3); \\ A_y = x_2 \cdot z_3 - z_2 \cdot x_3 + 2(z_1 \cdot x_2 - x_2 \cdot z_2) - (x_1 \cdot z_3 - z_1 \cdot x_3); \\ A_z = y_2 \cdot x_3 - x_2 \cdot y_3 + 2(x_1 \cdot y_2 - y_1 \cdot x_2) - (y_1 \cdot x_3 - x_1 \cdot y_3). \end{gathered} \qquad (19)$$

По полученной формуле (18) изменения выходного напряжения трансформатора ΔU_{ef} можно анализировать в зависимости от изменения ЭДС.

Для поддержания напряжения у потребителей с помощью токовой компенсации можно обеспечить встречное регулирование напряжения, используя напряжение на входе трансформатора и токи отходящих линий. С этой целью был исследован трансформатор напряжения с несимметричным режимом работы со схемой токовой компенсации и были определены выходные параметры трансформатора напряжения, значения которых были найдены в зависимости от значений токов отходящих линий.

Источники

1. Баркан Я.Д., Маркушевич Р.С. Использование статической информации о качестве напряжения в электрических сетях. М.: Энергия, 1972. 129 с.

2. Барзам А.Б. Системная автоматика М.: Энергоатомиздат, 1989. 441 с.

3. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. М.: Высшая школа, 1996. 589 с.

УДК 621.311

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОТОКОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ ПРИ ЛИНЕАРИЗИРОВАННОМ ПРЕДСТАВЛЕНИИ УРАВНЕНИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

Гусейнгулу Байрам оглы Гулиев[1], Нариман Рахман оглы Рахманов[2], Араз Ариф оглы Мустафаев[3]

ООО «АзНИПИИЭ», г. Баку

[1]huseyngulu@mail.ru, [2]ard.nariman@gmail.com, [3]mustafa@arazenergy.com

Исследуется моделирование потокораспределения в электрической сети при линеаризированном представлении уравнения реактивной мощности влияние линеаризации зависимости реактивной мощности на решение задачи. Тестовые моделирования потокораспределения с линеаризованной составляющей реактивной мощности были реализованы на стандартных схемах IEEE. Сравнительный анализ результатов моделирований показывает эффективность указанной линеаризации для оперативного анализа состояния энергосистемы.

Ключевые слова: энергосистема, напряжения, реактивная мощность, методы расчета потокораспределения, методы линеаризации.

MODELING OF FLOW DISTRIBUTION IN ELECTRIC NETWORK WITH LINEARIZED REPRESENTATION OF THE JET POWER EQUATION

Huseingulu Bayram ogly Guliyev, Nariman Rahman ogly Rakhmanov, Araz Arif ogly Mustafaev

The paper studies the modeling of flow distribution in the electrical network with a linearized representation of the reactive power equation and the influence of the linearization of the dependence of reactive power on the solution of the problem. Test flow simulations with a linearized reactive power component were implemented using standard IEEE schemes. Comparative analysis of simulation results shows the effectiveness of this linearization for the operational analysis of the state of the power system.

Key words: power system, voltage, reactive power, methods for calculating the flow distribution, linearization methods.

Анализ установившихся режимов является основой для планирования, эксплуатации и управления энергосистемами, значимость которого возрастает при функционировании системы в условиях рынка электрической энергии.

Расчет потокораспределения основан на решении системы нелинейных алгебраических уравнений, описывающих установившийся режим. Для решения этих уравнений предложены и разработаны различные вычислительные алгоритмы, с помощью которых реализуются известные в литературе методы решения нелинейных алгебраических уравнений [1–4]. Эти методы являются итеративными и эффективность их применения существенно зависит от сложности исследуемой системы. В связи с этим все последующие разработки по усовершенствованию алгоритмов, основанных на применении вышеуказанных методов сводятся к приемлемому упрощению моделей описывающих установившиеся режимы [5].

В настоящей статье предлагается метод, полученный путем линеаризации уравнений реактивной мощности. Предложенный метод имеет возможность быстро рассчитать напряжения на шинах нагрузки и инъекции реактивной мощности на генераторных шинах. Первоначально идея линеаризации уравнений реактивной мощности была предложена в работе [6]. В данной работе предлагается математическая формулировка метода.

Упрощенное формулирование модели расчета потоков реактивной мощности. Рассматривается *n*-узловая типовая схема энергосистемы, в которой важным является баланс реактивной мощности в *i*-м узле, в полярной форме и относительных единицах:

$$q_i = u_i \sum_{k=1}^{n} u_k \, Y_{i,k} \sin\left(\theta_i - \theta_k - \phi_{i,k}\right). \qquad (1)$$

В этом уравнении количество неизвестных зависит от типа узла: если узел *i* типа *PQ*, то неизвестные напряжения, или если узел *i* типа *PV*, то неизвестный q_i. Фазовые углы напряжений являются основными параметрами, которые могут быть предварительно рассчитаны посредством потокораспределения мощности постоянного тока. Следует обратить внимание, что матрица проводимости *DC load flow* отличается от полной матрицы проводимости в этом случае, элементы должны учитывать не только продольную, но также поперечную проводимость каждого элемента сети.

Пренебрегая продольной и поперечной активной проводимостью и, предполагая B_i *k*-модулем реактивной проводимости типового элемента матрицы проводимости, получим:

$$q_i = u_i \sum_{k=1}^{n} u_k \, Y_{i,k} \sin\left(\theta_i - \theta_k - \phi_{i,k}\right) = -u_i^2 B_{i,i} - u_i \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}} u_k B_{i,k} \cos\left(\theta_i - \theta_k\right). \quad (2)$$

Если базовое напряжение использовано как относительное, модуль напряжения может быть выражен малой вариацией по отношению к единице:

$$u_j = 1 + \Delta u_j, \ \forall j \in [1...n]. \quad (3)$$

Заменяя и пренебрегая величиной второго порядка, получим:

$$q_i = -\left(1+\Delta u_i\right)^2 B_{i,i} - \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^{n} \left(1+\Delta u_i\right)\left(1+\Delta u_k\right) B_{i,k} \cos\left(\theta_i - \theta_k\right) \approx -B_{i,i} - 2\Delta u_i B_{i,i} -$$

$$-\sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^{n} (1+\Delta u_i + \Delta u_k) B_{i,k} \cos\left(\theta_i - \theta_k\right) = B_{i,i} - 2\Delta u_i B_{i,i} - \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^{n} B_{i,k} \cos\left(\theta_i - \theta_k\right) -$$

$$-\Delta u_i \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^{n} B_{i,k} \cos\left(\theta_i - \theta_k\right) - \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^{n} \Delta u_k B_{i,k} \cos\left(\theta_i - \theta_k\right). \quad (4)$$

Для каждого генераторного узла g известно Δu, тогда для $i \in [1, g]$ получим:

$$q_i + \sum_{\substack{k=g+1 \\ i}}^{n} \Delta u_k B_{i,k} \cos\left(\theta_i - \theta_k\right) = -B_{i,i} - 2\Delta u_i B_{i,i} - \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^{n} B_{i,k} \cos\left(\theta_i - \theta_k\right) -$$

$$-\Delta u_i \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^{n} B_{i,k} \cos\left(\theta_i - \theta_k\right) - \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^{g} \Delta u_k B_{i,k} \cos\left(\theta_i - \theta_k\right). \quad (5)$$

Для каждого (n–g) нагрузочного узла, предположим для $i \in [g+1, n]$, получим:

$$2\Delta u_i B_{i,i} + \Delta u_i \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^{n} B_{i,k} \cos\left(\theta_i - \theta_k\right) + \sum_{\substack{k=g+1 \\ k \neq i}}^{g} \Delta u_k B_{i,k} \cos\left(\theta_i - \theta_k\right) =$$

$$= -q_i^0 - B_{i,i} - \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^{n} B_{i,k} \cos\left(\theta_i - \theta_k\right) - \sum_{k=1}^{g} \Delta u_k B_{i,k} \cos\left(\theta_i - \theta_k\right). \quad (6)$$

где q_i^0 – известная реактивная мощность поглощаемая нагрузкой в i-м узле.

Преобразуем n уравнений таким образом, чтобы первые g были важными для генераторных узлов, а оставшиеся $(n–g)$ – важными для узлов нагрузки. Тогда систему можно записать следующим образом:

$$\begin{vmatrix} I & R^{gc} \\ O & R^{cc} \end{vmatrix} \begin{vmatrix} q^{g} \\ \Delta u^{c} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} q^{\Sigma g} \\ q^{\Delta c} \end{vmatrix}, \tag{7}$$

где

$$R_{h,j}^{gc} = B_{i,k} \cdot \cos\left(\theta_i - \theta_k\right),\ i = h,\ \ k = j + g,\ \ h \in [1, g],\ \ j \in [1, n - g]; \tag{8}$$

$$R_{h,h}^{c,c} = 2B_{i,i} + \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^{n} B_{i,k} \cos\left(\theta_i - \theta_k\right),\ i = h + g,\ \ h \in [1, n - g]; \tag{9}$$

$$R_{h,j}^{c,c} = B_{i,k} \cos\left(\theta_i - \theta_j\right),\ h \neq j, i = h + g, k = j + g,\ \ h,\ j \in [1, n - g]; \tag{10}$$

$$q_i^{\Sigma g} = -B_{i,i} - 2\Delta u_i B_{i,i} - \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^{g} B_{i,k} \cos\left(\theta_i - \theta_k\right) -$$

$$-\Delta u_i \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^{n} B_{i,k} \cos\left(\theta_i - \theta_k\right) - \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^{g} \Delta u_k B_{i,k} \cos\left(\theta_i - \theta_k\right),\ \ i \in [1, g]. \tag{11}$$

$$g_i^{\Delta c} = -q_i^0 - B_{i,i} - \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^{n} B_{i,k} \cos\left(\theta_i - \theta_k\right) - \sum_{k=1}^{g} \Delta u_k B_{i,k} \cos\left(\theta_i - \theta_k\right),\ i \in [g + 1, n]. \tag{12}$$

Рассматривая уравнение (7) как произведение второго порядка, получим неизвестный вектор:

$$R^{cc} \Delta U^{c} = q, \tag{13}$$

который представляет собой линейную систему $(n–g)$ уравнений с $(n–g)$ неизвестными переменными ΔU^{c}:

$$\Delta U^{c} = R^{cc-1} q^{\Delta c}. \tag{14}$$

Предыдущее уравнение позволяет рассчитать напряжения в узлах нагрузки. Важно заметить, что порядок транспортировки матрицы R^{cc} равен $l \times l$, где l – число узлов нагрузки.

Получим выражение реактивной мощности выдаваемой генераторами:

$$q^{g} = q^{\Sigma g} - R^{gc}\Delta U^{c}, \qquad (15)$$

где ΔU^{c} – известно из уравнения (14).

На основе предложенного метода выполнены расчетные эксперименты для стандартной схемы IEEERTS-30, данные схемы и режима, которой приводятся подробно в работах [7, 8]. Данная схема располагает 13 генераторных агрегатов, 82 ветви и 30 узлов. Пик нагрузки – 442 МВт. Топология схемы с 30 узлами представлена на рис. 1.

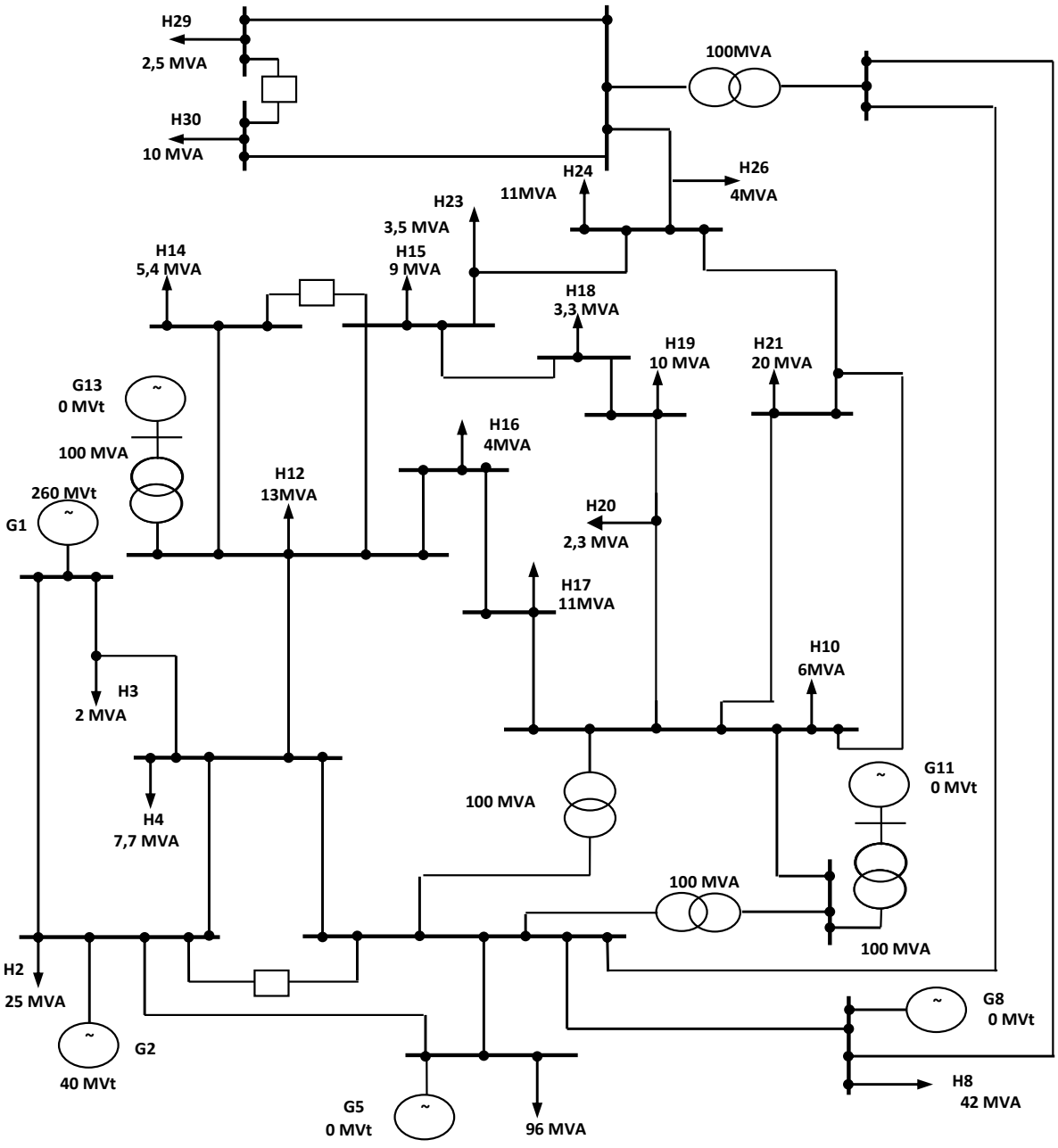


Рис. 1. Стандартная схема электрической сети IEEERTS-30

Проведены расчеты потокораспределения в рассмотренной сети без компенсации и с компенсацией реактивной мощности.

На рис. 2 показаны профили напряжения в узлах рассматриваемой сети до и после компенсации реактивной мощности. После компенсации напряжение в узлах находится в установленных пределах.

Погрешности напряжения и реактивной мощности составляют не более 1,5 и 10 % соответственно. Среднеквадратическая погрешность для напряжения 0,5 и 4,6 % для реактивной мощности. Включая время, необходимое для расчета потокораспределения, скорость исполнения алгоритма относительно известных методов было в 6–7 раз.

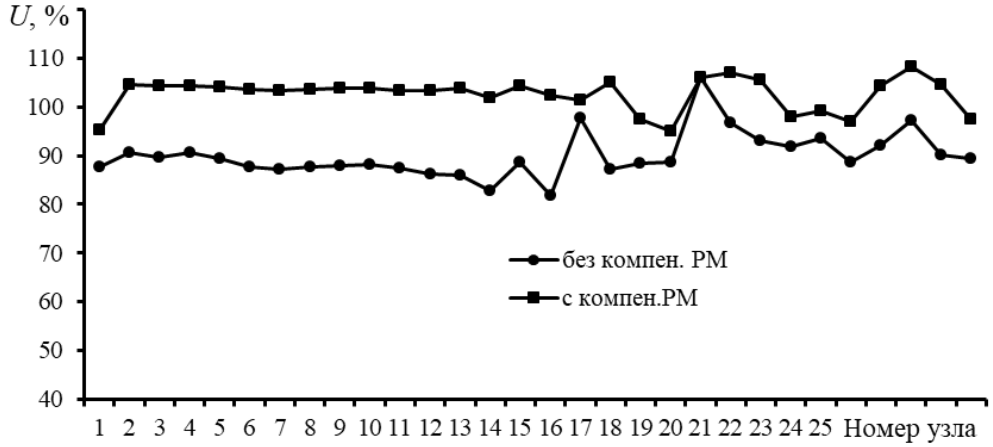


Рис. 2. Профили напряжения в узлах сети для до компенсации и после компенсации

Таким образом, метод линеаризации модели реактивной мощности позволяет быстро рассчитать напряжения в узлах, а также активные и реактивные мощности в ветвях. Метод эффективен при оценке надежности функционирования и оптимизации потокораспределения в электрической сети.

Источники

1. Probabilistic assessment of power system mode with a varying degree of wind sources integration / N.R. Rahmanov [et al.] // Methodological Problems in Reliability Study of Large Energy Systems (RSES 2017) / N. Voropai, S. Senderov, A. Michalevich and H. Guliev (Eds.). 2017. Vol. 25. URL: https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2017/13/e3sconf_rses2017_02003.pdf (дата обращения: 03.10.18).

2. Гулиев Г.Б., Рахманов Н.Р. Вероятностное моделирование потокораспределения в энергосистеме с распределенной генерацией и возобновляемыми источниками // Электронное моделирование. 2016. Т. 38, № 5. С. 101–112.

3. Probabilistic security assessment for power system operations / J. McCauley [et al.] // Power Enginnering Society Ceneral Meeting. 2005. Vol. 1. P. 212–220.

4. Marconato R. Electric Power Systems. 2nd ed. Milano: CEI, 2004. Vol. 2. 858 p.

5. Pelacci P., Poli D., The influence of wind generation on power system realiablity and the possible use of hydrogen storages // Electric Power Systems, Research. 2010. Vol. 80, Is. 3. P. 249–255.

6. Kaye R., Wu F., Analysis of Linearized decoupled power flow approximations for steady-state security assessment // IEEE Transactions on Circuits and Systems. 1984. Vol. 31, № 7. P. 623–636.

7. Probing The New IEEE Reliability Test System (RTS-96): Hl-II Assessment / J.M.S. Pinheiro [et al.] // IEEE Transactions on Power Systems. 1998. Vol. 13, № 1. P. 171–176.

8. The IEEE Reliablity Test System – 1996. A report prepared by the Reliablity Methods Subcommittee / C. Grigg [et al.] // IEEE Transactions on Power Systems. 1999. Vol. 14, № 13. P. 1010–1020.

УДК 621.314

АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Айаал Николаевич Егоров[1], Александр Сергеевич Семёнов[2],
Яков Станиславович Харитонов[3]

[1,3]СТ «Алмазавтоматика» АК «АЛРОСА» (ПАО),
[2]МПТИ (ф) СВФУ им. М.К. Аммосова

[1]egorovan@alrosa.ru, [2]as.semenov@s-vfu.ru, [3]kharitonovyakov@gmail.com

Статья посвящена исследованиям электромагнитной совместимости при использовании систем частотно-регулируемого электропривода на промышленных предприятиях. Выбраны основные участки подземного рудника и обогатительной фабрики, имеющие в своем перечне электрооборудования мощный высоковольтный электропривод. Представлены результаты измерения показателей качества электроэнергии, которые подтверждают вклад частотно-регулируемого привода в ухудшение электромагнитной совместимости. Вместе с тем нельзя не упомянуть о появлении положительного экономического эффекта от внедрения таких систем. Сделаны заключения о целесообразности разработки методических рекомендаций по выбору, превентивной диагностике и ремонту высоковольтных преобразователей частоты.

Ключевые слова: электромагнитная совместимость, качество электроэнергии, частотно-регулируемый электропривод, преобразователь частоты, подземный рудник, обогатительная фабрика.

ANALYSIS OF ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY WHEN USING A FREQUENCY-REGULATED ELECTRIC DRIVE AT INDUSTRIAL ENTERPRISES

Ayaal Nikolaevich Egorov, Alexander Sergeevich Semenov,
Jacob Stanislavovich Kharitonov

The article is devoted to studies of electromagnetic compatibility when using systems of variable frequency drives in industrial enterprises. The main areas of the underground mine and concentration plant were selected, which have a powerful high-voltage electric drive in their list of electrical equipment. The results of measuring the quality of electricity, which confirm the contribution of the frequency-controlled drive to the deterioration of electromagnetic compatibility, are presented. At the same time, it is impossible not to mention the appearance of a positive economic effect from the introduction of such systems. Conclusions about the feasibility of developing guidelines for the selection, preventive diagnostics and repair of high-voltage frequency converters.

Key words: electromagnetic compatibility, power quality, variable frequency drive, frequency converter, underground mine, concentrator.

Качество электрической энергии характеризуют термином «электромагнитная совместимость», под которым понимают способность электрического приёмника нормально функционировать в его электромагнитной среде (в электрической сети, к которой он присоединен), не создавая недопустимых электромагнитных помех для других электрических приёмников, функционирующих в той же среде [1].

Проблема электромагнитной совместимости электроприёмников с питающей сетью на промышленных предприятиях возникла в связи с широким использованием мощных преобразователей частоты, дуговых сталеплавильных печей, сварочных установок, энергосберегающих ламп освещения, которые при всей своей экономичности и технологической эффективности оказывают отрицательное влияние на качество электроэнергии [2, 3].

Для анализа электромагнитной совместимости при использовании частотно-регулируемого привода (ЧРП) выберем ряд основных участков подземного рудника и обогатительной фабрики и проанализируем измеренные показатели качества электроэнергии с 2013 по 2017 гг. Объектами исследования станут системы частотно-регулируемого электропривода скиповой подъемной установки и вентилятора главного проветривания рудника, пульпонасосной установки обогатительной фабрики и шаровой мельницы закладочного комплекса.

Скиповая подъемная установка (СПУ) рудника обеспечивает доставку груза и людей в/из шахты под землю и на поверхность, приводится в движение двигателем постоянного тока с независимым возбуждением мощностью 1250 кВт под управлением тиристорного выпрямителя DCS600 и относится к электропотребителям первой категории по бесперебойности электроснабжения. Измерения показателей качества электроэнергии (ПКЭ) на СПУ проводились на протяжении 2013 года с помощью разработанной и внедренной на руднике системы непрерывного мониторинга ПКЭ [4]. В результате накопления и анализа данных было выявлено систематическое превышение допустимой величины искажения формы кривой напряжения (не синусоидальность), а также превышение допустимых значений коэффициентов 23, 25, 35, 37 гармонических составляющих (рис. 1).

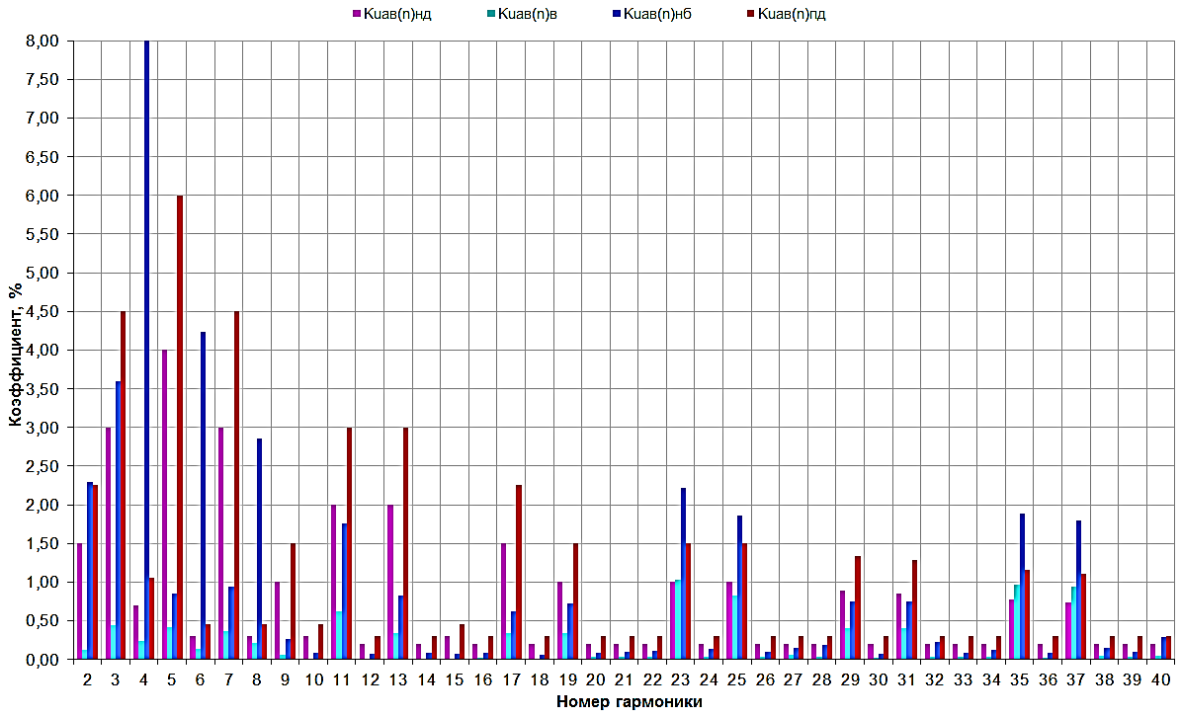


Рис. 1. Коэффициенты гармонических составляющих межфазных напряжений

Шаровая мельница технологического закладочного комплекса используется для измельчения (подготовки) материала для закладки выработанного пространства на добычных участках рудника. Мельница оснащена синхронным двигателем мощностью 1000 кВт и (с недавних пор) преобразователем частоты ACS2000. До внедрения в систему электропривода шаровой мельницы высоковольтного преобразователя частоты (измерения 2014–2015 гг.) при её запуске наблюдались не только превышения пускового тока и провалы напряжения, это приводило к отключению питающих ячеек и вывода из работы другого основного оборудования (рис. 2) [5, 6], что вызывало простои оборудования и необоснованные затраты.

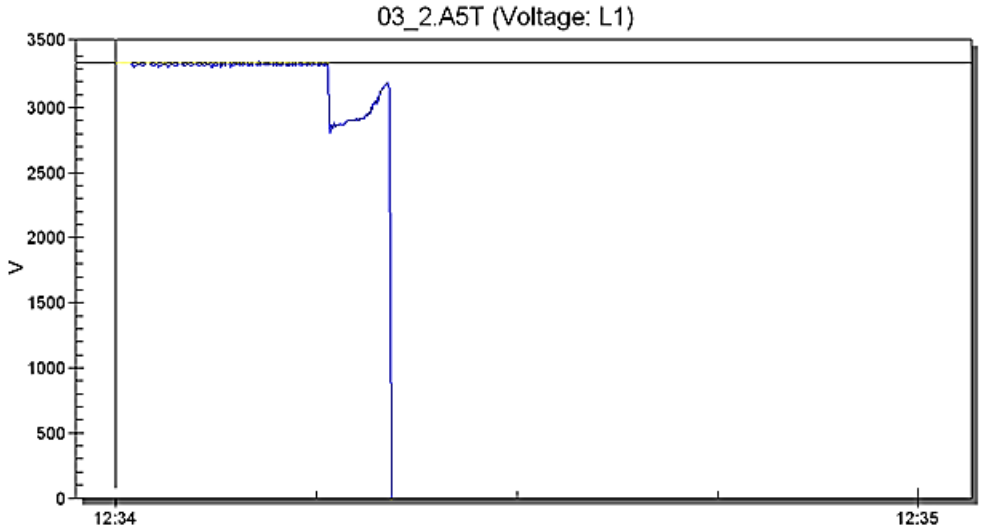


Рис. 2. Запуск шаровой мельницы при работающих подъемных установках и клинкерной мельнице

Главная вентиляторная установка (ГВУ) рудника обеспечивает подземную его часть свежим воздухом и является одним из самых мощных единичных потребителей электроэнергии на руднике, её мощность составляет 2000 кВт. Она приводится в движение асинхронным двигателем, управляемым высоковольтным преобразователем частоты (ВПЧ) Power Flex 7000. До замены на новые агрегаты, которая произошла в 2016 г., ГВУ приводилась в движение синхронным двигателем и управлялась синхронным высоковольтным преобразователем частоты (ПЧВС), который к этому времени морально устарели. В конце 2016 г. после окончания внедрения новой системы электропривода ГВУ результаты замеров потребляемой мощности, конечно же, показали существенную экономию электроэнергии за счет использования более современной системы автоматического регулирования [7]. В это же время результаты контроля качества электроэнергии показали, что коэффициент искажения кривой напряжения при работе ВПЧ практически достигает значения 42 %, что не соответствует требованиям ГОСТ-32144 (рис. 3) [8].

Пульпонасосная установка (ПНУ) обогатительной фабрики служит для оборотного водоснабжения водно-шламового хозяйства и состоит из насоса, преобразователя частоты ACS5000 и асинхронного двигателя мощностью 1600 кВт [9]. Преобразователь частоты ACS5000 серийно выпускается широко известной корпорацией ABB и является уникальным продуктом на рынке высоковольтных преобразователей частоты, так как он сочетает в себе ряд инновационных технических решений [10]. С целью анализа влияния ВПЧ на питающую сеть на вводной высоковольтной

ячейке проводился инструментальный контроль показателей качества электроэнергии. Контроль параметров электрической энергии производился в соответствии с ГОСТ-32144 в течение 7 суток с 10 минутным интервалом в конце 2017 года. Анализ результатов (рис. 4) показал, что суммарный коэффициент гармонических составляющих варьируется от 2,4 % до 6,6 %, то есть 100 % измерений не выходят за пределы значения 8%, что соответствует требованиям ГОСТ-32144, но 21,5 % измерений суммарного коэффициента гармонических составляющих напряжения превышают значение 5 %, что говорит о несоответствии требованиям ГОСТ-32144.

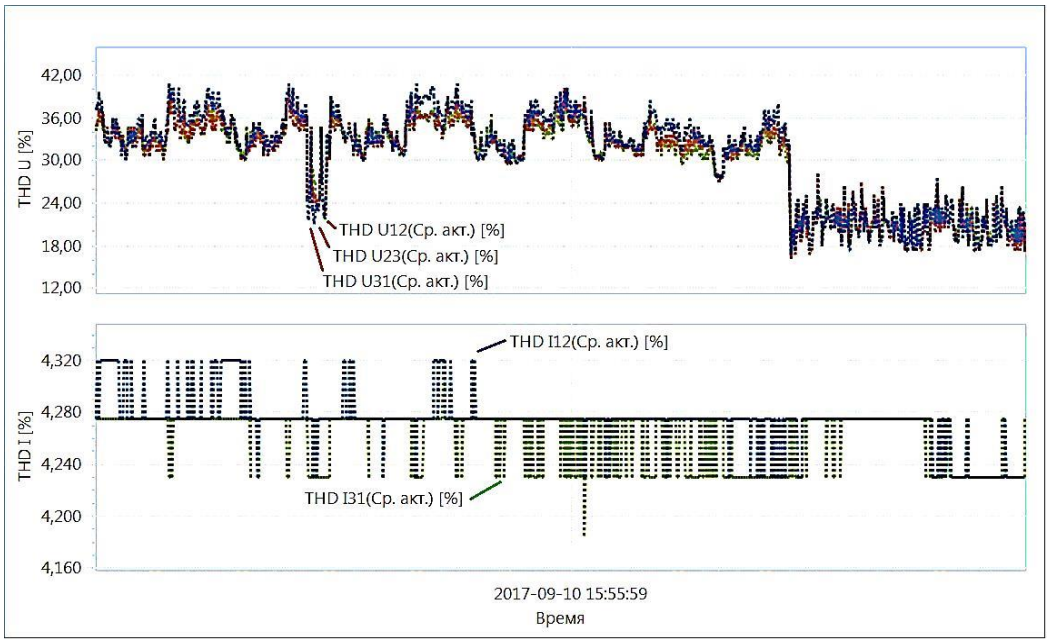


Рис. 3. Графики суммарных коэффициентов искажения кривых напряжения и токов на входе преобразователя частоты Power Flex 7000

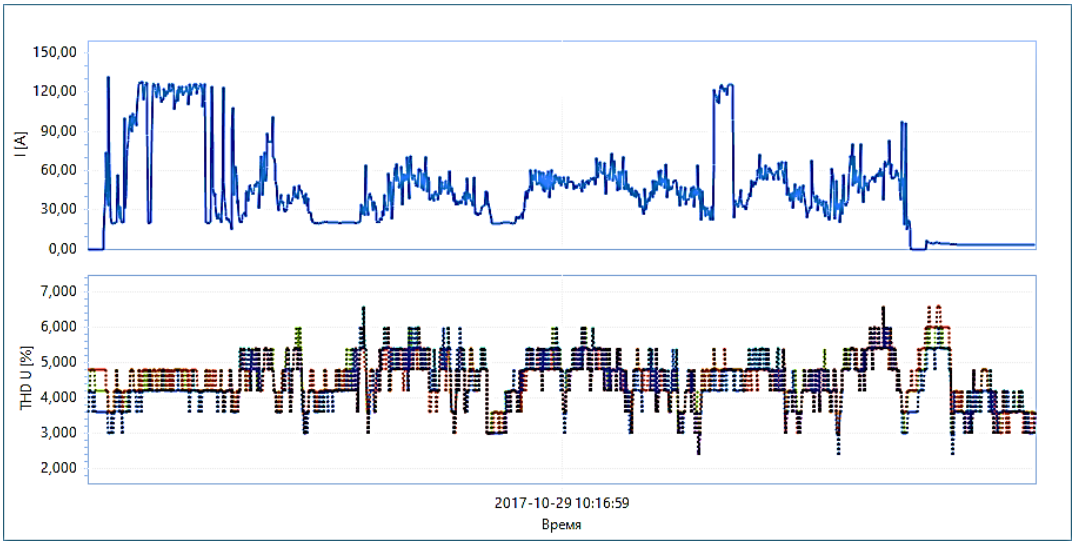


Рис. 4. Графики изменения потребляемого тока и суммарного коэффициента искажения формы кривой напряжения

Однако, если сопоставить график изменения потребляемого системой электропривода тока с графиком изменения суммарного коэффициента гармонических составляющих напряжения, можно заметить, что уже до начала работы электропривода питающее напряжение искажено. При этом суммарный коэффициент гармонических составляющих напряжения достигает значения 4 %. Последнее говорит о том, вклад в искажение кривой напряжения питающей сети преобразователя частоты ACS5000 сравнительно незначительный, что подтверждает оправданность применения сложной схемы преобразования [10].

Исходя из вышеизложенного, можно сделать следующие выводы об использовании частотно-регулируемого привода на установках промышленных предприятий.

1. В результате внедрения ЧРП получаем положительный экономический эффект за счет снижения затрат на обслуживание и ремонт электрооборудования и экономии электроэнергии.

2. В ходе эксплуатации таких систем наблюдаем ухудшение ПКЭ питающей сети, вызванные искажением формы кривой напряжения, появление не синусоидальности кривой напряжения и тока, отклонение коэффициентов гармонических составляющих от требуемых норм.

В заключение стоит отметить, что не все преобразователи частоты вносят значительный вклад в ухудшение электромагнитной совместимости, но при этом такие модели будут иметь более высокую стоимость. В связи с этим на крупных промышленных предприятиях имеется необходимость разработки собственных методических рекомендаций по выбору, превентивной диагностики и ремонту мощных высоковольтных преобразователей частоты, которые позволят обоснованно выбирать системы ЧРП для конкретных технологических установок [11–12].

Источники

1. Мониторинг показателей качества электрической энергии в системах электроснабжения горных предприятий: монография / И.И. Карташев [и др.]. М.: Перо, 2013. 142 с.

2. Сарваров А.С., Шевырёв Ю.В., Фёдоров О.В. Оценка эффективности затрат на повышение энергетических показателей в сетях с полупроводниковыми преобразователями // Вестник Южно-Уральского государственного университета. 2015. Т. 15, № 3. С. 11–19. (Сер. «Энерегетика»).

3. Федоров О.В., Сарваров А.С., Петушков М.Ю. Электромагнитная совместимость пусковых устройств для электроприводов переменного тока с питающей сетью // Научные труды Винницкого национального технического университета. 2015. № 4. С. 18–21.

4. Кузнецов Н.М., Семёнов А.С. Разработка системы мониторинга для измерения показателей качества электроэнергии на горных предприятиях // Фундаментальные исследования. 2013. № 4-2. С. 295–299.

5. Результаты мониторинга показателей качества электрической энергии потребителей подземного рудника / Н.М. Кузнецов [и др.] // Горный журнал. 2014. № 1. С. 23–26.

6. Семенов А.С., Кузнецов Н.М. Анализ результатов мониторинга показателей качества электрической энергии в подземном руднике // Измерительная техника. 2014. № 4. С. 31–34.

7. Матул Г.А., Семёнов А.С. Анализ аппаратных и программных решений в программируемых логических контроллерах ведущих мировых производителей // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2018. № 7. С. 32–36.

8. Егоров А.Н., Семёнов А.С., Федоров О.В. Практический опыт применения преобразователей частоты POWER FLEX 7000 в горнодобывающей промышленности // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2017. № 4(119). С. 86–93.

9. Егоров А.Н., Парфенов В.О., Семёнов А.С. Оценка энергосбережения при применении частотно-регулируемого электропривода на пульпонасосных установках в условиях обогатительных фабрик // Актуальные проблемы электроэнергетики: сб. науч.-техн. ст. Н.Новгород, 2018. С. 174–180.

УДК 621.313.333

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ВРАЩЕНИЯ БЕЗОПОРНОГО РОТОРА ДИСКОВОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Сергей Сергеевич Ерошин[1], Надежда Васильевна Махортова[2],
Татьяна Валерьевна Победа[3]

ГОУ ВПО ЛНР «ЛНУ им. В. Даля», г. Луганск

[1]sergey.yeroshin@gmail.com, [2]makhortova_n@mail.ru, [3]pobeda-tatyana@rambler.ru

Предложено использовать дисковый асинхронный электродвигатель для создания устойчивого вращательного движения кольцевого инструмента станка при механической обработке детали.

Ключевые слова: дисковый асинхронный электродвигатель, кольцевой ротор, преобразователь частоты, обмотка статора, магнитное поле, вращение.

STUDY OF THE STABILITY OF ROTATION OF A SAFE ROTOR OF A DISK ASYNCHRONOUS MOTOR

Sergey Sergeevich Eroshin, Nadezhda Vasilyevna Makhortova, Tatyana Valeryevna Victory

It is proposed to use a disk asynchronous electric motor to create a stable rotational movement of the ring tool of the machine during machining of the part.

Key words: disk asynchronous electric motor, ring rotor, frequency converter, stator winding, magnetic field, rotation.

Перспективным направлением современного машино- и приборостроения является создание машин и приборов с прямым приводом инструмента или рабочего органа. При этом кинематические цепи существенно сокращаются за счет исключения из конструкции традиционных механических передач, редукторов, шпинделей и других подобных узлов. В результате габариты, масса, энергопотребление машин уменьшаются; машины становятся более надежными и долговечными.

Работоспособность и надежность станков и приборов с кольцевыми роторами без механических опор во многом зависят от устойчивости вращения рабочего органа и его способности воспринимать внешние нагрузки.

Применение дискового асинхронного электродвигателя (ДАД), позволит привести кольцевой инструмент в устойчивое вращательное движение и удерживать в пространстве без механических опор и электрических контактов за счет сил магнитного поля. Такая электрическая машина повысит эффективность конструкции прямого привода за счет совмещения функций ротора электродвигателя и инструмента или рабочего органа технологической машины [1].

Для проверки методов по повышению устойчивости свободного кольцевого ротора ДАД изготовлена универсальная экспериментальная установка [2], внешний вид которой представлен на рисунке.

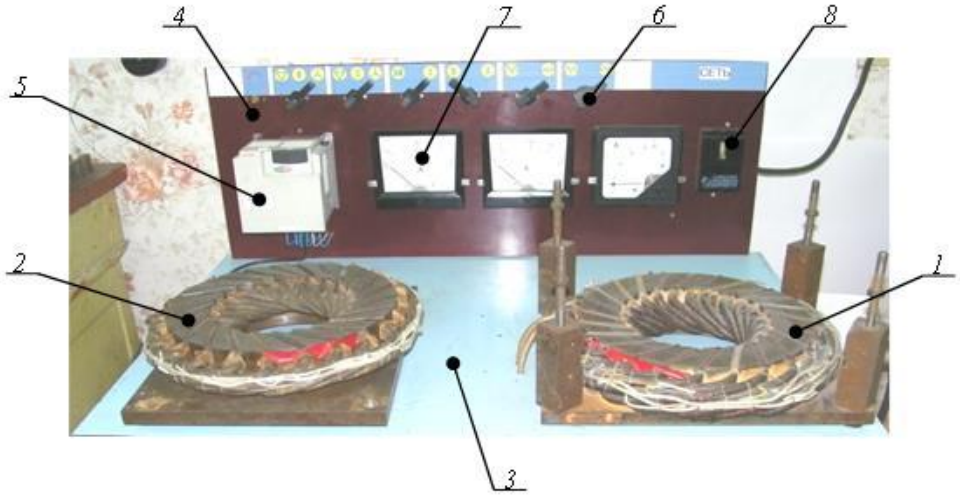


Рис. 1. Универсальная экспериментальная установка: *1* – статор № 1; *2* – статор № 2; *3* – основание; *4* – панель управления; *5* – преобразователь частоты FR-E540; *6* – переключатели; *7* – амперметры; *8* – выключатель

Применение преобразователей частоты дает возможность задавать частоту вращения ротора в диапазоне от 200 до 4000 об/мин; управлять параметрами движения ротора посредством ПК; плавно разгонять ротор, что снижает вероятность потери его устойчивости; плавно осуществлять торможение ротора без применения дополнительных устройств; регулировать напряжение питания обмоток статоров; задавать время разгона ротора до требуемой частоты вращения и время торможения (от 1 с. до 1000 с.).

Источники

1. Yeroshin S. Improving the stability rotation ring rotor without mechanical supports // TEKA Commission motorization and power industry in agriculture. Polish Academy Of Sciences branch in Lublin, 2011. Vol. 11 A. P. 282–289.

2. Ерошин С.С., Мирошник С.А. Расчет механической характеристики дискового асинхронного двигателя со свободным ротором // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2012. № 1/8(55). С. 48–53.

УДК 620.315.541

ОБ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ $TlIn_{1-x}Ce_xTe_2$ ($0 \le x \le 0{,}07$) В СИЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЯХ

Махамедали Мазахир оглы Зарбалиев[1], Казимир Иосифович Янушкевич[2],
Бархал Щабан оглы Бархалов[3], Маис оглы Исмаилов[4],
Хаяля Вагиф оглы Алигулиева [5]

[1,4,5]СГУ, г. Сумгаит, Азербайджан,
[2]НПЦ НАН Беларуси по материаловедению, Беларусь,
[3]Институт Физики НАН Азербайджана, Баку

[1,2,3,4,5]zarbalievmm51@mail.ru

В работе изложены специфические особенности кристаллической решетки TISe и принцип получения полупроводниковых халькоиндианатов таллия и сплавов на их основе с редкоземельными элементами. Обсуждены результаты исследования температурных и полевых зависимостей коэффициента электропроводности твердых растворов $TlIn_{1-x}Ce_xTe_2$ ($0 \le x \le 0{,}07$) в сильных электрических полях, выявлен конкретный механизм электропереноса в данных полупроводниковых материалах.

Ключевые слова: полупроводниковые твердые растворы, коэффициент электропроводности, сильное электрическое поле, термоэлекронная ионизация.

ON THE ELECTRICAL CONDUCTIVITY OF SEMICONDUCTOR SOLID SOLUTIONS TlIn1-XCeXTe2 (0≤*x*≤0.07) IN STRONG ELECTRIC FIELDS

Mahamedali Mazahir ogly Zarbaliyev, Kazimir Iosifovich Yanushkevich,
Barhal Shaban oglu Barkhalov, Mayis oglu Ismailov
Khayalya Vagif ogly Aliguliyeva

The paper describes the specific features of the TISe crystal lattice and the principle of producing semiconductor chalcoconindians of thallium and alloys based on them with rare-earth elements. The results of a study of the temperature and field dependences of the coefficient of electrical conductivity of TlIn1-XCeXTe2 solid solutions (0≤X≤0.07) in strong electric fields are discussed, a specific mechanism of electrical transfer in these semiconductor materials is revealed.

Key words: semiconductor solid solutions, coefficient of conductivity, strong electric field, thermoelectron ionization.

Появление 4*f*-электронов в начале ряда лантаноидов означает, что заряд ядра становится достаточно большим для того, чтобы удерживать их на этой орбите. Можно предположить, что 4*f* -электроны должны оккупировать самые дальние орбитали, однако все факты указывают на то, что они расположены внутри 5*s*-оболочек. 4*f*-оболочки достаточно компактны и хорошо экранируются близко к ним расположенными замкнутыми 5*s*5*p*-оболочками, так что прямое перекрытие 4*f*-электронов соседних ионов оказывается пренебрежимо малым. Поэтому имеет место косвенные взаимодействия, в которых участвуют 6*s*6*p*5*d*- электроны, а также электроны замкнутых 5*s*5*p*-оболочек. Самые наружные 6*s*6*p*5*d*-электроны образуют полосу (зону) проводимости, оставляя редкоземельные элементы в твердом теле трехвалентными. Свойства этой полосы определяют их электрические, оптические свойства и явления переноса.

Известно, что особые и весьма интересные свойства редкоземельных элементов в первую очередь связаны с особенностями структуры электронной оболочки атомов данных веществ, а именно с наличием в этой оболочке достраивающегося глубинного 14-местного 4*f*-слоя [1] .

Конфигурация ионов лантанидов имеет в своей основе структуру ксенона $\left(1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^6 4d^{10} 5s^2 5p^6\right)$ и сверх нее электроны на частично заполненной 4*f*-оболочке и два или три внешних электрона $\left(6s^2 \text{ или } 5d\,6s^2\right)$. Появление 4*f*-электронов в начале ряда лантанидов означает, что заряд ядра становится достаточно большим для того, чтобы удерживать их на этой орбите. Можно было предположить, что 4*f*-электроны должны оккупировать самые дальние орбитали, однако все с очевидностью

указывает на то, что они расположены внутри 5*s*- оболочек. 4*f*-оболочки достаточно компактны и хорошо экранируется близко к ним расположенными замкнутыми 5*s*5*p*-оболочками, так что прямое перекрытие 4*f*-электронов соседних ионов оказывается пренебрежимо малым. Поэтому имеют место косвенные взаимодействия, в которых участвуют 6*s*6*p*5*d*-электроны, а также электроны замкнутых 5*s*5*p*-оболочек. Самые наружные 6*s*6*p*5*d*-электроны, образуют полосу (зону) проводимости, оставляя редкоземельные в твердом теле трехвалентными. Свойства этой полосы определяют их электрические, оптические свойства и явления переноса.

В решетках TISe атомы таллия проявляют переменную валентность. Благодаря особой электронной конфигурации и объемным данным соответствующих металлических компонентов, решетки $TISe \rightarrow TI^{+}\left[TI^{3+}Se_2\right]$ оказываются составленными из двух самостоятельных структурных единиц – восьмивершинника, с ионным характером связи $M^{I}–X\left(TI^{+}–Se\right)$ и тетраедра. С точки зрения пространственно-геометрических соображений определяющим из них является восьмивершинник, а с точки зрения химической связи – тетраэдр. Следовательно, ответственными в формировании кристаллических решеток данного типа являются одновалентные ионы таллия и индия в октоэдрах, в то время как полупроводниковые особенности соединений с данной структурой определяются, главным образом, трехвалентными ионами $\left(TI^{3+}, In^{3+}\right)$ в тетраэдрах [2–6].

Характерной особенностью кристаллов твердых растворов $TIIn_{1-x}Ce_xTe_2$ является наличие в их кристаллической решетке стехиометрических вакансий с высокой концентрацией и связанных с ними локализованных состояний в запрещенной зоне [3, 4], и эта величина растет с ростом относительного количества лантанидов в составе твердых растворов. Образование твердых растворов приводит к изменениям электронной и решеточной подсистем кристалла, вызывая статическую деформацию решетки и возмущение электронного спектра. С ростом концентрации вакансий в твердом растворе среднее расстояние между атомами растворенного вещества $TICeTe_2$ достигает значений, при которых межпримесное взаимодействие начинает вносить заметный вклад в энергию кристалла растворителя $TIInTe_2$, и это приводит к появлению принципиально новых свойств, не характерных для исходного материала [6].

При высоких концентрациях примесей зона расщепляется, примесные уровни приближаются ко дну зоны проводимости, сливаются с ним и исчезают все наблюдаемые особенности. В этих кристаллах ширина запрещенной зоны достаточно велика, концентрация носителей заряда для исходных

кристаллов мала, они легко легируются и небольшие отклонения от стехиометрии также создают акцепторные уровни. Для подтверждения наличия в них акцепторной зоны были анализированы кривые $R_x(T)$, $\alpha(T)$ и $\sigma(T)$, результаты которых хорошо согласуются со значениями, полученными на основании данных электрических свойств в сильных электрических полях [8]. Характер зависимости электропроводности для всех образцов, наблюдаемый в широком интервале температур и полей, свидетельствует об экспоненциальном росте электропроводности в зависимости от напряженности электрического поля. Экспериментальные данные по изменению электропроводности исследованных образцов в сильных электрических полях объясняются теорией Френкеля, по которой при термоэлектронной ионизации энергия активации носителей заряда линейно уменьшается с ростом напряженности поля:

$$\Delta E = \Delta E_g - 2e\sqrt{e\,E/\varepsilon} = \Delta E_g - \Delta E_n, \qquad (1)$$

где ΔE_g – энергия активации в отсутствии электрического поля, E – изменение энергия активации под влиянием электрического поля.

По зависимостям энергии активации носителей заряда от напряженности электрического поля методом экстраполяции были найдены значения энергии активации носителей заряда в отсутствии электрического поля для различных составов твердых растворов $TlIn_{1-x}Ce_xTe_2$.

Исследование электропроводности монокристаллов твердых растворов $TlIn_{1-x}Ce_xTe_2$ показало, что проводимость в направлении параллельном слоям ($\sigma_\parallel$), намного больше, чем в направлении, перпендикулярном к слоям тетраэдров ($\sigma_\perp$). Установлено, что отношение $\sigma_\parallel/\sigma_\perp$ в твердых растворах $TlIn_{1-x}Ce_x\,Te_2$ с ростом напряженности электрического поля и с уменьшением температуры увеличивается. Это означает, что $\sigma_\parallel$ слабее зависит от температуры, чем $\sigma_\perp$, что подтверждает рассуждения о структуре и химических связях в исследованных образцах.

Полученные результаты можно интерпретировать с позиции теории Френкеля-Пула, которая дает основание полагать, что рассмотренные зависимости электропроводности σ, энергии активации ΔE и коэффициента β от напряженности электрического поля и температуры в сильных электрических полях обусловлены увеличением концентрации носителей заряда в твердых растворах $TlIn_{1-x}Ce_x\,Te_2$ за счет действия механизма термоэлектронной ионизации [6].

Источники

1. Тейлор К., Дарби М. Физика редкоземельных соединений. М.: Мир. 1974, 376 с.

2. Получение четверных сплавов типа TISe с редкоземельными элементами / Э.М. Годжаев [и др.] // Физика, химии. 1975. Т. 49. С. 2458–2459.

3. Зарбалиев М. М. Твердые растворы замещения в системе $TIInTe_2$ – $TIYbTe_2$ // Неорганические материалы. 1999. № 35. С. 560–564.

4. Термоэлектрические свойства $TIIn_{1-x}Yb_xTe_2(0 \le x \le 0{,}10)$ / Ф.Ф. Алиев [и др.] // Известия НАНА. Физика и астрономия. 2017. № 2. С. 49–55.

5. Об электрических свойствах твердых растворов $TlIn_{1-x}Ce_xTe_2$ / М.М. Зарбалиев [и др.] // Актуальные проблемы физики твердого тела: тр. VIII Междунар. науч. конф. 2018. Т. 1. С. 293–235.

6. Зарбалиев М.М., Годжаев Э.М., Алиев Ф.Ф. Полупроводниковые халькоиндианаты таллия и сплавы на их основе с редкоземельными элементами // Актуальные вопросы прикладной физики и энергетики: матер. Междунар. науч. конф. 2018. С. 22–27.

УДК 621.311.04

СИНТЕЗ ЦИФРОВОГО ФИЛЬТРА ВНУТРЕННЕГО КОНТУРА СИСТЕМЫ ГАЗОАНАЛИЗАТОРА

Айрат Рустемович Имамиев[1], Олег Владиславович Погодицкий[2]

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

[1,2]Airat-imamiev@yandex.ru

Расчёт и моделирование неизменяемой части системы, оптимизация процессов внутреннего контура с применением ПИ-фильтра, синтез и дискретная аппроксимация цифрового фильтра измерительного контура (ФИК). Определен алгоритм работы ФИК методом непосредственного программирования.

Ключевые слова: синтез, дискретная аппроксимация, цифровой фильтр, рабочая программа.

SYNTHESIS OF THE DIGITAL FILTER OF THE INTERNAL CIRCUIT GAS ANALYZER SYSTEMS

Ayrat Rustemovich Imamiev1, Oleg Vladislavovich Pogoditsky

Calculation and modeling of the invariable part of the system, process optimization internal circuit using a PI filter, synthesis and discrete approximation digital filter measuring circuit (FIC). The FIC algorithm is defined direct programming method.

Key words: synthesis, discrete approximation, digital filter, work tea program.

Структурная схема динамической модели астатической системы измерения температуры представлена на рис. 1.

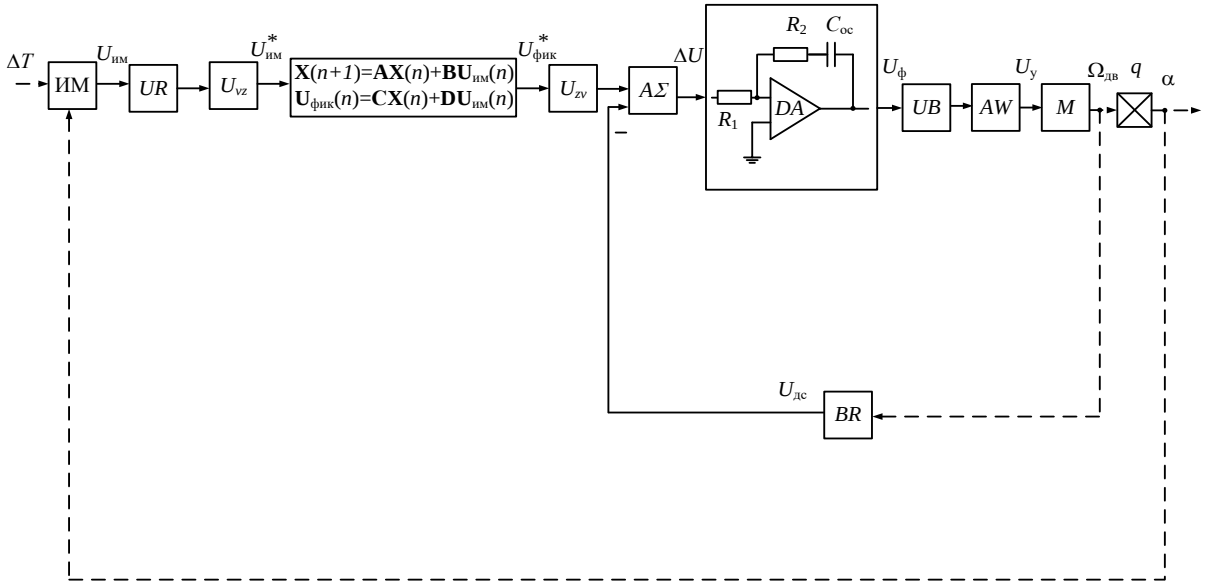


Рис. 1. Структурная схема динамической модели астатической системы газоанализатора

Система состоит из измерительного моста ИМ, демодулятора *UR*, аналого-цифрового преобразователя АЦП U_{VZ}, микропроцессора, в котором реализован алгоритм работы фильтра измерительного контура ФИК, цифроаналогового преобразователя ЦАП U_{VZ}, суммирующего усилителя $A\Sigma$, аналогового фильтра внутреннего контура *DA*, модулятора *UB*, блока питания *AW*, двухфазного асинхронного двигателя *M*, редуктора и датчика скорости.

Принцип действия системы заключается в следующем. При изменении концентрации газа от требуемого значения на величину ΔT изменяется сопротивление терморезистора, который включен в одно из плеч ИМ. Наступает разбаланс ИМ и на его выходе формируется сигнал переменного тока $U_{\text{им}}$ пропорциональный величине ΔT. Сигнал $U_{\text{им}}$ подается на демодулятор, который формирует медленноменяющийся сигнал, величина которого пропорциональна амплитуде входного сигнала, а знак соответствует его фазе.

АЦП U_{VZ} преобразует сигнал с выхода демодулятора *UR* в двоичный цифровой код. Микропроцессор ФИК обеспечивает точность измерения за счет оптимизации процессов измерительного контура. Сигнал с выхода микропроцессора ФИК $U_{\text{ФИК}}$ подается на ЦАП, где преобразуется

в непрерывный сигнал, который поступает на суммирующий усилитель $A\Sigma$. на выходе $A\Sigma$ формируется сигнал рассогласования внутреннего контура скорости ΔU, пропорциональный разности:

$$\Delta U = U_{\text{ФИК}} - U_{\text{ДС}},$$

где $U_{\text{ДС}}$ – сигнал снимаемый с выхода датчика скорости *BR*.

BR образует отрицательную обратную связь внутреннего контура. Сигнал рассогласования поступает на вход пропорционально-интегрального (ПИ) аналогового фильтра. ПИ фильтр реализован на операционном усилителе *DA* с помощью элементов R_1, R_2 и $C_{\text{ос}}$. ПИ-фильтр обеспечивает оптимизацию процессов внутреннего контура с целью получения требуемых показателей качества.

Демодулятор *UB* формирует на выходе управляющий сигнал на переменном токе, амплитуда которого пропорциональна величине сигнала $U_{\text{ф}}$, а фаза соответствует его знаку.

Блок питания *AW* усиливает управляющий сигнал по мощности необходимый для приведения в действие микродвигателя *M*. Нагрузкой блока питания является обмотка управления. Кроме того, двигатель имеет обмотку возбуждения с конденсатором $C_{\text{в}}$ в цепи. Двигатель через редуктор поворачивает вал на угол α пропорциональный изменению температуры ΔT. Поворот α фиксируется регистрирующим прибором. Вал микродвигателя кинематически связан с подвижным контактом реохорда (переменного сопротивления), который осуществляет балансировку измерительного моста.

В нашем случае для реализации данной схемы был выбран двигатель ЭМ-25М, основные технические характеристики которого приведены в таблице.

Основные технические характеристик двигателя ЭМ-25М

Тип	P, Вт	n, об/мин	f, Гц	$U_{\text{у}}$, В	$M_{\text{дв}}$, Г/см	$M_{\text{п}}$, Г/см	$d_{\text{рот}}$, мм	$m_{\text{рот}}$, кг
ЭМ-25м	25	4200	50	36	570	900	6	0,16

Был проведён синтез аналогового ПИ-фильтра внутреннего контура и его моделирование. Далее проведена дискретная аппроксимация ПИ-фильтра и построена соответствующая цифро-аналоговая Simulinc-модель внутреннего контура, представленная на рис. 2.

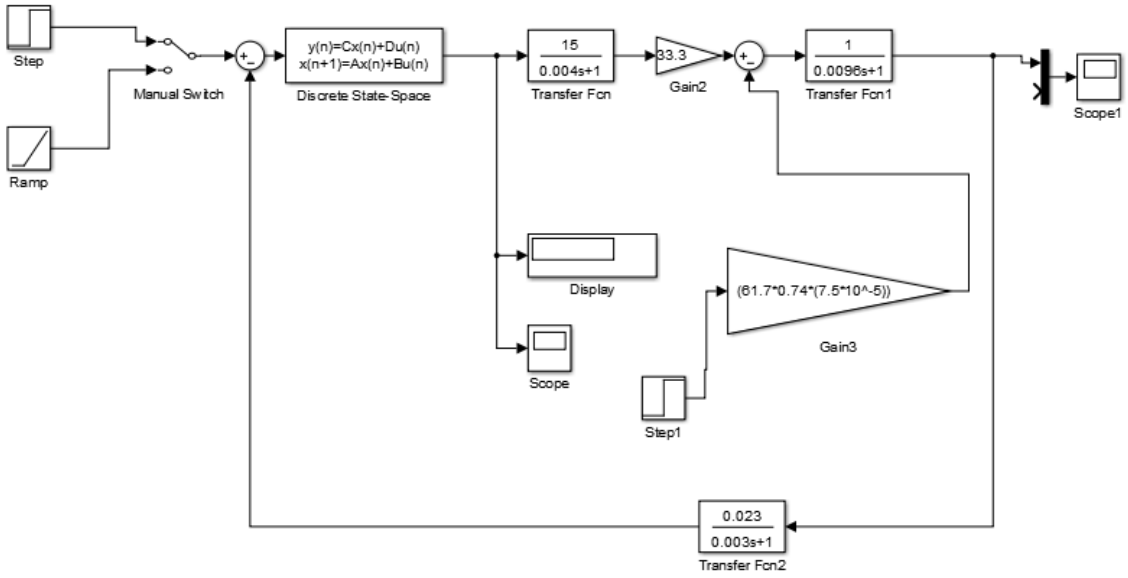


Рис. 2. Simulinc-модель внутренного контура с цифровым ПИ-фильтром

Данные моделирования представлены на рис. 3.

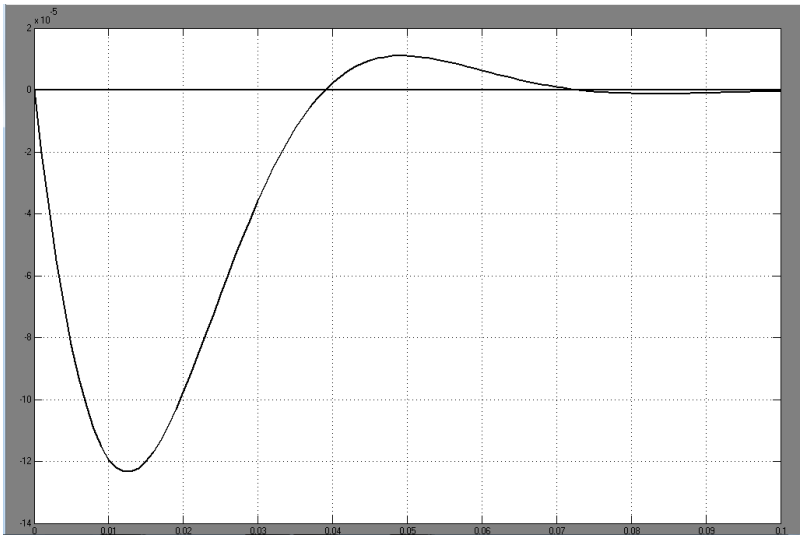


Рис. 3. Данные моедоирваония

Из рис. 3 видно, что ошибка системы измерения значений измерений равна нулю.

Источники

1. Малев Н.А. Расчет и исследование астатического электропривода малой мощности: практикум по дисциплине «Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов». Казань: КГЭУ, 2011. 112 с.

2. Расчёт и моделирование электроприводов с регуляторами различной конфигурации: лаб.практикум / О.В. Погодицкий [и др.]. Казань: КГЭУ, 2015. 155 с.

УДК 621.313.3

МАТРИЧНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ЧАСТОТЫ

Дмитрий Андреевич Клянченков

ФГБОУ ВО «УлГТУ», г. Ульяновск

klyanchenkov.dmitrij@mail.ru

Работа посвящена исследованию асинхронного электропривода на базе матричного преобразователя частоты, представляющего собой комбинацию виртуального активного выпрямителя и виртуального автономного инвертора напряжения с непосредственным управлением по методу пространственно-векторной модуляции.

Ключевые слова: матричный преобразователь частоты, асинхронный двигатель, автономный инвертор напряжения, активный выпрямитель.

MATRIX FREQUENCY CONVERTERS

Dmitry Andreevich Klyanchenkov

The work is devoted to the study of an asynchronous electric drive based on a matrix frequency converter, which is a combination of a virtual active rectifier and a virtual autonomous voltage inverter with direct control by the method of space-vector modulation.

Key words: matrix frequency converter, asynchronous motor, autonomous voltage inverter, active rectifier.

В современном мире, где электропотребление в различных отраслях хозяйственной деятельности продолжает расти, а темпы роста генерирующих мощностей чаще всего не соответствуют нуждам потребителей, особо актуальной становится проблема качества и эффективности использования электроэнергии в автономных системах, в частности на транспортных средствах (судах, железнодорожном транспорте и др. В электроприводе эта проблема решается путем использования известных и разработкой инновационных преобразователей частоты, алгоритмов и систем их управления, которые должны обеспечивать экономичную и надежную работу электродвигателя.

Современный технический уровень в области силовой электроники и цифровых систем управления позволяет по новому подходить к решению озвученной выше проблемы. Давно известна и широко распространена классическая схема построения преобразователя частоты, в основе которой используется двухзвенное преобразование вида AC/DC/AC. Как правило, первичное преобразование AC/DC выполняется на основе неуправляемого или в редких случаях управляемого активного выпрямителя. Дальнейшее преобразование DC/AC выполняется на базе автономного инвертора

напряжения. Также известны схемы тиристорных преобразователей с непосредственной связью. Упомянутые схемы обладают рядом существенных недостатков, связанных с недостаточным уровнем электромагнитной совместимости с питающей электросетью.

Перспективным направлением в данной области стала разработка преобразователей частоты принципиально иной топологии, а именно, преобразователей матричного типа.

Матричная структура обеспечивает преобразование параметров источника переменного тока (амплитуды и частоты) в напряжение, необходимое для питания нагрузки, без накопления энергии в промежуточном звене постоянного тока. Такие преобразователи относятся к системам прямой передачи энергии от источника к нагрузке. Отсутствие конденсаторов большой емкости, занимающих от 30 до 50 % объема инвертора, позволяет создавать более эффективные преобразователи переменного тока. Кроме того, они могут работать в более широком диапазоне температур и иметь более долгий срок службы, так как отсутствуют электролитические конденсаторы, уязвимые при высоких температурах. В настоящее время матричные преобразователи находят применение в приводах переменного тока и в системах генерирования ветроэнергетических установок.

Выделяют следующие преимущества матричного преобразователя частоты (МПЧ) перед двухзвенными преобразователями частоты:

• двунаправленный обмен энергией между нагрузкой и сетью, что позволяет говорить о МПЧ как об энергосберегающей системе;

• однократное преобразование энергии;

• лучшие массогабаритные показатели.

В числе недостатков:

• большое число транзисторов;

• более сложное управление;

• низкий коэффициент передачи напряжения;

• сложность коммутации ключей.

В обычном преобразователе частоты входное переменное напряжение с помощью выпрямителя (диодного моста) преобразуется в напряжение постоянного тока, питающее в свою очередь выходной инверторный мост. А последний уже формирует выходной сигнал переменного тока, подаваемый на двигатель. Частота и напряжение переменного тока на выходе привода постоянно регулируются контуром управления, и, таким образом, двигатель выдает нужную скорость и крутящий момент.

Эта схема стала уже настолько привычной, что легко позабыть о целом ряде ее недостатков:

• мостовые выпрямители переменного тока передают высокий уровень гармоник обратно в источник питания (сеть), а также имеют низкий коэффициент мощности;

• звено постоянного тока между выпрямителем и инвертором требует применения громоздких электролитических конденсаторов. А они не только занимают много места, но и являются деталями, значительно сокращающими срок службы привода, поскольку со временем теряют емкость, особенно при эксплуатации привода в помещениях с повышенной температурой;

• в обычных конструкциях преобразователей частоты подача энергии однонаправленна, а значит, для торможения и режима рекуперации (возвращения энергии) требуется установка тормозного резистора. Т. е. драгоценная электроэнергия просто перерабатывается в бесполезный нагрев окружающего воздуха. Правда, существует решение с дополнительными блоками рекуперации, но оно повышает стоимость электропривода в 2–2,5 раза, увеличивает габариты и сложность системы, так как блок рекуперации представляет собой отдельное устройство со своей схемой управления.

Технология матричного преобразователя позволяет решить все эти насущные проблемы. В принципе новая технология не столь сложна: три фазы питания подключаются к двигателю посредством матрицы полупроводниковых двунаправленных переключателей (рис. 1). При упорядоченной работе этих переключателей напряжение и частота выходной мощности двигателя могут регулироваться с высокой точностью.

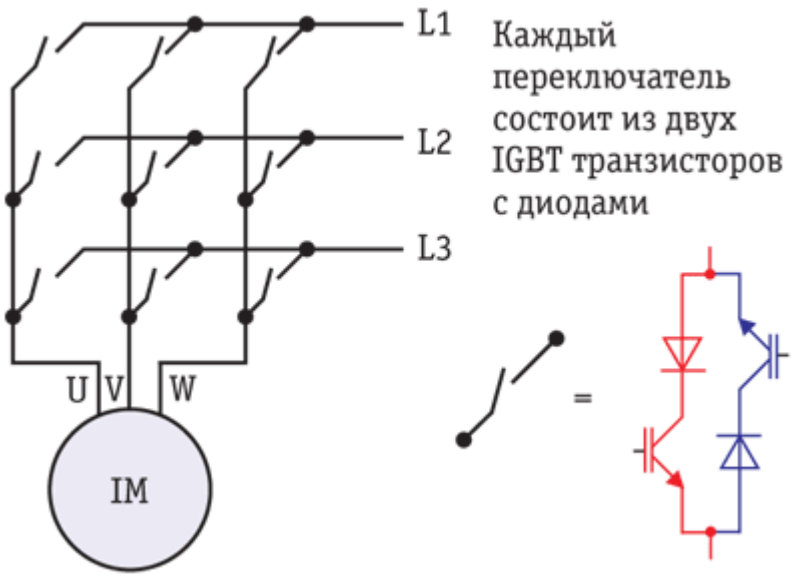


Рис. 1. Структурная схема матричного преобразователя

Матричный преобразователь принадлежит к группе преобразователей частоты с непосредственной связью (без промежуточного звена постоянного тока), (НПЧ). Исторически первыми появились именно НПЧ, но, к сожалению, из-за несовершенства силовой электроники того времени использовать их можно было крайне ограниченно. Причинами такого положения дел являлись: «резаная» синусоида на выходе, малый диапазон регулирования частоты и то, что частота выходного напряжения не могла быть выше или равна частоте питающей сети.

В настоящее время благодаря использованию последнего поколения биполярного транзистора с изолированным затвором (IGBT) НПЧ обрели новую жизнь. Предложенная компанией YASKAWA схема Matrix разрешает практически все стоящие до этого проблемы. Свое название Matrix берет из схемы силовой цепи, которая напоминает матричную систему. Каждый из переключателей на изображенной схеме состоит из двух IGBT, таким образом, в силовой схеме преобразователя используется 18 IGBT. Силовые ключи подключены так, что энергия может как подводиться к двигателю, так и отводиться обратно в сеть при торможении и рекуперации (на рис. 1 красным показано положительное направление тока, синим – отрицательное).

Благодаря свойствам матричных преобразователей частоты их с успехом можно применять в следующих устройствах и системах:

• подъемных механизмах и механизмах с возвратно-поступательным движением (лифты, краны, прессы, системы типа «летучий нож»);

• установках, требующих быстрой реакции на изменение задания или возмущение (вентиляторы печей и дымососы, дозаторы, испытательные стенды);

• центрифугах и дробилках с длительными режимами разгона и торможения и большими моментами инерции;

• системах с высокими требованиями к помехам (лаборатории, исследовательские и медицинские учреждения).

Исследование преобразователя частоты матричного типа при работе асинхронного двигателя

При проектировании асинхронного электропривода на базе преобразователя частоты матричного типа наиболее важным является выбор способа управления силовой частью и расчет входного фильтра, обеспечивающего заданный коэффициент мощности при минимальных размерах преобразователя. В настоящее время разработано несколько алгоритмов

управления силовой частью МПЧ, условно их можно разделить на алгоритмы скалярной и пространственно-векторной модуляции. К алгоритмам скалярной модуляции относятся базовый метод управления [1, 2], известный как оптимизированный алгоритм Вентарини [3], и алгоритм канадского ученого Жиль Роя [4]. Отличие между ними заключено лишь в том, что вычисленные по оптимизированному алгоритму коэффициенты модуляции зависят от коэффициента передачи напряжения, а в алгоритме канадского ученого они постоянны и равны своему максимальному значению. Общим недостатком перечисленных алгоритмов является недостаточно высокое значение выходного напряжения. Так, базовый метод управления и алгоритм Роя способны обеспечить максимальный коэффициент передачи, равный 0,5, а оптимизированный алгоритм Вентарини и пространственно-векторная модуляция – не более 0,866. Это значит, что из сети 220/380 В МПЧ способен сформировать выходное напряжение не более 190/330 В, что несомненно вносит ограничение в сферу применения МПЧ в промышленности и ставит перед учеными задачу по разработке новых и модификации существующих алгоритмов управления преобразователем с целью повышения максимально возможного значения коэффициента передачи без существенного ухудшения спектра выходного напряжения. В работах [3, 5] МПЧ был представлен в виде эквивалентной схемы замещения, представленной на рис. 2.

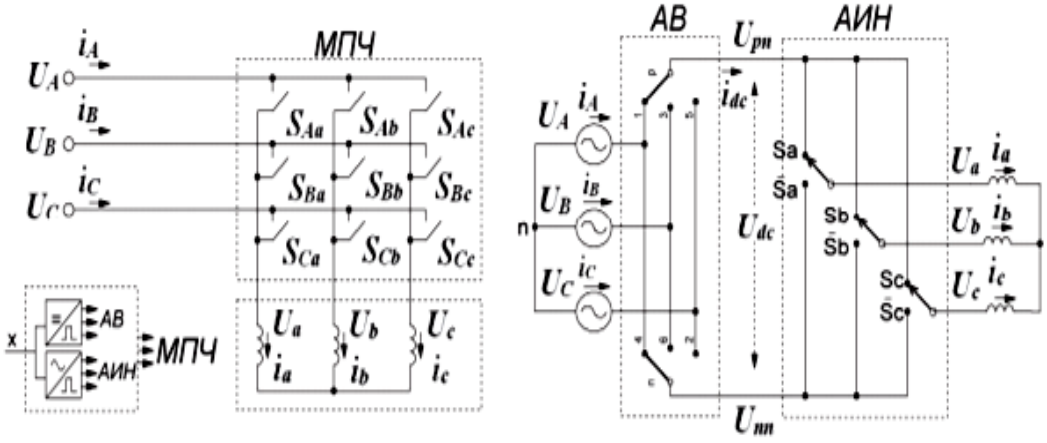


Рис. 2. МПЧ: *а* – управляющая часть; *б* – силовая часть; *в* – схема замещения

Для корректной работы матричного электропривода в режиме пространственно-векторной модуляции (отсутствие интервалов короткого замыкания фаз сети и разрыва тока нагрузки) необходимо, чтобы в любой момент времени выполнялось следующее условие: из девяти двунаправленных ключей МПЧ одновременно замкнутыми (активными) всегда должны быть три ключа, относящиеся к разным фазам нагрузки [6].

Поэтому существует 27 разрешенных комбинаций открытых ключей, представленных в таблице и разделенных на три группы. Для каждой комбинации линейные напряжения входа и выхода могут быть выражены в виде пространственных векторов.

Группа I соответствует случаю, когда все три выходные фазы каким-либо способом соединены только с двумя входными фазами и содержит 18 комбинаций активных векторов выходного напряжения V_0 и активных векторов входного *I*, имеющих фиксированное направление.

Группа II соответствует случаю, когда все три фазы связаны только с одной из выходных и содержит 3 комбинации нулевых векторов выходного напряжения и входного тока.

Группа III соответствует случаю, когда величина и фаза каждого из векторов являются переменными и содержат 6 комбинаций, в которых каждая выходная фаза связана с различной входной фазой. Эта группа векторов не используется.

Таким образом, пространственно-векторная модуляция МПЧ подразумевает полный контроль над вектором выходного напряжения V_0 и вектором входного тока I, используя 18 активных векторов I группы и 3 нулевых вектора II группы.

Матричный преобразователь частоты является перспективным направлением для внедрения в системы электропривода. В западных странах, таких как США и Германия, уже активно ведется установка МПЧ в различных областях промышленности. Использование МПЧ позволяет устранить необходимость установки тормозных резисторов, что существенно скажется на габаритах системы и заботах об осуществлении теплоотвода; кинетическая энергия механизма теперь может беспрепятственно быть возвращена в сеть, таким образом будет достигнут лучший экономический эффект за счет и рекуперации, и увеличенного КПД системы. Улучшение коэффициента нелинейных искажений благоприятно скажется на общем состоянии питающей сети: это снизит нагрев трансформатора и позволит установить другие электрические компоненты, не опасаясь их выхода из строя. Также улучшится электромагнитная совместимость на производстве: снизятся индуктивные помехи, из-за которых могут наводится значительные напряжения на все проводники и устройства.

Источники

1. Alesina A., Venturini M. The generalized transformer: a new bi-directional sinusoidal waveform frequency converter with continuous variable adjustable input power factor // PESC. 1980. Pp. 242–252.

2. Venturini M. A new sinewave in, sinewave out conversion technique which eliminates reactive elements // P0WERC0N. 1980. Pp. E3/1-E3/15.

3. Alesina A., Venturini M. Analisys and Design of Optimum-Amplitude Nine-Switch Direct AC-AC Converters // Transactions on Power Electronics. January 1989. vol. 4. no.1. Pp. 101–112.

4. Asynchronous operation of cycloconverter with improved voltage gain by employing a scalar control algorithm / G. Roy [et al.] // IAS Conference Record. 1987/ Pp. 889–898.

5. Alesina A., Venturini M. Intrinsic amplitude limits and optimum design of 9-switches direct PWM ac-ac converters // PESC. 1988. vol. 2. Pp. 1284–1291.

6. Виноградов А.Б. Векторное управление электроприводами переменного тока. Иваново: ГОУ ВПО ИГЭУ, 2008. 298 с.

УДК 621.311.68

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МОЩНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ПЕРЕМЕННОГО НАПРЯЖЕНИЯ В ПОСТОЯННОЕ ДЛЯ СИСТЕМ БЕСПЕРЕБОЙНОГО ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Сергей Михайлович Коротков

АО «ММП-Ирбис», г. Москва

kor@mmp-irbis.ru

Как известно, уровень развития цивилизации тесно связан с количеством потребляемой энергии. Год от года, энергии требуется все больше, а, следовательно, и требования к источникам бесперебойного питания (ИБП) по мощности тоже растут.

В свою очередь, это приводит к необходимости постоянного повышения удельной мощности и коэффициента полезного действия преобразователей электроэнергии, входящих в состав ИБП.

Ключевые слова: электроэнергия, мощность, выпрямитель, источник бесперебойного питания (ИБП), удельная мощность, LLC-резонансный преобразователь.

EFFICIENCY EFFICIENCY IMPROVEMENT OF POWERFUL VOLTAGE TRANSMITTERS IN CONSTANT FOR UNINTERRUPTED POWER SUPPLY SYSTEMS

Sergey Mikhailovich Korotkov

As you know, the level of development of civilization is closely related to the amount of energy consumed. Year by year, more and more energy is required, and, consequently, the requirements for uninterruptible power supplies (UPS) are also increasing in power.

In turn, this leads to the need for a constant increase in the power density and efficiency of the power converters that make up the UPS.

Key words: electric power, power, rectifier, uninterruptible power supply (UPS), power density, LLC-resonant converter.

Современный уровень развития силовой электроники требует постоянного повышения удельной мощности преобразователей электрической энергии, в том числе и выпрямителей, входящих в состав устройств бесперебойного электропитания. В свою очередь, эта задача неразрывно связана с повышением их КПД. В настоящее время оптимальной для мощных выпрямителей является высота, близкая к стандартной высоте 1*U* для корзин 19" стоек питания. Ширина корпуса рассчитывается из условия размещения в такую корзину нескольких выпрямителей [1]. Можно констатировать, что сейчас оптимальной формой корпуса является достаточно длинный выпрямитель с небольшим поперечным сечением. В такой конструкции для обдува всех тепловыделяющих компонентов достаточно одного мощного вентилятора, причем при такой плотной компоновке скорость потока воздуха получается значительно выше, чем в свободных конструкциях, что значительно повышает эффективность обдува.

Ограничение высоты под стандарт 1*U* накладывает физические ограничения на максимальную мощность выпрямителя, в первую очередь за счет ограничений на габариты силовых электромагнитных компонентов, которые сильно сопротивляются попыткам уложить их в профиль 30…35 мм. Кроме того, значительный объем занимают накопительные электролитические конденсаторы на выходе корректора коэффициента мощности.

В настоящее время в корпусе шириной 85 мм (для размещения до 5 выпрямителей на одну полку в стойку 19") вполне реально разместить надежный выпрямитель мощностью около 1,5 кВт в указанных габаритах, используя традиционную структуру: «корректор коэффициента мощности (ККМ) – мощный накопительный конденсатор – DC/DC преобразователь». Мощности порядка 1,7…1,8 кВт являются для данного габарита предельными, при которых силовые компоненты работают с минимальными запасами.

При ширине корпуса 105 мм (до 4 выпрямителей на одну полку в стойку 19") номинальную мощность можно довести до 2,5…2,6 кВт, предельные значения составляют 2,7…2,8 кВт, причем предельные мощности получаются с весьма сильными ограничениями по температуре окружающей среды, при которых снижение максимальной мощности начинается едва ли не с +25…30 °С.

Помимо внутренних факторов, ограничивающих мощность выпрямителя в указанных габаритах, не менее важным внешним фактором является выбор разъема, соединяющего выпрямитель с корзиной. С одной стороны, входные контакты должны быть достаточно удалены друг от друга,

а также от других контактов и от корпуса выпрямителя, чтобы обеспечить необходимые требования по электробезопасности. С другой стороны, выходные контакты должны быть рассчитаны на очень большой ток нагрузки. Наконец, разъем должен содержать определенное количество сигнальных контактов для связи выпрямителя с центральным процессором и с внешним миром. Не так просто подобрать разъем, удовлетворяющий этим требованиям, чтобы он при этом не перекрывал путь для воздушного потока, создаваемого вентилятором. Реальный КПД, достижимый в настоящее время при номинальном входном напряжении, имеет величину порядка 94…95 %, а это значит, что при выходной мощности 1,5 кВт вентилятор должен «сдувать» не менее 100 Вт потерь, так что вопрос о габаритах разъема нельзя сбрасывать со счетов.

Практически для DC/DC преобразователей мощностью более 1 кВт представляют практический интерес две топологии – мостовая с фазовым сдвигом и резонансная. Обе топологии позволяют распределить тепловые потери между силовым трансформатором и дросселями, чтобы сделать их достаточно миниатюрными и уложиться, таким образом, в габариты стандарта 1U.

Достоинства мостового преобразователя с фазовым сдвигом по сравнению с резонансным преобразователем следующие.

1. Мостовой преобразователь с фазовым сдвигом имеет наименьшие статические потери на первичной стороне, в то время как в резонансном преобразователе резонансные токи образуют весьма значительную добавку к току первичной обмотки силового трансформатора, особенно при малых токах нагрузки.

2. Выходные конденсаторы в мостовом преобразователе также не испытывают заметных токовых нагрузок, в отличие от конденсаторов на выходе резонансного преобразователя.

3. Кроме того, мостовой преобразователь позволяет регулировать выходное напряжение от номинального значения практически до нуля.

4. Наконец, у мостового преобразователя легче обеспечить глубину обратной связи, достаточную для хорошего подавления 100-герцовой составляющей выходного напряжения.

На этом преимущества мостового преобразователя над *LLC*-резонансным преобразователем исчерпываются. Применительно к работе с аккумуляторной батареей отпадает необходимость регулировки выходного напряжения ниже минимального предела батареи, низкочастотные пульсации на удвоенной частоте сети в достаточной степени шунтируются низким импедансом батареи. В рассмотрении остаются лишь первые два пункта.

LLC-резонансный преобразователь обладает следующими бонусами.

1. При правильно подобранных параметрах компонентов коэффициент передачи по напряжению в номинальном режиме практически не зависит от величины тока нагрузки, что практически сводит к нулю переходные процессы при сбросе/набросе нагрузки.

2. Нет проблем с постоянной составляющей тока намагничивания трансформатора в отличие от мостовой схемы, в которой работа при максимальном коэффициенте заполнения при включении первичной обмотки без разделительного конденсатора может привести к фатальным последствиям. К таким же последствиям приводит в мостовой схеме обрыв датчика тока первичной обмотки. Это значит, что в резонансном преобразователе не нужно делать большого запаса по коэффициенту передачи по напряжению, просадки выходного напряжения из-за нехватки входного напряжения (при кратковременных пропаданиях сети), когда управление «ложится на упор», не страшны для резонансных преобразователей.

3. Резонансные токи в первичной цепи обеспечивают переключение силовых ключей при нулевом падении напряжения в широком диапазоне изменения тока нагрузки, что значительно сокращает потери при коммутации силовых транзисторов.

4. Переключение выпрямителей на вторичной стороне также происходит при нулевом токе, то есть с нулевыми потерями. Кроме того, это значительно облегчает управление транзисторами синхронного выпрямителя.

5. Кроме того, максимальное напряжение на выпрямителях в резонансном преобразователе равно удвоенной величине выходного напряжения, т. е. для обеспечения, к примеру, выходного напряжения до 56…58 В достаточно применить выпрямители с максимально допустимым обратным напряжением 150 В, в то время как в мостовом преобразователе необходимо применять выпрямители с максимально допустимым обратным напряжением не менее 200 В.

6. Резонансные преобразователи обладают большим запасом прочности при коротком замыкании на выходе, что делает их практически неубиваемыми.

7. Резонансные преобразователи создают меньше электромагнитных помех.

Из всех вышеперечисленных достоинств при выборе топологии для серии выпрямителей под стандартный ряд аккумуляторных батарей 24-48-60 В на практике решающим фактором все-таки оказывается

простота управления синхронными выпрямителями с учетом их переключения при нулевом токе, а также более мягкие требования к максимально допустимому обратному напряжению на выпрямителях.

Сравним статические потери в синхронных выпрямителях преобразователей мощностью 1300…1600 Вт, содержащих по две пары MOSFET в корпусе TO220 для сравниваемых топологий. В преобразователе с фазовым сдвигом среднеквадратичный ток синхронного выпрямителя приблизительно равен току нагрузки. В резонансном преобразователе выпрямляется синусоидальный ток, и квадрат среднеквадратичного тока выпрямителя больше квадрата тока нагрузки в $\pi^2/8$ раз, то есть при равном сопротивлении открытого канала транзисторов статические потери в выпрямителе у резонансного преобразователя примерно в 1,23 раза выше, чем у мостового преобразователя. Но реальные потери зависят также от выбора транзисторов. По результатам анализа справочных данных от различных производителей авторы пришли к выводу, что среди производителей MOSFET в корпусе TO220 с приемлемой величиной заряда затвора (не более 100…120 нКл) бесспорным лидером является компания Infineon Technologies AG.

Для аккумуляторной батареи 24 В диапазон изменения выходного напряжения выпрямителя составляет от 21 до 28 В. Наилучшим транзистором для резонансного преобразователя является IPP027N08N5 (80 В, 2,7 мОм в НКУ, 3,8 мОм при +100 °С). Для мостового преобразователя транзистор на 80 В не подойдет, а среди транзисторов с максимальным напряжением 100 В лидером является IPP030N10N5 (100 В, 3,0 мОм в НКУ, 4,35 мОм при +100 °С). При токе нагрузки 50 А и температуре перехода транзисторов +100 °С статические потери в выпрямителях составят 5,8 Вт для резонансного преобразователя и 5,4 Вт для мостового. Для данного исполнения с незначительным перевесом побеждает мостовая схема.

Для 48 В выходное напряжение должно изменяться в пределах от 42 до 56…58 В. При токе нагрузки 30 А статические потери в резонансной схеме (транзисторы IPP051N15N5 – 150 В, 5,1 мОм в НКУ, 7,7 мОм при +100 °С) составляют 4,3 Вт. Потери в мостовой схеме (транзисторы IPP110N20NA – 200 В, 11 мОм в НКУ, 17 мОм при +100°С) составляют 7,7 Вт. Здесь уже почти с двукратным перевесом побеждает резонансная схема.

Для 60 В пределы изменения выходного напряжения составляют от 52 до 72 В. При токе нагрузки 24 А статические потери в резонансной схеме (транзисторы IPP110N20NA – 200 В, 11 мОм в НКУ, 17 мОм

при +100 °С) составляют 6 Вт. Потери в мостовой схеме (транзисторы IPP200N25N3G - 250 В, 20 мОм в НКУ, 30 мОм при +100 °С) составляют 8,6 Вт. Здесь также с полуторакратным перевесом побеждает резонансная схема.

Таким образом, если рассматривать выбор топологии с точки зрения общей печатной платы для трех исполнений (24, 48 и 60 В), наиболее предпочтительным выглядит *LLC*-резонансный преобразователь.

Следует заметить, что для исполнения 12 В существует транзистор IPP020N06N с сопротивлением 2 мОм и максимальным напряжением 60 В, который подходит к обеим топологиям. В данном случае резонансный преобразователь уступает по всем статьям. Но на выбор топологии для серии 24-48-60 В данный факт никак не влияет, поскольку в исполнении 12 В величина выходного тока настолько велика, что требует принципиально другой конструкции моточных компонентов и силовой платы, и объединение исполнения 12 В в одну серию с исполнениями 24-48-60 В не имеет смысла.

«ММП-Ирбис» около 15 лет назад начал выпуск выпрямителей серии ИП1200А мощностью 1200 Вт с выходной частью, выполненной по мостовой схеме с фазовым сдвигом. Их конструкция соответствует вертикальному размещению по 6 выпрямителей в корзине 6U для 19" стойки. Позднее была разработана и осуществлена новая концепция стойки бесперебойного питания, в которой для управления выпрямителями и инверторами не требуется центральный контроллер, а все его функции исполняют сами «умные» выпрямители и инверторы, объединенные общей цифровой шиной через интерфейс RS232. В рамках этой концепции в дополнение к инверторам, выполненным в виде одной полки высотой 1U для стойки 19″, в таком же корпусе на базе ИП1200А был разработан выпрямитель серии ИП3000 с выходной мощностью 3 кВт.

В настоящее время на основе *LLC*-резонансной схемы разработаны и поставлены на производство выпрямители нового поколения серий ИП1600 (рис. 1) и ИП2500 (рис. 2). Данные выпрямители позволяют обеспечить до 8…10 кВт на одну полку высотой 1U для стойки 19″, что в 3 раза превосходит возможности ИП3000. Выпрямители рассчитаны на работу от сети переменного тока 50 Гц при входном напряжении от 85 до 297 В с ограничением максимальной мощности при входном напряжении ниже 176 В, диапазон рабочих температур без снижения выходной мощности – от +5 до +40…45 °С, со снижением мощности – до +55°С. Удельная мощность составляет 1770…1900 Вт/дм^3. Коэффициент полезного действия представлен на рис. 3 и 4.

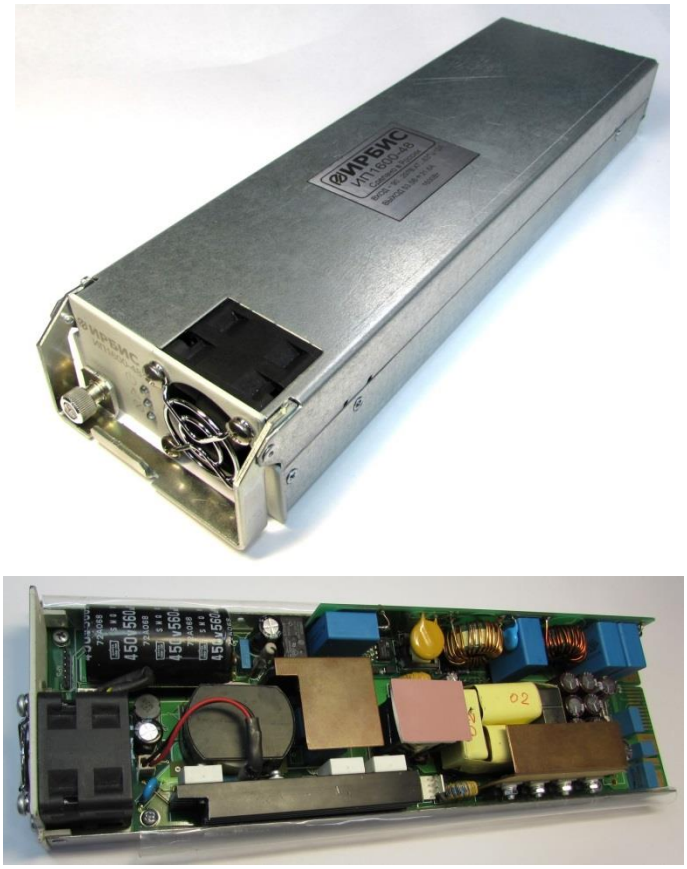


Рис. 1. Выпрямитель ИП1600: *а* – внешний вид; *б* – устройство

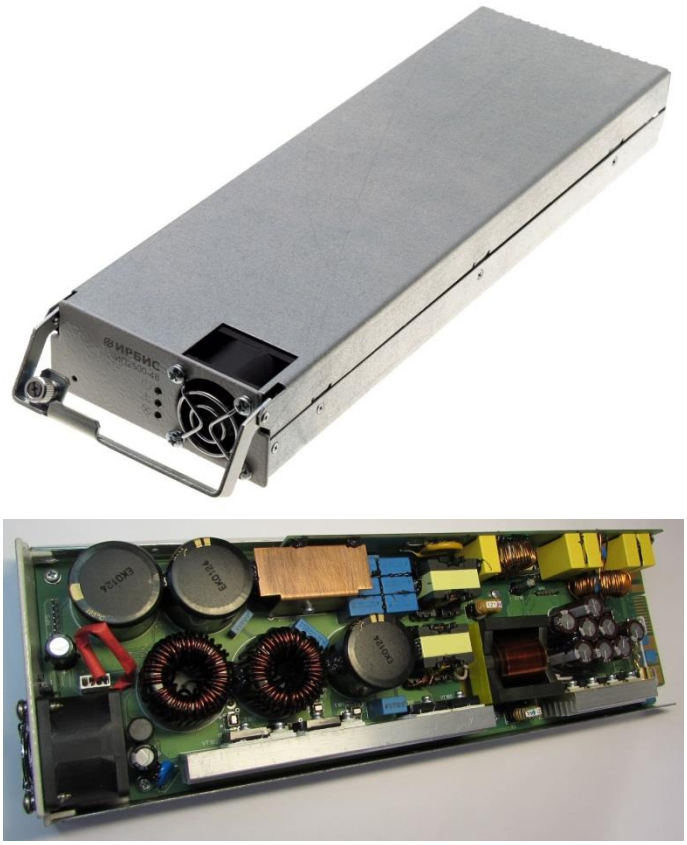


Рис. 3. Выпрямитель ИП2500: *а* – внешний вид; *б* – устройство

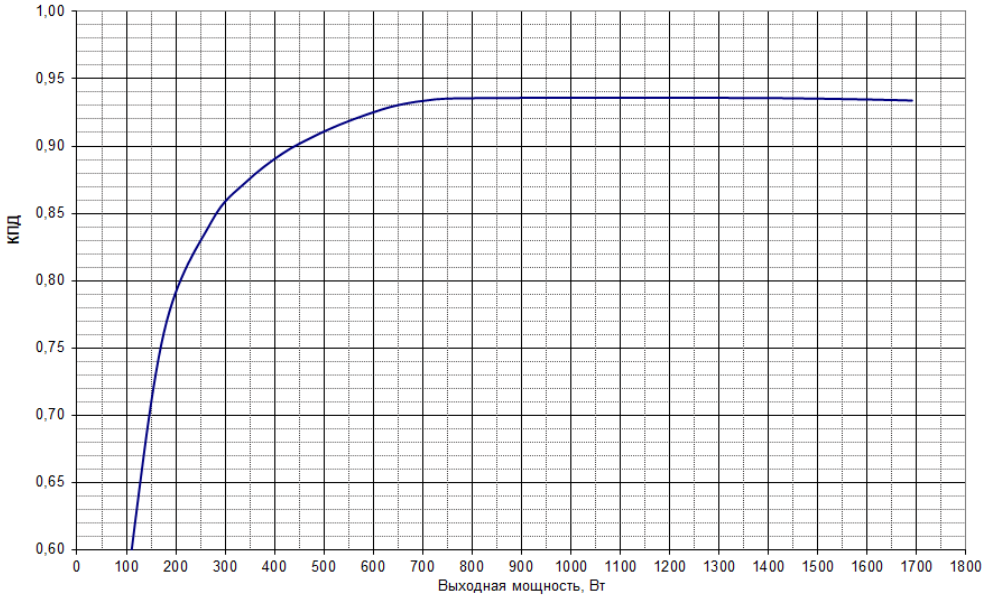


Рис. 3. КПД выпрямителя ИП1600

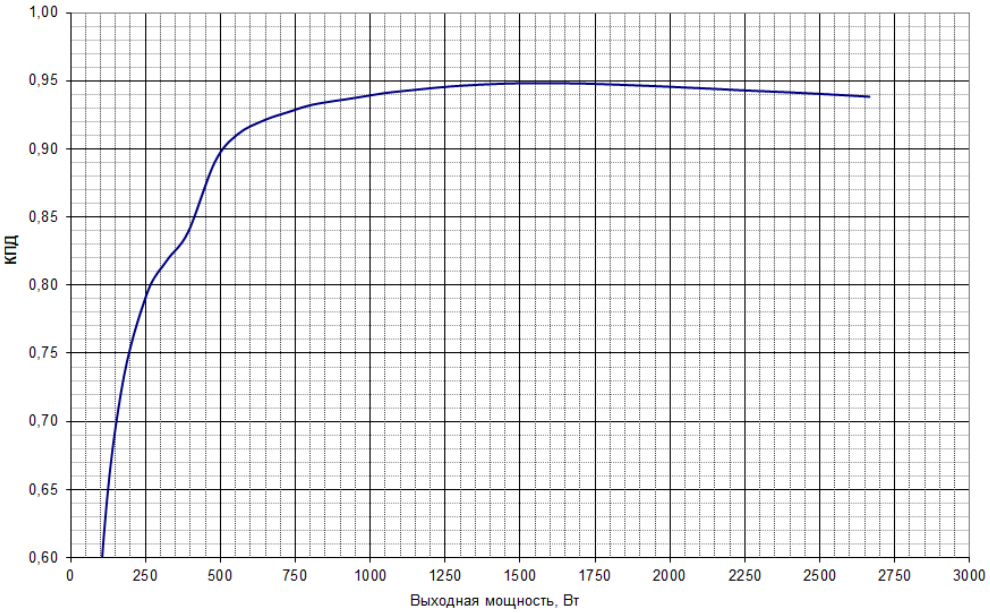


Рис. 6. КПД выпрямителя ИП2500

Переменная скорость вращения вентилятора, в зависимости от перегрева компонентов, увеличивает срок службы вентилятора и снижает акустические шумы. Помимо всех обязательных для выпрямителей функций, необходимых для работы в составе стоек бесперебойного питания, выпрямители данных серий допускают автономное использование для питания аппаратуры различного назначения и обладают набором дополнительных функций, таких как дистанционное включение/выключение, регулировка выходного напряжения от внешнего источника напряжения или с помощью внешнего переменного резистора, а также рядом других

функций. Предусмотрена возможность через адаптер интерфейса RS485 подключиться к персональному компьютеру и с помощью специальной программы, находящейся в открытом доступе, наблюдать состояние выпрямителя, дистанционно включать и выключать выпрямитель, а также изменять отдельные настройки, в частности, изменять настройки выходного напряжения.

Источники

1. Коротков С.М., Лукин А.В. Мощные преобразователи переменного напряжения в постоянное для систем бесперебойного электропитания постоянного тока // Практическая силовая электроника. 2015. № 4(60). С. 9–12.

УДК 621.34

ОСОБЕННОСТИ СИСТЕМНОГО ПОДХОДА К ПРОБЛЕМЕ РАЗРАБОТКИ ТРЕБОВАНИЙ К РЕМОНТОПРИГОДНОСТИ МЕХАТРОННЫХ ОБЪЕКТОВ

Алексей Борисович Кузнецов[1], Всеволод Олегович Егоров[2],
Азалия Фидаилевна Шаймуллина[3], Борис Васильевич Кузнецов [4]

[1]Научно-производственное предприятие «ГКС», г.Казань,
[2,3,4]ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

[1,2,3,4]kuznetsov_b@rambler.ru

Приведены основные проблемы, сопровождающие разработку требований к ремонтопригодности мехатронных объектов на ранних стадиях их внедрения или разработки с позиций системного подхода.

Ключевые слова: мехатроника, объект, ремонтопригодность, техническое задание, вероятность безотказной работы, коэффициент готовности, коэффициент технического использования, техническое обслуживание, ремонт.

FEATURES OF THE SYSTEM APPROACH TO THE PROBLEM OF DEVELOPMENT OF REQUIREMENTS FOR REPAIRABILITY OF MECHATRONIC OBJECTS

Aleksey Borisovich Kuznetsov, Vsevolod Olegovich Egorov,
Azalia Fidailevna Shaimullina, Boris Vasilyevich Kuznetsov

The main problems that accompany the development of requirements for maintainability of mechatronic objects in the early stages of their introduction or development from the standpoint of a systematic approach are given.

Key words: mechatronics, object, maintainability, technical task, probability of trouble-free operation, availability factor, technical use ratio, maintenance, repair.

Ремонтопригодность причинно связана с отказами в мехатронных объектах (далее – объект), устраняемыми в процессе восстановительного ремонта или предупреждаемыми в процессе профилактических мероприятий. Ремонтопригодность характеризуется временем пребывания объекта в состоянии восстановительного ремонта $t_{\text{в}}$, а также материальными и трудовыми затратами на предупреждение, обнаружение и устранение отказов. Связь ремонтопригодности с функционированием объекта удобно проиллюстрировать известной формулой для вероятности успешного выполнения задач в соответствии с назначением за заданное время $t_{\text{з}}$ (аналогично коэффициенту оперативной готовности) объектом многократного применения (или объектом разового применения, находящимся перед этим на хранении и (или) транспортировании):

$$P(t_{\text{З}}) = \text{К}_{\text{г}}\{P(t_{\text{р}}) + [1 - P(t_{\text{р}})]P_{\text{в}}(t_{\text{рез}})\}. \qquad (1)$$

Здесь:

$P(t_{\text{р}})$ – вероятность безотказной работы (ВБР) за время $t_{\text{р}}$ непосредственного выполнения заданных функций;

$P_{\text{в}}(t_{\text{рез}})$ – вероятность восстановления за резервное время:

$$t_{\text{рез}} = t_{\text{з}} - t_{\text{р}};$$

$\text{К}_{\text{г}} = T_0/(T_0 + \tau)$, где T_0 – средняя наработка на отказ; τ – среднее время восстановления.

Таким образом, оперативная сторона ремонтопригодности характеризуется средним временем $T_{\text{в}}$, которое необходимо для проведения различных видов технического обслуживания, выявления и устранения отказов в процессе эксплуатации, т. е. проведения текущих ремонтов.

Экономическая сторона ремонтопригодности характеризуется величиной трудовых и материальных затрат, связанных с поддержанием и восстановлением работоспособности объектов при эксплуатации и ремонте.

Задаче обоснования требований предшествует процедура выбора нормируемых показателей. Представляется целесообразным дать классификацию объектов с точки зрения выбора показателей их ремонтопригодности.

Наиболее распространена ситуация, когда все объекты разделены на следующие три группы:

1. В соответствии с техническим заданием (ТЗ) требуется обеспечить непрерывное функционирование объекта в течение времени t, причем перерывы в работе в этот период недопустимы.

2. Техническим заданием предусматривается циклическое использование объекта, причем перерыв в работе не может быть больше некоторого наперед заданного времени $t_з$. Очевидно, сюда же можно отнести и объекты, к которым предъявляются высокие требования к их готовности, но у которых периоды сравнительно кратковременной работы чередуются с достаточно длительными периодами ожидания применения.

3. Техническим заданием предусматривается непрерывная работа объектов, однако во время появления отказа в процессе эксплуатации допускается их восстановление без замены их резервными.

Очевидно, что требуемый уровень надежности объектов первой группы в межпрофилактический период обеспечивается их безотказностью. Следовательно, оперативными показателями таких объектов будут показатели эксплуатационной технологичности: вероятность технического обслуживания за заданное время $P_{т.о}(t_з)$. Соответственно экономическими показателями ремонтопригодности будут затраты труда и средств на техническое обслуживание и ремонты, обусловленные возникновением отказов.

Для объектов второй группы оперативными показателями ремонтопригодности, помимо коэффициентов готовности $К_г$ и технического использования $К_{т.и}$ могут быть среднее время восстановления τ, среднее время технического обслуживания $T_{т.о}$, а также вероятности проведения технического обслуживания и ремонтов $P_{т.о}(t_з)$ и $P_в(t_з)$.

Для образцов третьей группы определяющим фактором является эффективность их использования, т. е. возможность их использования с минимальными затратами на эксплуатацию при заданной долговечности. Для этой группы объектов на первый план выступают экономические показатели ремонтопригодности.

В зависимости от характера выполняемых объектами задач и режимов их работы в качестве экономических показателей могут быть использованы суммарные затраты средств и труда на устранение отказов, техническое обслуживание и ремонты или только отдельные виды этих затрат.

В качестве примера рассмотрим образец, принадлежащий второй группе. Одной из основных характеристик таких объектов будет вероятность нормального функционирования, определяемая зависимостью (1). В этом случае вероятность выполнения задачи восстанавливаемым объектом будет определяться вероятностью его нахождения в работоспособном состоянии к началу работы и безотказного функционирования за время выполнения заданных функций. Из анализа формулы (1) следует, что при проектировании может возникнуть необходимость решения двух задач:

1) определить время, которое нужно предусмотреть на восстановление работоспособности объекта, при заданных значениях среднего времени восстановления, вероятности нормального функционирования и ВБР;

2) определить среднее время восстановления объекта, обеспечивающее выполнение задачи при установленных значениях ВБР и вероятности выполнения задачи.

Для простоты обычно полагают, что распределение наработки на отказ – экспоненциальное. Результаты решения указанных задач могут быть представлены графически.

Источники

1. Кузнецов Б.В., Горовацкий В.Я. Особенности системного подхода к проблеме разработки технических требований к электротехническим объектам / Сб. матер. 17-й Всерос. межвуз. науч.- техн. конф. Казань, 2005. Ч. 1. С.168–170.

2. Основы войскового ремонта вооружения и техники РВ и А ВС РФ: учебник для курсантов военно-учебных заведений РВ и А ВС РФ / А.И. Бородин [и др.]. М: Министерство обороны РФ, 1999. 378 с.

УДК 620.9

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ В СЕВЕРНЫХ РЕГИОНАХ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА

Николай Матвеевич Кузнецов

ЦЭС КНЦ РАН, г. Апатиты

kuzn55@ mail.ru

Приведены показатели внедрения наилучших доступных технологий в северных регионах. Показан объем внедрения ключевых энергоэффективных технологий. Определена энергоемкость валового регионального продукта по регионам.

Ключевые слова: энергосбережение, наилучшие доступные технологии, ключевые энергоэффективные технологии, энергоемкость валового регионального продукта.

ENERGY EFFICIENCY IN NORTHERN REGIONS NORTHWESTERN FEDERAL DISTRICT

Nikolai Matveyevich Kuznetsov

The indicators of the implementation of the best available technologies in the northern regions are given. The volume of implementation of key energy efficient technologies is shown. The energy intensity of the gross regional product is determined by regions.

Key words: energy saving, best available technologies, key energy efficient technologies, energy intensity of gross regional product.

Энергосбережение является одним из важнейших факторов, которое обеспечивает эффективность функционирования отраслей экономики региона. Эффективность энергосберегающих мероприятий возможна при внедрении новых технологических процессов и оборудования [1], использовании альтернативных источников энергии [2–5]. Внедрение энергосберегающих технологий снижает затраты на топливно-энергетические ресурсы, повышает устойчивость топливно-энергетического комплекса, уменьшает затраты на строительство дополнительных мощностей, уменьшает выбросы от энергетических предприятий [6].

Показатели внедрения наилучших доступных технологий в регионах северного экономического района [7] Северо-Западного федерального округа приведены на рис. 1.

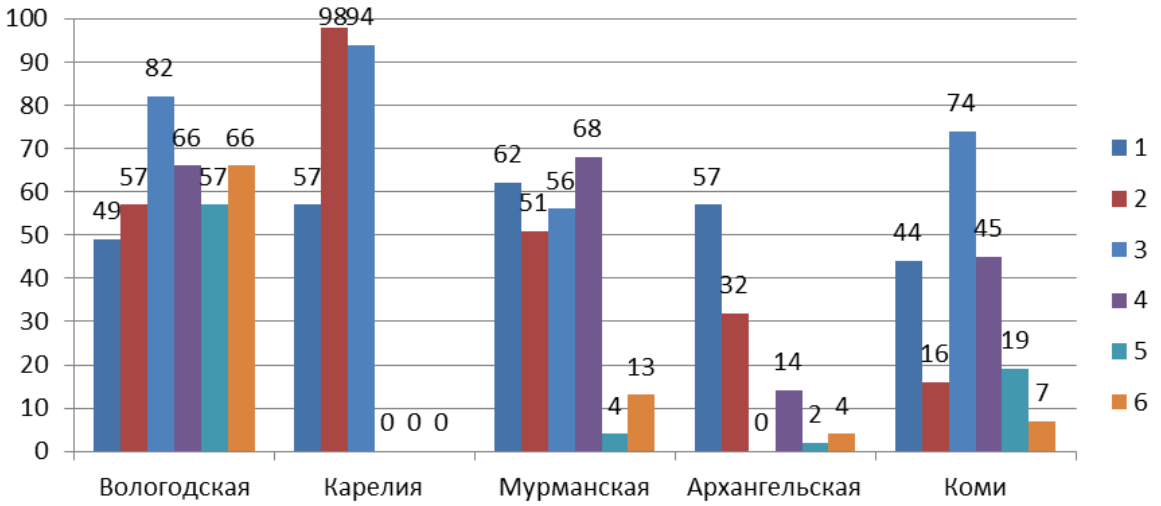


Рис. 1. Показатели внедрения наилучших доступных технологий, %: *1* – доля источников света со светоотдачей не менее 80 лм/Вт; *2* – доля светоточек в составе осветительных автоматизированных систем управления; *3* – доля многоквартирных домов (МКД) с приборами учета тепла; *4* – доля блоков управления с приборами учета тепла; *5* – доля автоматических индивидуальных тепловых пунктов (ИТП) в МКД; *6* – доля автоматических ИТП в блоках управления; 0 – нет данных

Анализ энергопотребления и энергоэффективности в северных регионах показал, что в регионах имеется значительный потенциал энергосбережения [8–10]. В регионах проводится работа по обеспечению соответствия региональной политики ключевым направлениям государственной политики – в государственные программы включены удельные показатели энергоэффективности, внедряются энергетические декларации, разрабатываются требования к энергоэффективности при капитальном ремонте многоквартирных домов, механизмы привлечения внебюджетного финансирования в рамках энергосервисных контрактов.

В рамках мониторинга технических параметров в 2015 г. основное внимание уделялось внедрению ключевых энергоэффективных технологий (рис. 2).

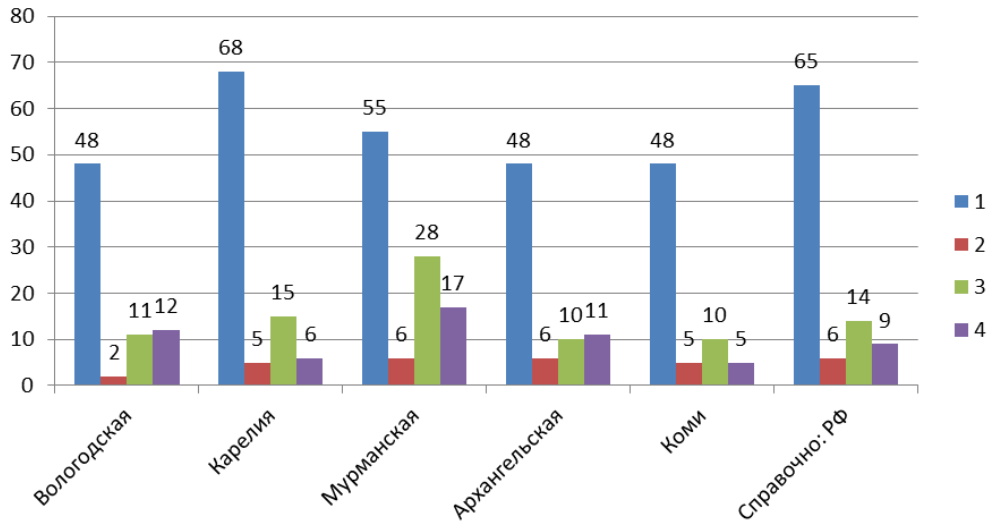


Рис. 2. Внедрение ключевых энергоэффективных технологий, %: *1* – энергоэффективные источники света в уличном и дорожном хозяйстве; *2* – светодиодные источники света в освещении организаций бюджетного сектора; *3* – энергоэффективные здания бюджетного сектора; *4* – индивидуальные тепловые пункты с автоматическим регулированием в зданиях бюджетного сектора с капитальным ремонтом от 5 млн руб. с 2011 г.

Энергоемкость валового регионального продукта по регионам северного экономического района показана на рис. 3. Анализ внедрения энергосберегающих мероприятий в Мурманской области показал, что в сфере жилищно-коммунального хозяйства области имеется значительный потенциал энергосбережения (бюджетная сфера – 6 %, жилищный фонд – 35 %).

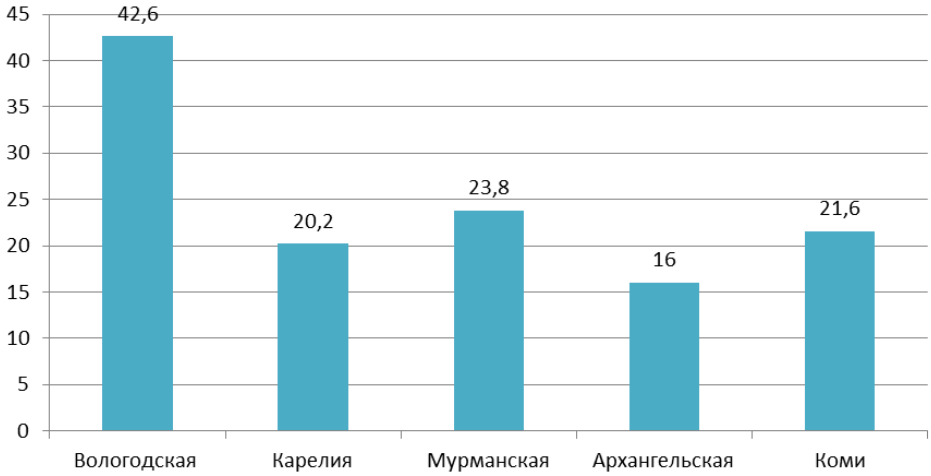
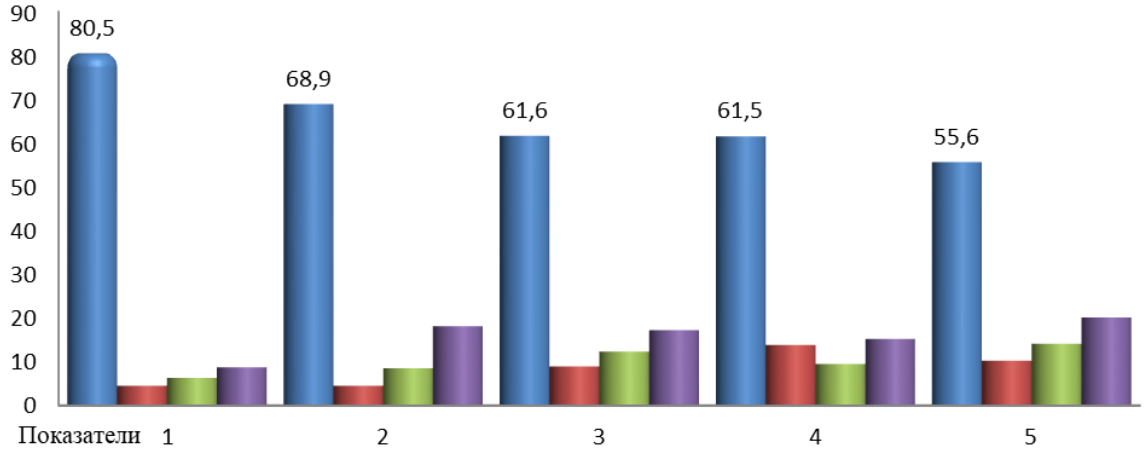


Рис. 3. Энергоемкость валового регионального продукта, кг у.т./тыс. руб.

Рыночная система ценообразования на топливо и её привязка к уровню экспортных цен приводят к образованию значительной диспропорции между фактической стоимостью доставляемого в северные регионы топлива и стоимостью, включаемой в тариф поставки тепла для населения. Это привело к убыточности деятельности большинства теплоснабжающих организаций в связи с тем, что теплоснабжающие организации осуществляют регулируемую деятельность в районах Крайнего Севера. Стоимость оплаты коммунальных услуг в Мурманской области является одной из самых высоких в Северо-Западном федеральном округе [11]. Доля платежа за отопление и подогрев воды в структуре платежа за коммунальные услуги является самой высокой по сравнению с другими регионами (рис. 4).

В настоящее время собираемость платежей от населения за жилищно-коммунальные услуги составляет около 90 %. Это означает, что тепло-, электро-, водоснабжающие организации недополучают средства на оплату поставленных энергоресурсов, выплату заработной платы своим работникам, оплату налогов, модернизацию оборудования.



	1	2	3	4	5
Отопление и подогрев	80,5	68,9	61,6	61,5	55,6
Водоснабжение	4,5	4,5	8,9	13,8	10,2
Водоотведение	6,3	8,5	12,3	9,5	14,1
Электроэнергия	8,7	18,1	17,2	15,2	20,1

Рис. 4. Доля платежа за коммунальные услуги, %: *1* – Мурманская область; *2* – Республика Карелия; *3* – Вологодская область; *4* – Республика Коми; *5* – Архангельская область

Кроме долгов населения у ресурсоснабжающих организаций, особенно у теплоснабжающих, использующих мазутные и электрические котлы, накапливаются убытки. Они связаны с тем, что эти компании работают на регулируемом рынке, а ресурсы для них покупаются на нерегулируемом. При этом долги у предприятий появляются, если тариф на тепло

им устанавливается ниже экономически обоснованного тарифа и фактическая цена ресурсов оказывается выше установленных в тарифе, как это происходит с ценами на мазут и на электроэнергию для предприятий. На компенсацию выпадающих доходов теплоснабжающим организациям из регионального бюджета ежегодно выделяется значительное финансирование.

Основным потребителем теплоты являются жилищно-коммунальные хозяйства городов. Анализ существующих систем теплоснабжения показывает, что действующие сети теплоснабжения работают на пределе ресурсной надежности. Большая часть работающего оборудования морально и физически устарела. Необходима модернизация систем теплоснабжения, включающая в себя реконструкцию сетей и замену устаревшего оборудования на современное, отвечающее энергосберегающим технологиям. Оборудование тепловых пунктов и тепловых насосных станций, магистральных и внутриквартальных сетей на сегодняшний день имеет до 90 % физического и морального износа.

Эффективность функционирования систем теплоснабжения региона низкая по следующим причинам:

• существующая схема теплоснабжения изначально предназначалась для обеспечения теплом с учетом увеличения численности населения, строительства новых микрорайонов, а также роста производственно-хозяйственной деятельности региона;

• источники теплоснабжения муниципальных образований в основном избыточны по установленной тепловой мощности, что обуславливает отсутствие дефицита в генерации тепловой энергии и не позволяет осуществлять экономию ресурсов.

Для повышения надежности, качества и эффективности работы теплоэнергетического комплекса необходимо выполнение следующих мероприятий:

• проведение энергетического аудита объектов систем теплоснабжения;

• оптимизация режимов работы теплоисточников, количества котельных и их установленной мощности с учетом корректировок схем теплоснабжения, местных условий и видов топлива;

• модернизация котельных с использованием энергоэффективного оборудования с высоким коэффициентом полезного действия;

• внедрение систем автоматизации работы и загрузки котлов, общекотельного и вспомогательного оборудования, автоматизация отпуска тепловой энергии потребителям;

• оснащение объектов системы теплоснабжения (ЦТП, котельных и тепловых узлов) приборами учета;

• замена тепловых сетей с использованием энергоэффективного оборудования, применение эффективных технологий по тепловой изоляции вновь строящихся тепловых сетей и при восстановлении разрушенной изоляции;

• использование систем централизованного технологического управления системами теплоснабжения, комплексная автоматизация тепловых пунктов с выведением основных параметров на диспетчерские пункты;

• диспетчеризация тепловых сетей и систем контроля теплопотребления;

• установка частотно-регулируемого электропривода насосов водоснабжения.

Реализация нового подхода к разработке региональных программ энергоэффективности должна осуществляться по следующим направлениям:

• вовлечение региональных отраслевых органов власти в решение вопросов в области энергоэффективности и энергосбережения;

• развитие региональной инфраструктуры в сфере энергоэффективности за счет формирования уполномоченного органа, осуществляющего сводные функции и наделенного необходимыми ресурсами;

• направление бюджетных средств, предназначенных для повышения энергоэффективности, на привлечение ресурсов коммерческих организаций;

• формирование комплексной системы учета и мониторинга в сфере энергоэффективности.

Предусматривается необходимость анализа и последующей корректировки принятых региональных программ.

Формирование наиболее эффективного комплекса мер и мероприятий для региональных программ энергосбережения осуществляется путем решения двух основных задач:

• выбора технических и организационных решений (подходов) для поэтапной реализации потенциала и резервов энергосбережения, определенных на втором этапе;

• формирования благоприятной мотивационной среды для реализации подобранных технических мер (нормативно-правовое поле, экономические стимулы, запреты и др.).

По повышению уровня энергоэффективности объектов различных сфер экономики используются типовые технические решения, выбор которых для конкретных регионов зависит от полученной оценки текущего состояния региона и его типа. Для выбора технических решений используются результаты пилотных проектов; отраслевые каталоги; информационные материалы производителей энергоэффективного оборудования, подтвержденные опытом их применения; документы специализированных выставок, семинаров, конференций и других профильных мероприятий; отраслевые и общие справочники наилучших доступных технологий энергоэффективности.

Наличие эффективной комплексной программы энергосбережения в регионах позволяет:

• определить потенциал энергосбережения, затраты на реализацию этого потенциала и предполагаемую экономию денежных средств;

• осуществлять мониторинг энергопотребления и интегральных показателей энергосбережения с оценкой различных мер корректировки энергосберегающих мероприятий.

Реализация мероприятий программ будет способствовать устойчивому обеспечению экономики и населения топливом и энергией, сокращению удельного потребления топливно-энергетических ресурсов в организациях бюджетной сферы и жилищно-коммунального сектора, росту конкурентоспособности, энергетической и экологической безопасности.

Источники

1. Кузнецов Н.М., Победоносцева В.В. Эффективность внедрения наилучших доступных энергосберегающих технологий в Мурманской области // Фундаментальные исследования. 2017. № 6. С. 143–148.

2. Fedorov O.V., Kuznetsov M.M. Alternative energy sources for remote customers // Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2015. № 6(123). С. 141–144.

3. Кузнецов Н.М., Минин В.А. Гибридные установки с применением ВИЭ в энергообеспечении удаленных потребителей Мурманской области // Возобновляемая энергетика XXI век: Энергетическая и экономическая эффективность: сб. матер. М., 2016. С. 184–189.

4. Виссарионов В.И., Власов Ф.П., Кузнецов Н.М. Комплексное использование энергоресурсов на горных предприятиях // Горный журнал. 2008. № 4. С. 89–91.

5. Кузнецов Н.М., Коновалова О.Е. Древесные отходы – дополнительный источник энергии на северо-западе России // Горный журнал. 2004. № 8. С. 119–120.

6. Экологические аспекты в энергетике Мурманской области / Н.М. Кузнецов [и др.] // Научные и методические основы управления развитием энергетики Баренцрегиона: сб. науч. ст. Апатиты, 1997. С. 84–99.

7. Кузнецов Н.М. Энергоэффективность региональной программы энергосбережения в Мурманской области // Промышленная энергетика. 2017. № 8. С. 7–12.

8. Кузнецов Н.М. Энергоэффективность на севере Баренцрегиона России // Проблемы энергетики запада европейского севера России: сб. науч. ст. Апатиты, 1999. С. 24–30.

9. Кузнецов Н.М. Энергопотребление и энергосбережение на Северо-Западе России // Научные школы Московского государственного университета. 2008. Т. 2. С. 428–432.

10. Повышение энергетической эффективности в региональной энергетике Мурманской области / под ред. Кузнецов Н.М. М.: Перо, 2015. 40 с.

11. Кузнецов Н.М. Управление энергоэффективностью в Мурманской области // Энергосбережение и водоподготовка. 2017. № 2(106). С. 33–37.

УДК 621.311

УСТРОЙСТВО, ПОЗВОЛЯЮЩЕЕ ОПТИМИЗИРОВАТЬ РЕЖИМЫ РАБОТЫ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Владимир Андреевич Кузнецов[1], Вероника Александровна Одрузова[2]

ФГБОУ «СамГТУ», г. Самара

[1,2]verona-mail@yandex.ru

Контроль уровня воды в верхнем бьефе гидроэлектростанций является одной из основных задач поддержания нормального режима работы станций. Буйковый уровнемер – устройство, позволяющее не только контролировать, чтобы уровень воды в верхнем бьефе не опускался до критического значения, при котором нарушается нормальный режим работы гидроэлектростанций, но и оптимизировать режимы работы станций. Передача измерительной информации с буйкового уровнемера осуществляется по запросу персонала станции с помощью приёмно-передаточной аппаратуры на основе радиосигнала.

Ключевые слова: гидроэлектростанция, верхний бьеф, нижний бьеф, расход воды, уровень воды, буйковый уровнемер.

DEVICE TO ENABLE OPTIMIZE THE OPERATING MODES OF HYDRO ELECTRIC POWER STATIONS

Vladimir Andreevich Kuznetsov, Veronika Aleksandrovna Odruzova

Controlling the water level in the upstream of hydroelectric power plants is one of the main tasks of maintaining normal operation of the stations. The buoy level gauge is a device that allows not only to control that the water level in the upstream is not lowered to a critical value at which the normal operation of hydroelectric power plants is disturbed, but also to optimize the operating modes of the stations. The transfer of measurement information from the buoy level gauge is carried out at the request of the station personnel using a receiving and transmitting equipment based on a radio signal.

Key words: hydroelectric power station, upstream, downstream, water discharge, water level, buoy level gauge.

В настоящее время гидроэнергия является одним из наиболее гибких и дешевых источников электроэнергии, так как гидроэлектростанции (ГЭС) могут очень быстро адаптироваться к изменяющимся потребностям в энергии, увеличивая или уменьшая производство электроэнергии.

На ГЭС преобразуется потенциальная энергия поднятого гидротехническими сооружениями (плотиной) столба воды в крутящий момент турбины; турбина, в свою очередь, приводит в действие генераторы, вырабатывающие электроэнергию (рис. 1).

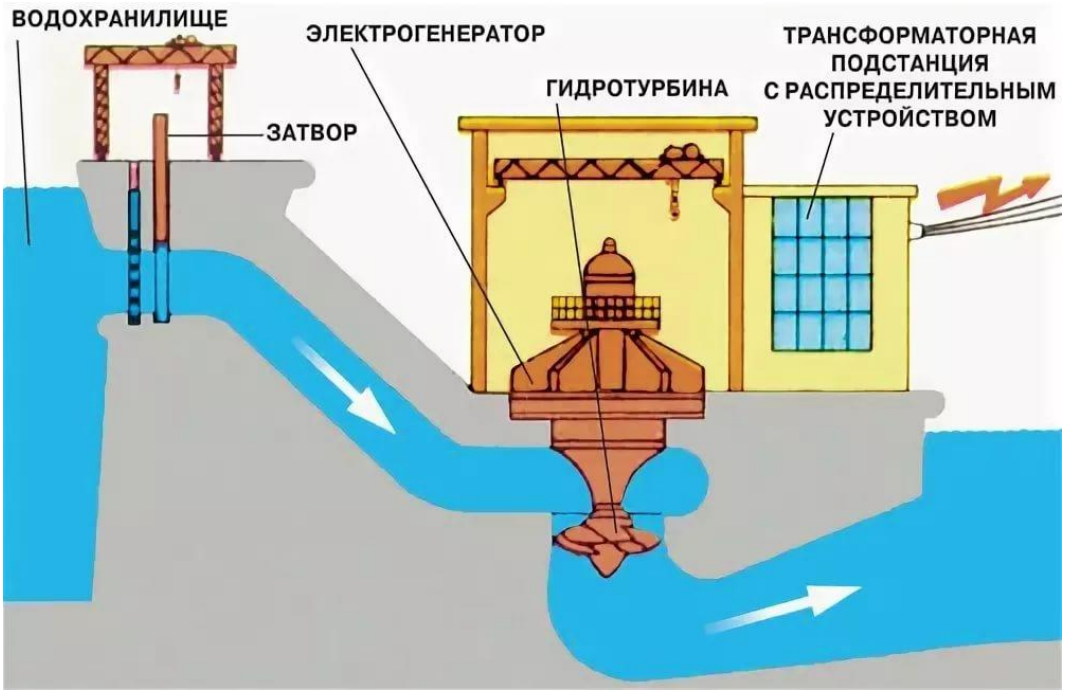


Рис. 1. Схема гидроэлектростанции

Максимальная потенциальная энергия воды зависит от разности уровней между нижним и верхним бьефами [1]:

$$A_{\text{п}} = mgh, \tag{1}$$

где m – масса воды; g – ускорение свободного падения; h – разность уровней между бьефами.

Если суммарная мощность турбогенераторов составляет W, то количество электрической энергии, вырабатываемое ими за время t, определяется выражением:

$$A_{\text{г}} = W_t, \tag{2}$$

где $A_{\text{г}}$ – энергия, вырабатываемая станцией.

С учётом КПД ГЭС и выражений (1) и (2) получим:

$$A_{\text{г}} = \eta \cdot A_{\text{п}}, \tag{3}$$

где η – КПД станции. Таким образом, получим:

$$W_t = \eta mgh. \tag{4}$$

Отсюда определяется масса и расход необходимой воды, проходящей через плотину:

$$m = \frac{W_t}{ngh}; \tag{5}$$

$$Q_v = \frac{v}{pt}, \tag{6}$$

где V – объём воды, проходящий через плотину за время t; ρ – плотность воды.

Из выражений (5) и (6) определяется требуемый расход воды для поддержания заданной мощности ГЭС:

$$Q_v = \frac{w}{\eta pgh}. \tag{7}$$

Расход воды на электростанции регулируется с помощью затворов – подвижных устройств, позволяющих по мере необходимости частично или полностью открывать и закрывать специальные водопропускные отверстия, с помощью которых осуществляется сброс воды из верхнего бьефа (ВБ) в нижний бьеф (НБ) и забор ее на хозяйственные нужды [2]. На крупных водохранилищах уровень ВБ поддерживается постоянным за счёт внешнего притока. На малых – уровень не остаётся постоянным и во многом зависит от климатических условий.

При понижении уровня воды в ВБ для сохранения заданной мощности ГЭС необходимо увеличивать расход воды. В качестве примера на рис. 2 представлен график зависимости расхода воды от уровня ВБ для ГЭС мощностью 100 МВт с КПД равным 0,75 при максимальном начальном уровне воды ВБ в 10 м.

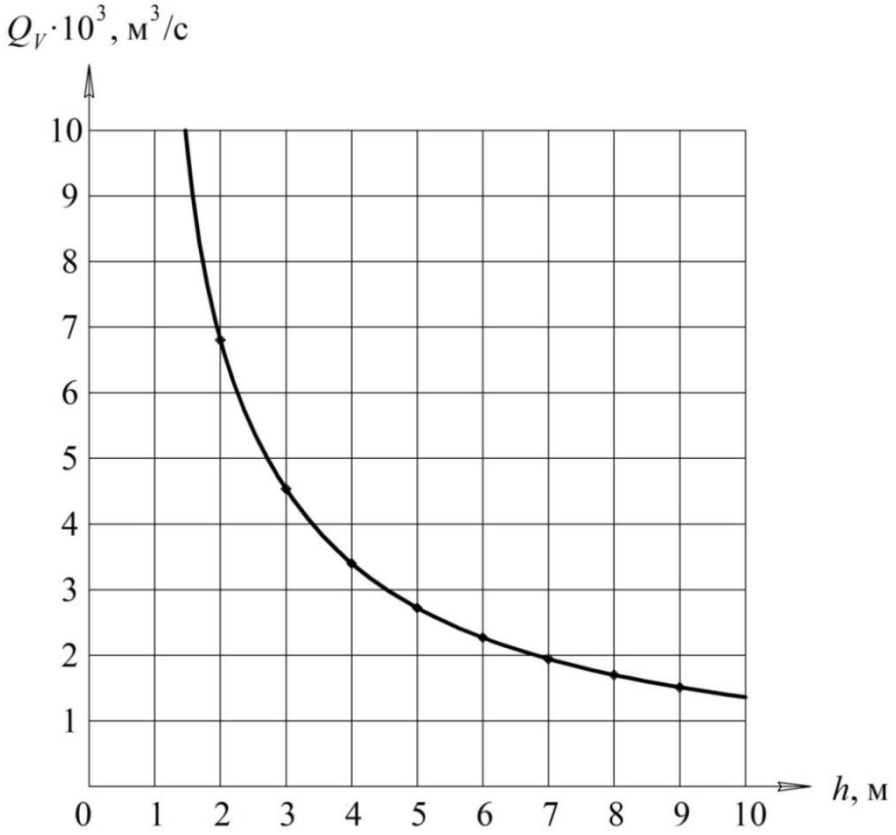


Рис. 2. График зависимости расхода воды от уровня ВБ при постоянной мощности ГЭС

Таким образом, контроль уровня воды в верхнем бьефе является важнейшим условием обеспечения нормального режима работы ГЭС.

В засушливое время, когда расход воды превышает её приток, необходимо прогнозировать время, в течение которого станция будет работать в нормальном режиме до тех пор, пока уровень воды в ВБ не достигнет критического значения.

Если площадь водоёма S, а критическое значение уровня ВБ, при котором обеспечивается заданная мощность станции, $h_к$, то время работы ГЭС в нормальном режиме определяется из равенства t:

$$Q_{v\text{ср}} t = \left(h - h_к\right) S,$$

где $Q_{v\ \text{ср}}$ – среднее значение расхода воды при понижении уровня ВБ от h до критического значения $h_к$; S – площадь водохранилища.

Отсюда

$$t = \frac{(h - h_к)}{Q_{V\text{ср}}}, \tag{9}$$

где $Q_{V\text{ср}}$ находится через интеграл:

$$Q_{V\text{ср}} = \frac{1}{h - h_к} \int_{h}^{h_к} \frac{w}{\eta p g h} \mathrm{dh} = \frac{w}{\eta p g (h - h_к)} (\ln h - \ln h_к). \tag{10}$$

Выражения (9) и (10) позволяют спрогнозировать время нормальной работы ГЭС при понижении уровня ВБ до критического значения.

Например, при мощности ГЭС, упомянутой выше, площади водохранилища $S = 100 \cdot 10^6$ м^2 и понижении уровня воды в ВБ на 3 м, время нормальной работы станции составит 53 ч.

В засушливое время при отсутствии внешнего притока воды работоспособность ГЭС можно сохранить, понизив мощность гидрогенераторов [3]. С учётом выражений (9) и (10) зависимость времени работы станции от мощности гидрогенераторов определяется выражением:

$$t = \frac{(h - h_к)^2 S \eta p g}{w(\ln h - \ln h_к)}. \tag{11}$$

На рис. 3 представлен график зависимости времени работы ГЭС от её мощности при понижении уровня воды в ВБ на 3 м и при описанных выше параметрах водохранилища.

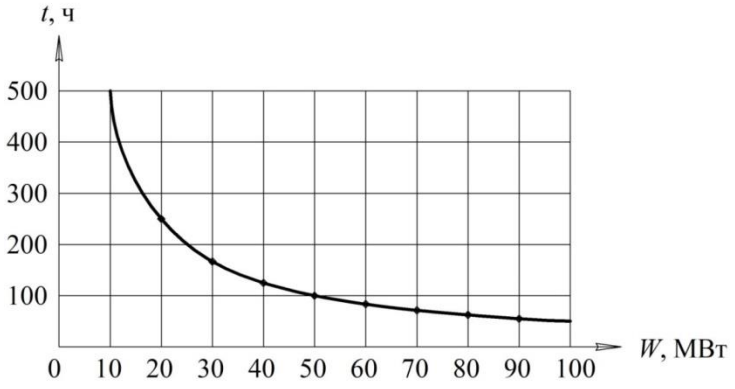


Рис. 3. График зависимости времени работы ГЭС от её мощности при понижении уровня воды в водохранилище на 3м

Приведённые выше примеры показывают значимость контроля уровня воды в ВБ плотины. Для этой цели целесообразно использовать буйковый уровнемер, схема которого показана на рис. 4 [4].

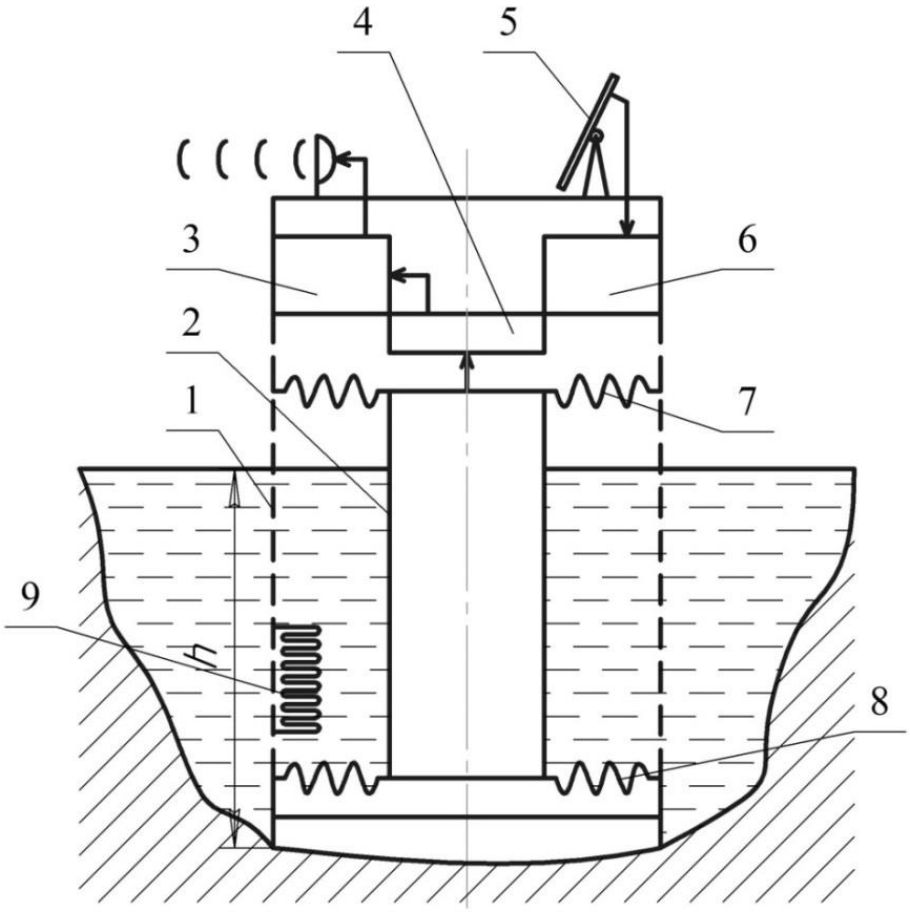


Рис. 4. Схема буйкового уровнемера с приёмно-передающей аппаратурой: *1* – решетчатую стойку; *2* – буёк; *3* – приёмно-передаточную аппаратуру; *4* – датчик силы; *5* – солнечную батарею; *6* – аккумулятор; *7* и *8* – диафрагменные пружины, на которых закреплён буёк; *9* – нагревательный элемент с датчиком температуры

Стойка *1* устанавливается на дно водохранилища с небольшим углублением неподалеку от плотины в защищённом ото льда месте. Передача измерительной информации осуществляется по запросу персонала ГЭС с помощью приёмно-передаточной аппаратуры *3* на основе радиосигнала. Питание аппаратуры – автономное, с использованием солнечной батареи *5* и аккумулятора *6*. Для защиты буйка от обмерзания и покрытия льдом в зимнее время используется нагревательный элемент *9* с терморегулятором.

Измерение уровня воды производится следующим образом. На буёк, погруженный в воду, действует две силы: вес $P = mg$ и сила Архимеда $F_A = \rho g V_п$, где $V_п$ – объём погруженной в воду части буйка, который равен:

$$V_п = Sh, \tag{12}$$

где S – площадь поперечного сечения буйка; h – уровень воды, в которой находится буёк.

Разность двух сил прикладывается к датчику силы 4, который преобразует её в электрический сигнал u:

$$u = k\,(F_A - P) = k\,(\rho g S h - mg), \qquad (13)$$

где k – коэффициент преобразования датчика силы.

Из (13) видно, что сигнал на выходе датчика силы зависит только от уровня воды h, так как все остальные величины остаются неизменными.

Сигнал с датчика силы поступает в приёмно-передаточную аппаратуру и посредством радиосигнала передаётся на пульт управления ГЭС. Для преобразования архимедовой силы в электрический сигнал удобно и целесообразно применять стандартные тензомодули [5].

Источники

1. Гидроэлектрические станции: Учебник для студентов высших учебных заведений / Н.Н. Аршеневский [и др.]. 2-е изд., перераб. М.: Энергия, 1980. 368 с.

2. Ильиных И.И. Гидроэлектростанции: учеб. для энерг. и энергостроит. техникумов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 1988. 246 с.

3. Гидроэнергетическое и вспомогательное оборудование гидроэлектростанций: справочное пособие. В 2 т. / под ред. Ю.С. Васильева, Д.С. Щавелева. Основное оборудование гидроэлектростанций / Л.Ф. Абдурахманов [и др.]. М.: Энергоатомиздат, 1988. Т. 1. 399 с.

4. Измерения в промышленности: справ. изд. В 3-х кн. Кн. 2. Способы измерения и аппаратура / пер. с нем.; под ред. П. Профоса. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Металлургия, 1990. 344 с.

5. Дж. Фрайден. Современные датчики. Справочник. М.: Техносфера, 2005. 592 с.

УДК 629.5

АВТОМАТИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ ПОСРЕДСТВОМ ЭЛЕКТРОПРИВОДА В КОНЦЕПЦИИ «УМНЫЙ ДОМ»

Алексей Сергеевич Лахменев[1], Александр Васильевич Саушев[2]

ФГБОУ ВО «ГУМРФ им. адмирала С.О. Макарова», г. Санкт-Петербург

[1]alakhmenev@gmail.com, [2]saushev@bk.ru

Статья посвящена современным энергосберегающим технологиям, которые используются для комфортного проживания. Описаны способы реализации и указаны основные направления развития современных энергосберегающих технологий.

Рассмотрено использование электропривода и температурных датчиков для экономии тепловой энергии. Описан принцип построения системы автоматизации отопления. Рассмотрены электроприводы для регулирования подачи тепловой энергии. Приведена схема управления отоплением. Сделаны выводы по современному состоянию развития энергосберегающих технологий на основе управления «умный дом». Приведено экономическое обоснование от внедрения данной системы.

Ключевые слова: «умный дом», электропривод, система отопления, автоматизация жилого комплекса, интеллектуальные системы.

AUTOMATION OF THE HEATING SYSTEM BY MEANS OF ELECTRIC DRIVE IN THE CONCEPT OF «SMART HOME»

Alexey Sergeevich Lakhmenev, Alexander Vasilyevich Saushev

The article is devoted to modern energy-saving technologies that are used for comfortable living. Ways of implementation are described and the main directions of development of modern energy-saving technologies are indicated. Considered the use of electric and temperature sensors to save thermal energy. The principle of construction of a heating automation system is described. Considered electric drives to regulate the flow of thermal energy. The heating control circuit is shown. The conclusions on the current state of development of energy-saving technologies based on the management of “smart home”. The economic justification for the implementation of this system is given.

Key words: “smart home”, electric drive, heating system, residential complex automation, intelligent systems.

Энергосберегающие технологии – группа мероприятий, направленных на более эффективное и рациональное использование энергетических и топливных ресурсов. Они реализуются с целью экономии тепловой энергии, электрической энергии, воды, топлива, возобновляемых источников энергии и направлены как на достижение экономической эффективности, рентабельности производства, так и на уменьшение влияния на окружающую среду. К основным энергосберегающим технологиям относят использование энергосберегающего оборудования (энергосберегающие лампы, энергоэффективные электроприборы и др.), управление электроэнергией дома с помощью системы «умный дом», утепление дома. В последние годы наиболее часто для комфортного проживания и энергосбережения используется система «умный дом». Наибольшая степень комфорта может быть достигнута лишь одним способом – построением единой системы управления всеми электроприборами в пределах одного здания. Для осуществления данной задачи необходимо, чтобы электроприборы поддерживали общий язык управления. С этой целью в Европе была разработана технология KNX или единый стандарт приемника [1–5].

Общий канал связи между всеми существующими в доме электроприборами позволяет им передавать и принимать информацию от системных устройств, управляемых специализированными программами. По принципу работы система KNX внешне схожа с локальной сетевой связью между компьютерами, однако ее использование значительно шире. Полученные от датчиков сигналы обрабатываются системными устройствами, выработанные на основе программного анализа данных команды отправляются одному исполнительному механизму или нескольким механизмам одновременно. При поступлении команды каждый исполнитель подтверждает ее получение. Система управления домом, основанная на технологии KNX, позволяет управлять всеми электроприборами одновременно лишь нажатием одной кнопки.

Для эффективного регулирования тепловой энергии в доме необходимо наличие температурных датчиков и схемы реализации исполнительных механизмов, а также управляемого ключа на базе 1-wire [6].

В отличие от включения/выключения освещения, регулирование системы отопления в первую очередь определяется применяемым отопительным оборудованием. Самое распространенное оборудование, применяемое в отопительных системах: ТЭН (трубчатые электронагреватели) и трехходовые клапаны. Регулировка мощности ТЭН осуществляется принципиально иным способом, чем регулировка посредством трехходовых смесителей.

Рассмотрим концепцию «Умный дом» на базе использования трех ходовых смесителей ESBE. Такие смесители устанавливается в тех местах трубопровода, где необходимо разбить циркуляционный поток на два контура – с постоянным и переменным гидравлическим режимом. При этом достигается нужная температура подачи тепловой энергии. Вращать такой клапан можно вручную или с помощью электропривода, например, той же фирмы ESBE. Данный привод приведен на рис. 1. Приводы ESBE бывают с двух- и 3-точечным регулированием, а также пропорциональным регулированием 0–10 В [7].

В концепции «Умный дом» наиболее эффективным является использование 3-точечного регулирования с питанием от 220 В.

Рассмотрим принцип работы электропривода для регулирования подачи. Замыкая один контакт, электропривод вращается по часовой стрелке, замыкая второй контакт, против часовой стрелки.

Для реализации данного регулирования подачи тепловой энергии потребуется двухканальная микросхема DS2406P [8].

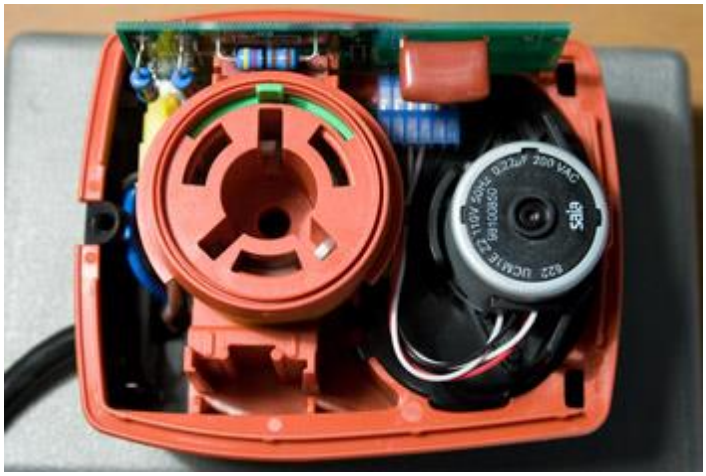


Рис. 1. Привод ESBE ARA661

У привода ESBE нормируется время полного открытия. Это означает, что, замыкая контакт на 10 с, можно установить, в каком положении находится привод.

Показания положения электропривода можно получить и другим способом. Достаточно, например, добавить в каждый контур отопления температурный датчик DS18B20 [9]. Он устанавливается в отопительный контур поддачи тепловой энергии от котла и в контур после смесительного крана, чтобы получать достоверные данные о положении привода и крана. Для поддержания постоянной температуры в доме знать точное положение электропривода необязательно. В случае достижения крайних положений концевые выключатели электропривода автоматически отключат электродвигатель.

Для автоматизации управления отоплением потребуется 2-канальный компонент DS2406P компании Dallas, предназначенный для работы в сетях 1-wire. На рис. 2 показан модуль на базе этого компонента.

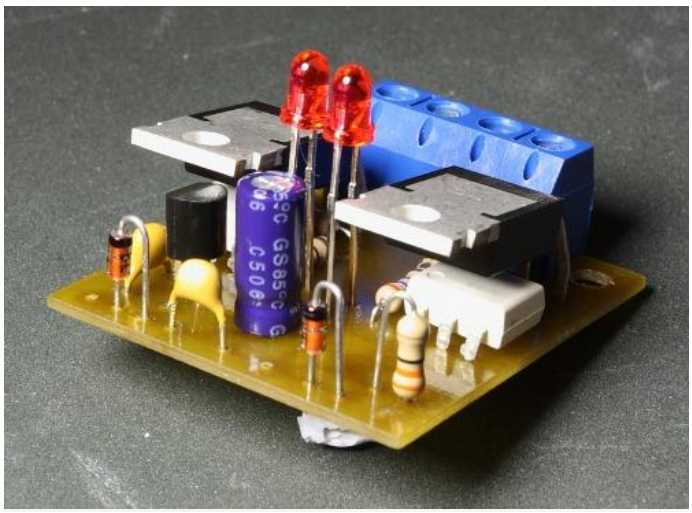


Рис. 2. Внешний вид платы 2-канального ключа 1-wire для управления электроприводом

Для эффективного регулирования подачи необходимо два таких модуля. Один модуль управляет приводом 3-ходового основного контура отопления (один канал для увеличения температуры, другой – для уменьшения). Второй модуль необходим для автоматического включения насоса контура (канал А) и запроса подачи тепловой энергии от котла (канал Б). Для подключения котла к программе управления потребуется использование платы на базе MAX232A, это даст возможность напрямую задавать температуру работы котла.

Таким образом, для регулирования температуры радиаторов отопления достаточно обеспечить автоматическое управление только электроприводом 3-ходового крана с помощью 2-канального модуля на базе компонента DS2406P. Однако в целях экономии энергоресурсов в течение времени непостоянного использования оборудования требуется регулирование насоса системы управления и котлом. Это позволит снизить затраты на электроэнергию и газ. Программа управления определяет, когда кран находится в закрытом состоянии и отключает насос и котел. Данное управление особенно востребовано в межсезонье, когда в дневное время подача тепла не нужна, а ночью необходимо подавать горячую воду в систему отопления, для поддержания постоянной комфортной температуры в доме. С целью обеспечения постоянной температуры с течением длительного времени для управления всей системы автоматизации используется программируемый контроллер или специальный управляющий компьютер. При этом не допускается перегрев котельного контура во всех режимах работы схемы [10].

Для создания более эффективного процесса регулирования на практике применяют гидравлический разделитель. Этот элемент позволяет разделить котельный (генерирующий тепло) контур и отопительный, радиаторный (потребляющий тепло) контур [6]. Гидравлический разделитель представляет из себя трубчатый канал с четырьмя отверстиями. Слева подключается подача и отвод обратного потока котельного контура, а справа подача и отвод обратного потока потребляющего коллектора (к которому может быть подключено любое количество контуров).

Рассмотрим принцип работы такой системы. На первом этапе необходимо произвести расчет по расходу воды. Если сделан правильный расчет, то в режиме максимального потребления тепла подача котельного контура целиком поступает в подачу потребляющего коллектора. В случае если котел вырабатывает избыточное тепло, прикрылись 3-ходовые, отключились некоторые контуры, теплоноситель частично поступает в потребляющий контур, а частично начинает циркулировать только

в котельном контуре (подача поступает в каналы обратного потока тепловой энергии). Если же расход воды в потребляющем контуре выше, чем расход воды в котельном контуре, то потребляющий контур начинает подсасывать свой же обратный поток тепловой энергии.

Одна из возможных принципиальных схем отопления с использованием гидравлического разделителя приведена в работе [13]. Схема уникальна тем, что позволяет полностью избавиться от нежелательных эффектов, вызванных ненормированным расходом теплоносителя через котлы, нивелировать гидравлические удары. Пусть, например, подача теплоносителя в потребляющие контуры перекрыта полностью. В этом случае котельный контур будет гонять теплоноситель по «малому» кругу [14] и это не приведет к потере работоспособности системы. Схема очень надежна и удобна с точки зрения автоматического регулирования. Можно как угодно вращать электропривод, включать или выключать насосы, устанавливать любую температуру котла и т. п. При этом расход воды через котлы будет всегда одинаковым. Схема с гидравлическим разделителем также весьма удобна в случае использования нескольких котлов. Тот или иной потребляющий контур будет отбирать то количество тепла, которое ему нужно, а котельный контур автоматически, с помощью любого количества котлов, будет обеспечивать требуемое количество тепла.

Для управления всеми контурами подачи тепла необходим специальный алгоритм управления. Один из таких алгоритмов рассматривается в работе [15]. Алгоритм программы управления построен на анализе температуры внешней (на улице) и внутренней (внутри помещения). В этом смысле алгоритм в некотором роде является неадаптивным. Главным фактором в алгоритме программы управления является температура внутри помещения. Анализ показал, что при одной и той же температуре на улице и в системе отопления температура в помещении может быть разной. Это объясняется внешними факторами, например, такими как сила ветра и его температура. Промышленные контроллеры не могут учитывать скорость, направление ветра и влажность, поэтому бывают случаи неправильного выбора системой управления температуры теплоносителя.

Необходимо также учитывать не моментальные текущие значения температуры на улице и внутри помещения, а средние за определенный промежуток времени. Для улицы это, как правило, 3 часа, а для помещения – 1 час. Это делается для минимизации воздействия случайных факторов. При использовании высокочувствительных датчиков температуры, таких как DS18B20, значение текущей температуры может быстро меняться,

если, например, на несколько секунд открыть окно или включить мощный приемник электрической энергии. Кроме этого, программа управления отслеживает в процессе регулирования системы отопления не только температуру в помещении, но и изменение этой температуры. Это позволяет снизить количество ненужных поворотов привода 3-ходового смесителя.

В настоящее время система «умный дом» является одной из передовых систем в технологиях электро- и теплосбережения. Концепция «умный дом» имеет ряд преимуществ: снижение затрат на организацию, обслуживание и эксплуатацию оборудования; мобильное управление помещением в любое время; снижение затрат, связанных с энергопотреблением.

Источники

1. Elite-systems. URL: http://www.elite-systems.ru/ (дата обращения 17.10.2018).

2. Housecontrol URL: http://www.housecontrol.ru/ (дата обращения 17.10.2018).

3. Авдуевский А. Крыша для интеллекта // Журнал сетевых решений LAN, 2008. № 12. URL: https://www.osp.ru/lan/1998/12/133879/ (дата обращения: 17.10.2018).

4. Архипов В. Системы для «интеллектуального» здания // Строй Маркет, 2009. № 45.

5. Харке В.Н. Умный дом. Объединение в сеть бытовой техники и систем коммуникаций в жилищном строительстве // М.: Техносфера, 2006. 292 с.

6. Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф. Базы знаний интеллектуальных систем: учебник. СПб.: Питер, 2000. 384 с.

7. Гололобов В.Н. «Умный дом» своими руками. М.: НТ Пресс, 2007. 416 с.

8. Тесля Е.А. Умный дом» своими руками. Строим интеллектуальную цифровую систему в своей квартире. СПб., 2008. 224 с.

9. Fieldbus Foundation: офиц. сайт. URL: http: // www.fieldbus.narod.ru/ (дата обращения 17.10.2018).

10. Кашкаров А. П. Электронные схемы для «умного дома». М.: NT Press, 2007. 256 с.

11. Королев Ю. Умный дом: приятная неизбежность URL: http:// www.sf.perm.ru /kd_dop _house.html (дата обращения 17.10.2018).

12. Станкевич Л.А. Представление знаний и интеллектуальные системы. СПб.: СПбГПУ, 2008. 156 с.

13. Сопер М.Э. Практические советы и решения по созданию «Умного дома ». М.: НТ Пресс, 2007. 432 с.

14. Марк Э.С. Практические советы и решения по созданию «Умного дома» / пер. с англ. А. Ю. Карцева. М.: НТ Пресс, 2007. 421 с.

15. Байгозин Д.В., Первухин Д.Н., Захарова Г.Б. Разработка принципов интелектуального управления инженерным оборудованием в системе «умный дом» // Известия томского политехнического университета. 2008. Т. 113, № 5. С. 168–172.

16. Харке В. Умный дом. Объединение в сеть бытовой техники и системы коммуникаций в жилищном строительстве / пер. с нем. И.В. Радченко. М.: Техносфера, 2006. 287 с.

УДК 004.942, 62-83, 621.313.333, 621.314.5

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ЧАСТОТНЫМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ ПРИ ПОДДЕРЖАНИИ ПОСТОЯНСТВА ПОТОКОСЦЕПЛЕНИЯ СТАТОРА

Валерий Геннадьевич Макаров[1], Айнур Талгатович Аббазов[2]

ФГБОУ ВО «КНИТУ», г. Казань

[1,2]electroprivod@list.ru

Рассматривается модель частотно-регулируемого электропривода с трехфазным асинхронным двигателем. Регулирование скорости осуществляется при постоянстве потокосцепления статора. Проведен анализ состава и назначения блоков модели. Предлагаемая модель позволяет проводить анализ электромагнитных и электромеханических процессов в переходных и установившихся режимах работы.

Ключевые слова: компьютерное моделирование, преобразователь частоты, частотное регулирование скорости, трехфазный асинхронный двигатель.

COMPUTER MODELLING ASYNCHRONOUS ELECTRIC DRIVE WITH FREQUENCY REGULATED BY SUPPORTING CONSTANCY STATOR SWITCHING

Valery Gennadievich Makarov, Aynur Talgatovich Abbazov

A model of a frequency-controlled electric drive with a three-phase asynchronous motor is considered. Speed control is carried out at a constant stator flux linkage. The analysis of the composition and purpose of the model blocks. The proposed model allows the analysis of electromagnetic and electromechanical processes in transient and steady-state operation.

Key words: computer simulation, frequency converter, frequency rate control, three-phase asynchronous motor.

Асинхронный частотно-регулируемый электропривод является мощным средством повышения энергетической эффективности технологического оборудования и ресурсосбережения, поэтому находит широкое практическое применение во многих отраслях промышленности, жилищно-коммунальном хозяйстве, на транспорте, в специальной технике и др. [1–4].

Теоретические основы частотного регулирования скорости трахфазных асинхронных двигателей, принципы построения и функциональные схемы замкнутых по скорости электроприводов на их основе со скалярным и векторным управлением рассматриваются в работах [3, 4], где показано, что регулирование скорости асинхронного двигателя может осуществляться как при поддержании постоянства потокосцепления статора, так и ротора.

Одной из рассматриваемых в работах [3, 4] систем является асинхронный электропривод с частотным регулированием скорости при поддержании постоянства потокосцепления статора, функциональная схема которого приведена на рис. 1.

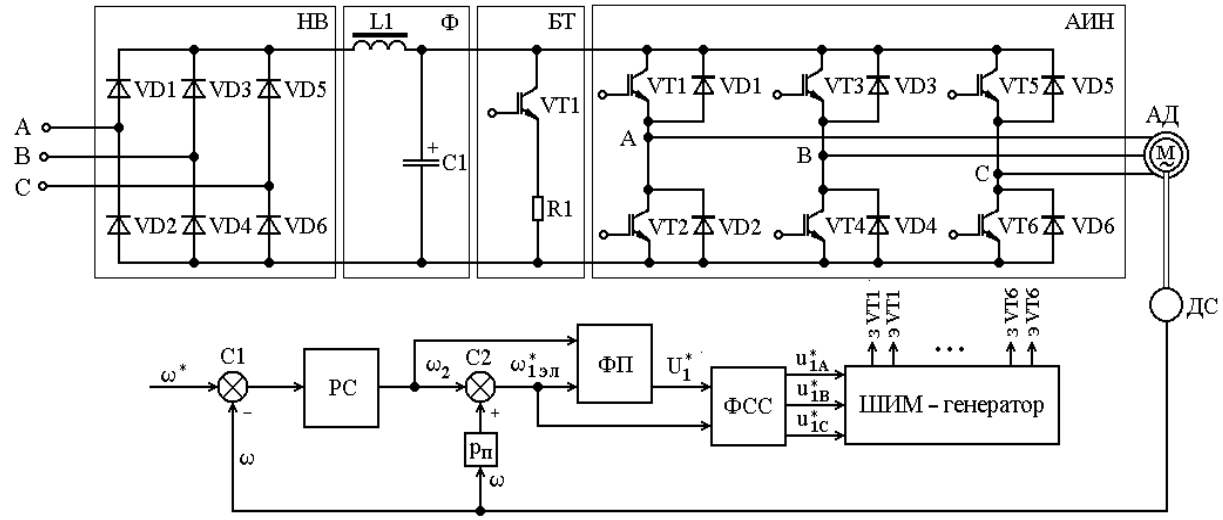


Рис. 1. Функциональная схема асинхронного электропривода с частотным регулированием скорости при поддержании постоянства потокосцепления статора: НВ – неуправляемый выпрямитель; Ф – сглаживающий *LC*-фильтр; БТ – блок торможения; АИН – автономный инвертор напряжения; АД – трехфазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором; РС – регулятор скорости; ФП – функциональный преобразователь; ФСС – формирователь синусоидальных сигналов; ШИМ-генератор; С1 и С2 – сумматоры; ДС – датчик скорости

В работах [3, 4] для рассматриваемого электропривода с асинхронным двигателем мощностью 1,1 кВт проведен расчет характеристик функционального преобразователя (ФП), а в работе [4] – синтез системы управления методом логарифмических частотных характеристик и результаты моделирования процесса пуска при номинальной нагрузке в пакете

MatLab. Моделирование в работе [4] осуществлялось с использованием математического описания асинхронного двигателя (АД) с позиций теории обобщенной электрической машины без учета специфики работы преобразователя частоты (ПЧ), которая обусловлена широтно-импульсной модуляцией (ШИМ), а для характеристик ФП использовалась линейная аппроксимация. Модель электропривода при этом не приводится, поэтому актуальной является задача разработки модели асинхронного электропривода с поддержанием постоянства потокосцепления статора в MatLab.

Решению этой задачи посвящена данная статья. Для проведения более корректного моделирования проведен расчет и выбор элементов силовой части автономного инвертора напряжения (АИН) с использованием методик проектирования, приведенных в работах [5, 6]. Все расчеты проводились с использованием величин и параметров АД 4А100L4У3 [7]. На основании результатов расчета для построения АИН выбран силовой IGBT-модуль М6ТКИ – 25–12 [8].

Расчет характеристик ФП является актуальным как при создании математической модели, так и при настройке электропривода, поскольку одной из функций современных преобразователей частоты является возможность задания этих зависимостей. Согласно методике, приведенной в [5, 6], расчет характеристик ФП осуществляется с учетом принципа IR-компенсации.

Схема модели асинхронного электропривода с частотным регулированием скорости при поддержании постоянства потокосцепления статора показана на рис. 2.

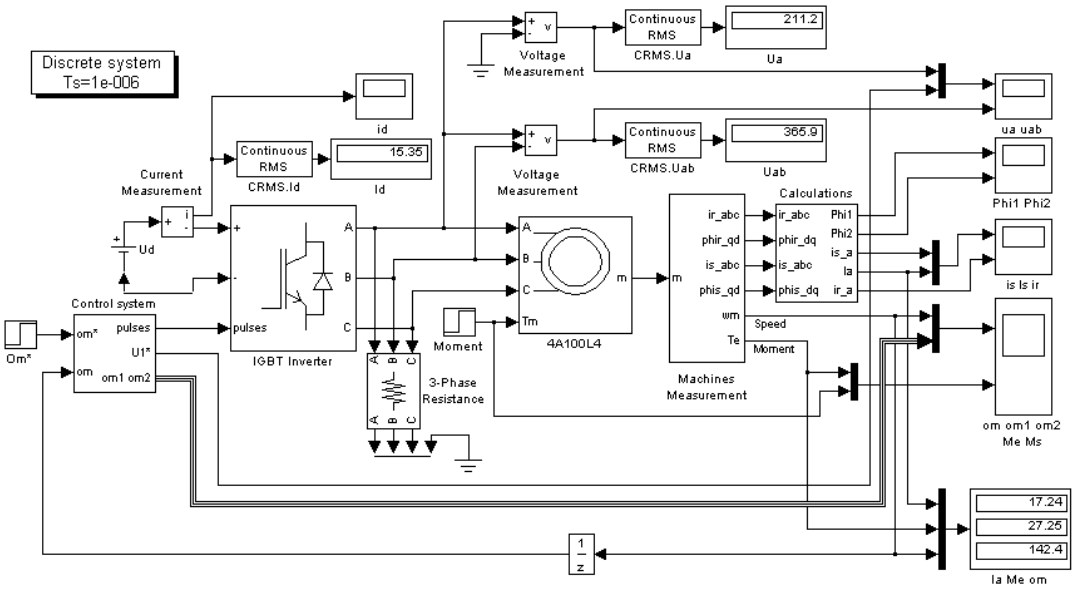


Рис. 2. Схема модели асинхронного электропривода с частотным регулированием скорости при поддержании постоянства потокосцепления статора

В состав рассматриваемой модели входят следующие блоки:

• источник постоянного напряжения *Ud*, который выполнен на основе блока DC Voltage Source из библиотеки SimPowerSystems/Electrical Sources;

• блок задания угловой скорости ротора Om*, выполненный на основе блока Step из библиотеки Simulink/Sources;

• блок Control system, выполненный на основе блока Subsystem из библиотеки Simulink/Ports & Subsystems, в котором реализована система управления электропривода, включающая в себя РС, ФП, ФСС и ШИМ-генератор;

• блок Current Measurement, установленный между источником постоянного напряжения *Ud* и блоком IGBT Inverter, который предназначен для соединения измерительных блоков библиотеки Simulink с блоками пакета SimPowerSystems;

• блок IGBT Inverter, выполненный на основе блока Universal Bridge из библиотеки Power Electronics, с использованием которого реализован автономный инвертор напряжения на IGBT-транзисторах;

• блок 3-Phase Resistance, выполненный на основе блока 3-Phase Series RLC Branch, предназначен для создания искусственной нейтральной точки, относительно которой измеряются фазные напряжения АИН;

• блок измерения среднего значения тока источника питания CRMS.Id, который выполнен на основе блока CRMS из библиотеки NCD Blockset/RMS Blocks;

• блок Id для количественного представления измеренного среднего значения тока источника питания из библиотеки Simulink/Sinks;

• блоки Voltage Measurement, установленные между блоками IGBT Inverter и CRMS.Ua, CRMS.Uab, которые предназначены для соединения измерительных блоков библиотеки Simulink с блоками пакета SimPower Systems;

• трехфазный АД 4A100L4, выполненный на основе блока Asynchronous Machine SI Units из библиотеки SimPowerSystems/Machines;

• блок Ms для задания статического момента на валу АД, выполненный на основе блока Step из библиотеки Simulink/Sources;

• два блока измерения действующих значений линейного CRMS.Uab и фазного CRMS.Ua напряжений статора, выполненные на основе блока CRMS из библиотеки NCD Blockset/RMS Blocks;

• блоки *Uab* и *Ua* для количественного представления измеренных действующих значений линейного и фазного напряжения, выполненные на основе блока Display из библиотеки Simulink/Sinks;

• универсальный блок измерения переменных машины Machines Measurement из библиотеки SimPowerSystems/Machines;

• блоки id; uab ua; Phi1 Phi2; is Is ir; om om1 om2 Me Ms, выполненные на основе блока Scope из библиотеки Simulink/Sinks, для наблюдения временных диаграмм соответственно: тока, потребляемого АИН от источника постоянного напряжения; линейного и фазного напряжений; потокосцеплений статора и ротора; фазного тока статора, действующего значения фазного тока статора, фазного тока ротора; угловой скорости ротора, угловой скорости магнитного поля статора, угловой скорости скольжения, электромагнитного и статического момента;

• блок Ia Me Om, выполненный на основе блока Display из библиотеки Simulink/Sinks, для количественного представления измеренных действующего значения фазного тока статора, электромагнитного момента и угловой скорости ротора;

• блок Calculations, выполненный на основе блока Subsystem из библиотеки Simulink/Ports & Subsystems, предназначен для вычисления действующего значения фазного тока статора, потокосцеплений статора и ротора, а также выбора из трехфазной системы токов статора и ротора токов первой фазы;

• блок задержки на один шаг модельного времени Unit Delay из библиотеки Simulink/Discrete;

• блок Gain из библиотеки Simulink/Math Operations, в настройках которого задается коэффициент, равный числу пар полюсов АД;

• блок Discrete system из библиотеки SimPowerSystems позволяет задавать время дискретизации.

В блоке Control system в соответствии со схемой на рис. 1 реализован ФП и формирователь синусоидальных сигналов (ФСС). Кроме того, в состав Control system входят РС и ШИМ-генератор, который выполнен на основе блока PWM Generator из библиотеки SimPowerSystems/Extra Library/Control Blocks. Отметим, что в данном случае несущая частота ШИМ задавалась равной 15 кГц.

Компьютерное моделирование, проведенное с использованием модели асинхронного электропривода с частотным регулированием скорости при поддержании постоянства потокосцепления статора на рис. 4, подтвердило ее работоспособность.

С помощью предлагаемой модели может быть проведен количественный и качественный анализ электромагнитных и электромеханических процессов в переходных и установившихся режимах работы асинхронного электропривода с частотным регулированием скорости при поддержании постоянства потокосцепления статора.

При корректировке параметров отдельных блоков модель может быть использована для АД других типов, а введение в ее состав датчиков фазных токов статора и внесение изменений в блок Control system позволит реализовать и другие алгоритмы частотного регулирования скорости, включая векторное управление.

Источники

1 Белов М.П., Новиков В.А., Рассудов Л.Н. Атоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов. М.: Академия, 2004. 576 с.

2. Макаров В.Г. Асинхронный электропривод с оптимальными режимами работы. Казань: Казан. гос. технол. ун-та, 2010. 300 с.

3. Соколовский Г.Г. Теория и системы электропривода (электроприводы переменного тока). С.-Пб.: СПбГЭТУ (ЛЭТИ), 1999. 80 с.

4. Соколовский Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием. М.: Академия, 2006. 272 с.

5. Использование электрической энергии справ. В 4 т. / под общ. ред. В.Г. Герасимова и др. М.: Изд-во МЭИ, 2004. Т. 4. 696 с.

6. Справочник по автоматизированному электроприводу / Под ред. В.А. Елисеева, А.В. Шинянского. М.: Энергоатомиздат, 1988. 456 с.

7. Кравчик А.Е. Асинхронные двигатели 4А. М.: Энергоиздат, 1982. 504 с.

8. Каталог IGBT-модулей. URL: http://www.elvpr.ru/poluprovodnik-prib/IGBT_CFRD/600V/M6TKI-30-06.pdf (дата обращения: 18.09.2018).

УДК 004.942, 621.313.333, 621.314.5

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗОМКНУТОЙ МЕХАТРОННОЙ СИСТЕМЫ «АВТОНОМНЫЙ ИНВЕРТОР НАПРЯЖЕНИЯ – ТРЕХФАЗНЫЙ АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ»

Валерий Геннадьевич Макаров[1], Нагим Ильсурович Гараев[2]

ФГБОУ ВО «КНИТУ», г. Казань,

[1,2]electroprivod@list.ru

Рассматривается модель разомкнутой мехатронной системы «автономный инвертор напряжения – трехфазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором». Проведен анализ состава и назначения блоков этой установки. Предлагаемая модель позволяет проводить анализ электромагнитных и электромеханических процессов

в переходных и установившихся режимах работы, исследование динамической механической и рабочих характеристик, анализ спектрального состава и построение годографов пространственных векторов напряжения и тока обмотки статора трехфазного асинхронного двигателя при различных способах управления силовыми транзисторами автономного инвертора напряжения.

Ключевые слова: преобразователь частоты, компьютерное моделирование, трехфазный автономный инвертор напряжения, трехфазный асинхронный двигатель.

COMPUTER MODELLING OPEN MECHATRONIC SYSTEM “AUTONOMOUS VOLTAGE INVERTER - THREE-PHASE ASYNCHRONOUS MOTOR WITH A SHORT-CLOSED ROTOR”

Valery Gennadievich Makarov, Nagim Ilsurovich Garayev

The model of the open-ended mechatronic system «autonomous voltage inverter - three-phase asynchronous motor with a squirrel-cage rotor» is considered. The analysis of the composition and purpose of the blocks of this installation. The proposed model allows for the analysis of electromagnetic and electromechanical processes in transient and steady-state operation, the study of dynamic mechanical and performance characteristics, the analysis of the spectral composition and the hodograph construction of spatial voltage vectors and stator winding currents for a three-phase asynchronous motor with various methods of controlling power transistors of an autonomous voltage inverter .

Key words: frequency converter, computer simulation, three-phase autonomous voltage inverter, three-phase asynchronous motor.

На современном этапе развития науки и техники асинхронный частотно-регулируемый электропривод прочно занимает лидирующее положение среди приводных устройств и обеспечивает бесперебойную и надежную работу технологических механизмов во многих отраслях промышленности и специальной техники [1, 2]. Неотъемлемой составной частью такого электропривода является преобразователь частоты (ПЧ), предназначенный для регулирования частоты и напряжения или частоты и тока обмотки статора асинхронного двигателя (АД).

В асинхронных частотно-регулируемых электроприводах преимущественно используются двухзвенные преобразователи частоты (ДПЧ) с автономными инверторами напряжения (АИН) или тока (АИТ), питание которых осуществляется от управляемых (УВ) или неуправляемых (НВ) выпрямителей. Наиболее распространенной для построения АИН и АИТ является трехфазная мостовая схема на биполярных транзисторах с изолированным затвором (*IGBT*). Для управления силовыми транзисторами АИН и АИТ могут быть использованы 120-, 150- или 180-градусный законы коммутации, широтно-импульсное регулирование (ШИР) или широтно-импульсная модуляция (ШИМ) [1 – 6].

Широкое внедрение в практику асинхроннных частотно-регулируемых электроприводов делает актуальной проблему их теоретического анализа и экспериментального исследования [1 – 6]. Одним из основных этапов теоретического анализа является математическое моделирование и компьютерное исследование. В работах [2 – 6] показано, что в настоящее время одним из наиболее мощных программных продуктов для компьютерного моделирования силовых полупроводниковых преобразователей, электрических машин и электроприводов является пакет *MatLab*.

На рис. 1 показана модель мехатронной системы АИН – АД, в которой АИН представлен в виде универсального трехфазного моста на *IGBT*-транзисторах и диодах.

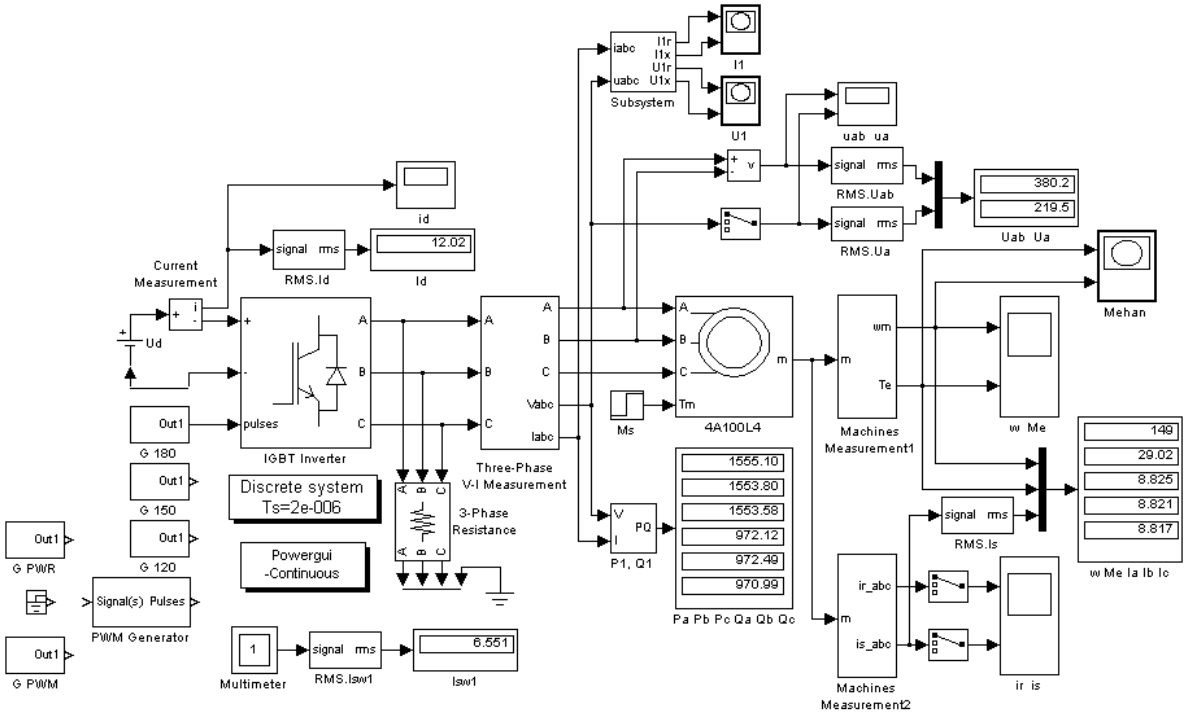


Рис. 1. Схема модели разомкнутой мехатронной системы АИН – трехфазный АД с короткозамкнутым ротором

Следует отметить, что в рассматриваемой модели реализованы 120-, 150- и 180-градусный законы коммутации, ШИР на несущей частоте, синусоидальная и трапецеидальная ШИМ. Для проведения более корректного моделирования АИН проведен расчет и выбор элементов его силовой части. При этом использовались методики проектирования, приведенные в работах [7, 8]. Расчет проводился для асинхронного двигателя 4А100L4У3. На основании результатов расчета для построения АИН выбран силовой IGBT-модуль М6ТКИ – 25 – 12 [9].

В состав рассматриваемой модели входят следующие блоки:

• источник постоянного напряжения *Ud*, выполненный на основе блока DC Voltage Source из библиотеки SimPowerSystems/Electrical Sources;

• блок G 120, в котором реализован 120-градусный закон коммутации;

• блок G 150, в котором реализован 150-градусный закон коммутации;

• блок G 180, в котором реализован 180-градусный закон коммутации;

• блок G PWR, в котором реализованы задающие напряжения для широтно-импульсного регулирования на несущей частоте;

• блок Ground из библиотеки Simulink/Sources;

• блок G PWM, в котором реализованы задающие напряжения для трапецеидальной широтно-импульсной модуляции;

• блок PWM Generator из библиотеки SimPowerSystems/Extra Library/ Control Blocks;

• блок IGBT Inverter, выполненный на основе универсального блока Universal Bridge из библиотеки Power Electronics, с использованием которого реализован трехфазный мостовой инвертор на IGBT-транзисторах;

• блок 3-Phase Resistance, выполненный на основе блока 3-Phase Series RLC Branch, предназначен для создания искусственной нейтральной точки, относительно которой измеряются фазные напряжения АИН;

• блок Multimeter из библиотеки SimPowerSystems/Measurements, предназначенный для наблюдения кривой тока силового полупроводникового модуля;

• блоки измерения действующего значения тока силового полупроводникового модуля RMS.Isw1 и среднего значения тока источника RMS.Id, выполненные на основе блока RMS из библиотеки SimPowerSystems/Extra Library/Measurements;

• блоки *Id*, Isw1, выполненные на основе блоков Display из библиотеки Simulink/Sinks, для количественного представления измеренных действующего значения тока силового полупроводникового модуля и среднего значения тока источника постоянного напряжения соответственно;

• измеритель переменного трехфазного напряжения и тока Three-Phase V-I Measurement из библиотеки SimPowerSystems/Measurements;

• блок Selector из библиотеки Simulink/Signal Routing, установленный между блоками Three-Phase V-I Measurement и RMS.*Ua*, который позволяет выбрать для наблюдения одно из фазных напряжений статора;

• блок Voltage Measurement для соединения измерительных блоков библиотеки Simulink с блоками пакета SimPowerSystems;

• трехфазный АД 4А100L4У3, выполненный на основе блока Asynchronous Machine SI Units из библиотеки SimPowerSystems/Machines;

• блок *Ms* для задания статического момента на валу АД, выполненный на основе блока Step из библиотеки Simulink/Sources;

• измеритель активной и реактивной мощности *P*1, *Q*1, выполненный на основе блока 3-phase Instantaneous Active & Reactive Power из библиотеки SimPowerSystems/Extra Library/Measurements;

• блок Pa Pb Pc Qa Qb Qc, выполненный на основе блока Display из библиотеки Simulink/Sinks, для количественного представления измеренных активных и реактивных мощностей фаз;

• блок Subsystem из библиотеки Simulink/Ports & Subsystems, с помощью которого реализовано вычисление пространственных векторов напряжения и тока статора АД;

• блоки I1 и U1, выполненные на основе блока XYGraph из библиотеки Simulink/Sinks, для наблюдения годографов пространственных векторов тока и напряжения обмотки статора соответственно;

• блок Mehan, выполненный на основе блока XYGraph из библиотеки Simulink/Sinks, для наблюдения динамической механической характеристики;

• два блока измерения действующих значений линейного RMS.*Uab* и фазного RMS.Ua напряжений статора, выполненные на основе блока RMS из библиотеки SimPowerSystems/Extra Library/Measurements;

• блок Uab Ua для количественного представления измеренных действующих значений линейного и фазного напряжения, выполненный на основе блока Display из библиотеки Simulink/Sinks;

• два универсальных блока измерения переменных машины Machines Measurement1 и Machines Measurement2 из библиотеки SimPowerSystems/Machines;

• блоки id, uab ua, w Me, ir is, выполненные на основе блока Scope из библиотеки Simulink/Sinks, для наблюдения кривых тока, потребляемого АИН от источника постоянного напряжения, линейного и фазного напряжения, скорости и электромагнитного момента, токов ротора и статора соответственно;

• блок измерения действующих значений фазных токов статора RMS.Is, выполненный на основе блока RMS из библиотеки SimPowerSystems/Extra Library/Measurements;

• блок Mehan, выполненный на основе блока XYGraph из библиотеки Simulink/Sinks, для наблюдения динамической механической характеристики;

• блок w Me Ia Ib Ic, выполненный на основе блока Display из библиотеки Simulink/Sinks, для количественного представления измеренных значений угловой скорости вращения ротора, электромагнитного момента и действующих значений фазных токов из главной библиотеки Simulink/Sinks;

• два блока Selector из библиотеки Simulink/Signal Routing, установленные между блоками Machines Measurement2 и ir is, которые позволяют выбрать для наблюдения один из фазных токов статора и ротора;

• блок Powergui из библиотеки SimPowerSystems, применяемый в данном случае для анализа спектрального состава кривых линейного и фазного напряжения и фазного тока статора;

• блок Discrete system из библиотеки SimPowerSystems позволяет адавать время дискретизации.

Для управления силовыми транзисторами блока IGBT-инвертор в модели на рис. 1 применяются блоки G 120, G 150 и G 180, с помощью которых реализованы 120-, 150- и 180-градусный законы коммутации соответственно. Эти блоки собраны на основе генераторов Pulse Generator из библиотеки Simulink/Sources. На рис. 1 показано, что к блоку IGBT Inverter подключен блок G 180. Для реализации ШИР на несущей частоте в модели на рис. 1 необходимо использовать блок G PWR в совокупности с блоком PWM Generator, для реализации синусоидальной ШИМ – блок Ground в совокупности с блоком PWM Generator, а для реализации трапецеидальной ШИМ – блок G PWM в совокупности с блоком PWM Generator.

Компьютерное моделирование, проведенное с использованием модели мехатронной системы АИН – АД (рис. 1), подтвердило ее работоспособность.

С помощью предлагаемой модели может быть проведен количественный и качественный анализ электромагнитных и электромеханических процессов в переходных и установившихся режимах работы, исследование динамической механической и рабочих характеристик, анализ спектрального состава и годографов пространственных векторов фазного напряжения и тока АИН при различных способах управления силовыми транзисторами. В модель дополнительно могут быть введены такие алгоритмы управления силовыми транзисторами АИН, как векторная ШИМ и ШИМ по методу «токового коридора». Рассматриваемая модель может быть использована при моделировании и исследовании не только разомкнутых, но и замкнутых мехатронных систем.

Источники

1. Макаров В.Г. Анализ современного состояния теории и практики асинхронного электропривода // Вестник Казанского технологического университета. 2011. Т. 14. – № 6. С. 109 – 120.

2. Макаров В.Г. Асинхронный электропривод с оптимальными режимами работы. Казань: Казан. гос. технол. ун-т, 2010. 300 с.

3. Цифровые электроприводы с транзисторными преобразователями/ С.Г. Герман-Галкин [и др.] / Л.: Энергоатомиздат, 1986. 248 с.

4. Герман-Галкин С.Г. Силовая электроника. Лабораторные работы на ПК. С.-Пб.: КОРОНА Принт, 2002. 304 с.

5. Герман-Галкин С.Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в MatLab 6.0. С.-Пб.: КОРОНА Принт, 2001. 320 с.

6. Герман-Галкин С. Г. MatLab & Simulink. Проектирование мехатронных систем на ПК. С.-Пб.: КОРОНА-Век, 2008. 368 с.

7. Использование электрической энергии справ.: В 4 т. Т. 4. / Под общ. ред. В.Г. Герасимова и др. М.: Изд-во МЭИ, 2004. 696 с.

8. Справочник по автоматизированному электроприводу / Под ред. В. А. Елисеева, А.В. Шинянского. М.: Энергоатомиздат, 1988. 456 с.

9. Каталог IGBT-модулей // ПАО «Электровыпрямитель»: сайт. URL: http://www.elvpr.ru/poluprovodnik-prib/IGBT_CFRD/600V/M6TKI-30-06.pdf (дата обращения: 15.08.18).

УДК 681.5

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПЕРЕКРЕСТНЫХ СВЯЗЕЙ В ВЕНТИЛЬНОМ ДВИГАТЕЛЕ

Николай Анатольевич Малёв[1], Артем Андреевич Харитонов[2]

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

[1,2]maleeev@mail.ru

В работе рассматриваются уравнения динамики вентильного двигателя во вращающейся системе координат. Проведено совместное моделирование вентильного двигателя и эквивалентного двигателя постоянного тока при различных уровнях входного напряжения. Показано влияние перекрестных связей на динамику вентильного двигателя при номинальном напряжении.

Ключевые слова: моделирование, вентильный двигатель, перекрестные связи, быстродействие.

ANALYSIS OF THE EFFECT OF CROSS RELATIONS IN THE VALVE ENGINE

Nikolay Anatolevich Malev, Artem Andreevich Kharitonov

In work the equations of dynamics of the valve engine in rotating coordinate system are considered. conducted joint simulation of a valve motor and an equivalent dc motor at different input voltage levels. The effect of cross-links on the dynamics of a valve engine at rated voltage is shown.

Key words: simulation, valve engine, cross-links, speed.

Вентильные двигатели (ВД) – это электромеханические устройства, в которых синхронная машина (СМ) с ротором в виде постоянного магнита и синусоидальным распределением магнитного поля в зазоре включена в замкнутую систему с использованием датчика положения ротора (ДПР), преобразователя координат (ПК) и автономного инвертора (АИ) (рис. 1). Форма магнитного поля в зазоре обуславливает способ формирования напряжения на выходе АИ. В ВД на выходе инвертора необходимо формировать синусоидальный ток, что достигается за счет синусоидальной широтно-импульсной модуляции в инверторе.

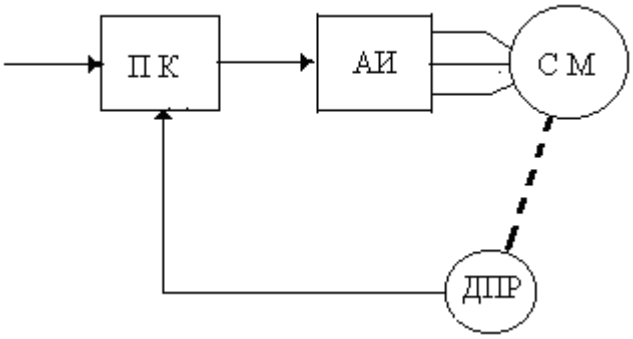


Рис. 1. Функциональная схема вентильного двигателя

Широтно-импульсная модуляция (ШИМ) реализуется в ПК, при этом амплитуда модулирующего сигнала определяется сигналом на входе ПК, а мгновенная фаза – углом поворота ротора (сигналом с ДПР). Таким образом, регулирование скорости ВД осуществляется за счет изменения входного сигнала.

Для упрощения математического описания ВД удобно использовать систему координат d–q, жестко связанную с ротором. При этом ось d совмещается с направлением магнитного потока ротора.

В этом случае операторные уравнения, которыми описываются электромагнитные и электромеханические процессы в вентильном двигателе, запишутся в виде:

$$U_d = R_\text{ф}\left(T_d s+1\right)i_d + p\Omega_\text{дв}L_q i_q;\quad U_q = R_\text{ф}\left(T_q s+1\right)i_q - p\Omega_\text{дв}(L_d i_d + \Phi_0);$$
$$M = \frac{3p\Phi_0}{2}\left[\Phi_0 i_q + \left(L_d - L_q\right)i_d i_q\right];\quad \Omega_\text{дв} = \left(M - M_\text{с}\right)\frac{1}{J_\Sigma}, \qquad (1)$$

где U_d, U_q, i_d, i_q – проекции напряжения и тока статора на оси d–q; $R_\text{ф}$ – сопротивление фазы статора; L_d, L_q – индуктивности обмотки статора по продольной и поперечной осям; $T_d = \dfrac{L_d}{R_\text{ф}}$, $T_q = \dfrac{L_q}{R_\text{ф}}$ – постоянные времени по продольной и поперечной осям; $\Omega_\text{дв}$ – частота вращения двигателя; M – электромагнитный вращающий момент; Φ_0 – магнитный поток, созданный постоянным магнитом ротора на пару полюсов; $M_\text{с}$ – момент сопротивления нагрузки; J_Σ – суммарный приведенный момент инерции; p – число пар полюсов.

Напряжения U_d, U_q можно задавать независимо друг от друга, а можно их значения увязать с начальной установкой ДПР α_0. В этом случае напряжения U_d, U_q определяются выражениями $U_d = U_1\cos\alpha_0$; $U_q = U_1\sin\alpha_0$. В реверсивных системах $U_d = 0$; $U_q = U_1$.

Структурная схема динамической модели вентильного двигателя представлена на рис. 2.

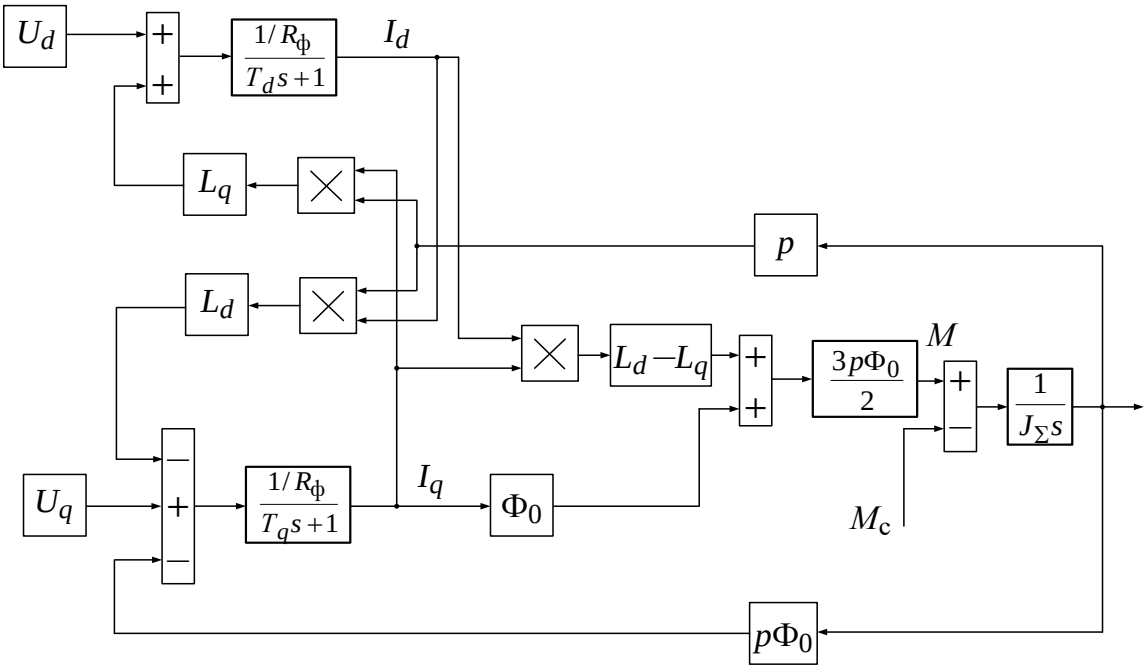


Рис. 2. Структурная схема динамической модели вентильного двигателя во вращающейся системе координат

Из структурной схемы ВД видно, что его модель характеризуется наличием перекрестных связей по переменным состояния i_d, i_q в уравнениях равновесия ЭДС на обмотках и добавочным слагаемым момента в уравнении момента на валу ВД. Этот момент возникает вследствие наличия в роторе явно выраженных полюсов и называется реактивным моментом синхронной машины. Произведем анализ влияния перекрестных связей на динамику ВД, с двигателем, параметры которого приведены в таблице.

Параметры вентильного двигателя

Параметры ВД	$U1$, В	R, Ом	L_d, Гн	L_q, Гн	Φ_0, Вб	J, кг·м^2	p	m
Значение	200	0,96	5,25e–3	2,25e-3	0,183	13e-3	4	3

Результаты моделирования ВД в сравнении с эквивалентным двигателем постоянного тока (ДПТ) представлены на рис. 3, 4.
Перекрестные связи при больших сигналах затягивают переходный процесс по скорости и, при $U_d = 0$, вызывают появление тока продольной составляющей i_d, которая влияет на магнитный поток, что сказывается на реакции на скачок управляющего сигнала.

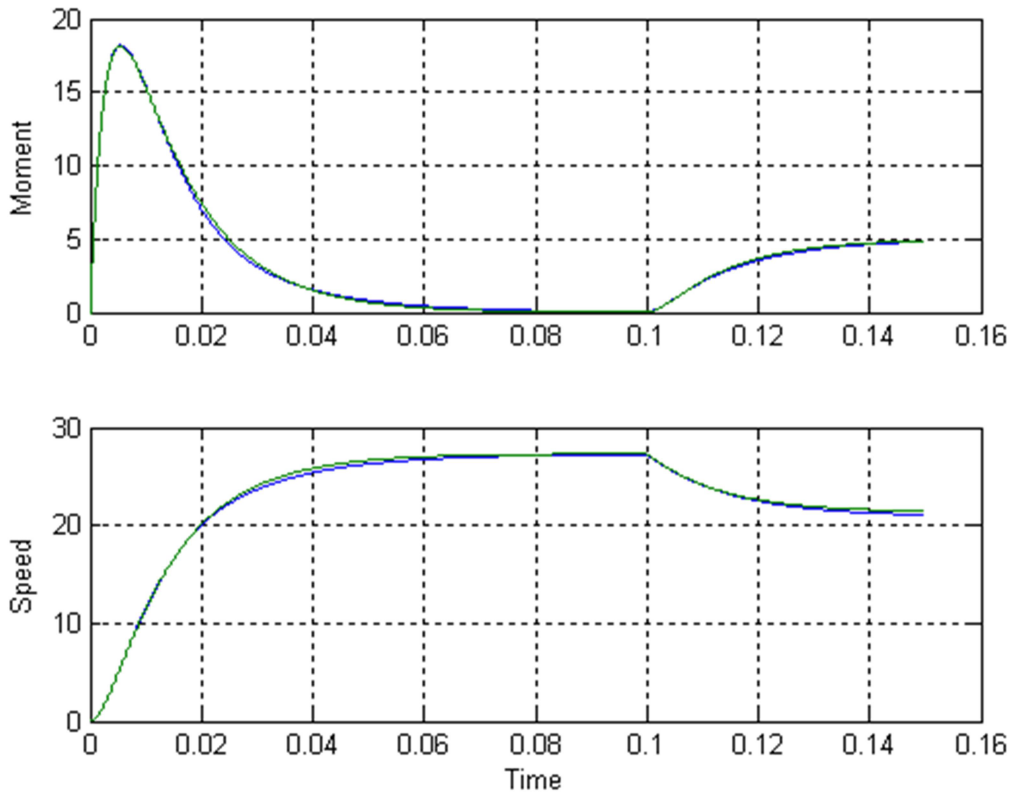


Рис. 3. Переходные процессы в ВД и эквивалентным ДПТ при $U_1 = 20$ В

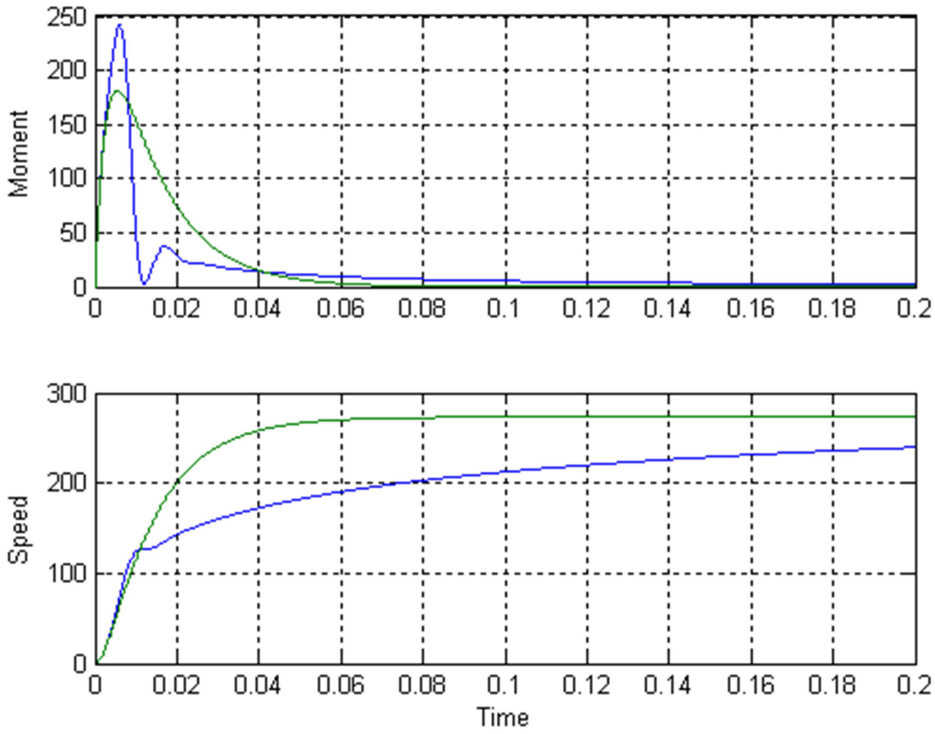


Рис. 4. Переходные процессы в ВД и эквивалентным ДПТ при $U_1 = 200$ В

Однако при малых задающих воздействиях, имеющих место в замкнутых системах управления, наличие перекрестных связей слабо сказывается на переходных процессах, что позволяет при синтезе корректирующих устройств рассматривать ВД как ДПТ.

Источники

1. Погодицкий О.В., Малёв Н.А. Проектирование мехатронных систем. Анализ и синтез: учеб. пособие. В 2 ч. Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2018. Ч. 1. 312 с.

УДК 621.313.333

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА С НЕССИМЕТРИЕЙ ФАЗНЫХ ОБМОТОК СТАТОРА И НАСЫЩЕНИЕМ МАГНИТОПРОВОДА

Николай Александрович Митрофанов

ООО «Газпром добыча Ямбург», г. Новый-Уренгой

n.a.mitrofanov27@gmail.com

Рассматриваются переходные процессы синхронной машины при учёте насыщения её магнитной системы. Предложен метод численного моделирования переходных процессов синхронной машины с возможностью учёта несимметрии обмотки статора

и насыщения магнитной системы. Метод основан на непосредственном решении дифференциальных уравнений равновесия электродвижущей силы (ЭДС) и падений напряжений в обмотках в фазных координатах совместно с уравнением движения ротора. При этом контур каждой фазной обмотки статора описывается отдельным уравнением и могут быть учтены отличающиеся параметры фаз. Математическая модель синхронного генератора, работающего на активно-индуктивную нагрузку, реализована в программном пакете MATLAB. Выполнен учёт влияния демпферных обмоток на переходной процесс, вызванный внезапным коротким замыканием в системе, и произведено сравнение с моделью, где отсутствуют демпферные обмотки. Проведен анализ результатов моделирования при учёте насыщения магнитной системы машины. Полученные результаты позволили сделать вывод об адекватности реализованной модели.

Ключевые слова: синхронная машина, переходной процесс, электроэнергетическая система, дифференциальные уравнения, численный метод, насыщение магнитопровода.

MODELING OF WORK OF SYNCHRONOUS GENERATOR WITH NONSYMMETRY OF PHASE WIPES OF THE STATOR AND SATURATION OF THE MAGNETIC WIRE

Nikolay Aleksandrovich Mitrofanov

Transient processes of a synchronous machine are considered taking into account the saturation of its magnetic system. A method is proposed for numerical simulation of transient processes of a synchronous machine with the possibility of taking into account the asymmetry of the stator winding and saturation of the magnetic system. The method is based on the direct solution of the differential equilibrium equations of the electromotive force (EMF) and voltage drops in the windings in phase coordinates, together with the equation of motion of the rotor. In this case, the contour of each phase stator winding is described by a separate equation and different phase parameters can be taken into account. A mathematical model of a synchronous generator operating on active-inductive load is implemented in the MATLAB software package. The influence of the damping windings on the transient process caused by a sudden short circuit in the system is taken into account and compared with the model where there are no damping windings. The analysis of the simulation results with regard to the saturation of the magnetic system of the machine. The obtained results led to the conclusion about the adequacy of the implemented model.

Key words: synchronous machine, transient, electric power system, differential equations, numerical method, magnetic core saturation.

Известно, что аналитическое исследование электромагнитных и электромеханических переходных процессов в синхронной машине с учетом всех влияющих факторов является весьма сложной задачей. В связи с чем для упрощения расчета приходится делать ряд допущений, которые вносят некоторые погрешности в оценку рассматриваемых параметров синхронной машины. К основным допущениям, применяемым в практических методах расчета, можно отнести следующие [1]:

• магнитная система машины не насыщена, в результате чего индуктивности машины не зависят от намагничивающей силы;

• считается, что конструкция машины обеспечивает полную симметрию фазных обмоток статора. Ротор также симметричен относительно своих продольной и поперечной осей.

Однако в некоторых случаях принятые при расчете допущения не позволяют выявить и провести корректный анализ ненормальных режимов синхронной машины. К такому режиму, например, можно отнести несимметрию фазных обмоток статора, вызванную наличием витковых замыканий в одной из них и насыщение магнитной системы машины.

Существующие программные пакеты моделирования переходных процессов в электроэнергетических системах, такие как MATLAB Simulink [2], PSCAD, Mustang используют для описания электромагнитных процессов синхронной машины уравнения Парка-Горева [1], которые записываются в неподвижной относительно ротора системе координат и предполагают полную симметрию фазных обмоток статора. Очевидно, что такой метод моделирования не может быть применен для расчета процессов в поврежденной синхронной машине с отличающимися параметрами фазных обмоток.

В исследовании приведен вывод системы дифференциальных уравнений, описывающих переходные процессы трехфазной синхронной машины с учетом индивидуальных активных сопротивлений и индуктивностей обмоток. Рассмотрим синхронную машину, имеющую три фазных обмотки, контур возбуждения, а также одну продольную и одну поперечную демпферные обмотки.

Дифференциальные уравнения равновесия ЭДС. и падений напряжений в контурах синхронной машины будут иметь вид [1]:

$$\begin{cases} u_\eta = -\dfrac{d\psi_\eta}{dt} - R_\eta i_\eta \quad (\eta = a, b, c); \\ u_f = \dfrac{d\psi_f}{dt} + R_f i_f . \end{cases} \tag{1}$$

где $u_\eta\,(\eta = a, b, c)$ и u_f – мгновенные значения напряжений на фазных обмотках и обмотке возбуждения соответственно; i_η и i_f – мгновенные значения токов; ψ_η и ψ_f – результирующие потокосцепления обмоток; R_η и R_f – активные сопротивления фазных обмоток и обмотки возбуждения. Кроме того, систему дифференциальных уравнений (1) следует дополнить уравнениями равновесия ЭДС и падений напряжений в демпферных контурах:

$$\begin{cases} 0 = -\dfrac{d\psi_{yd}}{dt} - R_{yd} i_{yd}; \\ 0 = -\dfrac{d\psi_{yq}}{dt} - R_{yq} i_{yq}, \end{cases} \qquad (2)$$

где ψ_{yd} и ψ_{yq} – результирующие потокосцепления продольной и поперечной демпферных обмоток соответственно; R_{yd} и R_{yq} – их активные сопротивления; i_{yd} и i_{yq} – мгновенные значения токов в демпферных контурах.

Предлагаемый метод расчета переходных процессов основан на совместном решении уравнений (1) и (2), дополненных выражениями падений напряжений на сопротивлениях нагрузки. Такой подход делает возможным моделирование синхронной машины с различными параметрами фазных обмоток за счет описания электромагнитных процессов в каждой фазе отдельным дифференциальным уравнением. На рис. 1 представлен случай работы генератора на автономную нагрузку, подключенную по схеме «треугольник».

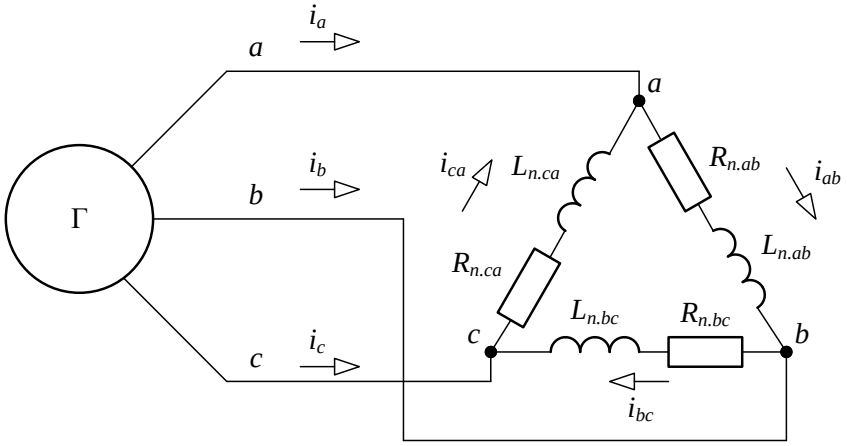


Рис. 1. Схема подключения нагрузки

Решение системы уравнений (1) включает в себя определение производной $d\psi_k/dt$ от сложной функции, зависящей от токов в контурах и угла поворота ротора. Для этого к системе (2) применим следующую формулу производной сложной функции:

$$\frac{d\psi_k}{dt} = \frac{\partial\psi_k}{\partial\gamma}\frac{d\gamma}{dt} + \sum_m \frac{\partial\psi_m}{\partial i_m}\frac{di_m}{dt}, \ \left(k, m = ab, bc, ca, f, yd, yq\right)$$

и подставим полученные выражения в (1). Так как процесс определения производных для разных контуров однотипен, рассмотрим лишь одно уравнение для контура «ab» статора:

$$\frac{d\psi_{ab}}{dt}=\frac{\partial\psi_{ab}}{\partial\gamma}\omega+\frac{di_{ab}}{dt}L_{ab.e}+\frac{di_{bc}}{dt}M_{.ab.e}+\frac{di_{ca}}{dt}M_{ca.e}+$$
$$+\left(M_{af}-M_{bf}\right)\frac{di_f}{dt}+\left(M_{ayd}-M_{byd}\right)\frac{di_{yd}}{dt}+$$
$$+\left(M_{ayq}-M_{byq}\right)\frac{di_{yq}}{dt}=-L_{n.ab}\frac{di_{ab}}{dt}-u_{\sum ab}. \qquad (3)$$

Уравнения для остальных контуров могут быть получены тем же способом.

Частную производную потокосцепления по углу, входящую в (3), определим как:

$$\frac{\partial\psi_{ab}}{\partial\gamma}=\frac{dL_{ab.e}}{d\gamma}i_{ab}+\frac{dM_{.ab.e}}{d\gamma}i_{bc}+\frac{dM_{ca.e}}{d\gamma}i_{ca}+\frac{d\left(M_{af}-M_{bf}\right)}{d\gamma}i_f+$$
$$+\frac{d\left(M_{ayd}-M_{byd}\right)}{d\gamma}i_{yd}+\frac{d\left(M_{ayq}-M_{byq}\right)}{d\gamma}i_{yq}. \qquad (4)$$

Полученные в (4) производные индуктивностей по углу можно определить, зная исходные выражения индуктивностей, полученные в [3].

В результате подстановки (4) в (3) получим уравнение, связывающее функции времени – токи в обмотках и угол поворота ротора – и производные этих функций.

При рассмотрении всех контуров синхронной машины вместо одного уравнения (3) получим следующую систему уравнений в матричном виде для нагрузки, подключенной по схеме «треугольник»:

$$\begin{bmatrix} L_{ab\Sigma} & M_{.ab.e} & M_{ca.e} & M_{abf} & M_{abyd} & M_{abyq} \\ M_{.ab.e} & L_{bc\Sigma} & M_{bc.e} & M_{bcf} & M_{bcyd} & M_{bcyq} \\ M_{ca.e} & M_{bc.e} & L_{ca\Sigma} & M_{caf} & M_{cayd} & M_{cayq} \\ M_{abf} & M_{bcf} & M_{caf} & L_f & M_{fyd} & 0 \\ M_{abyd} & M_{bcyd} & M_{cayd} & M_{fyd} & L_{yd} & 0 \\ M_{abyq} & M_{bcyq} & M_{cayq} & 0 & 0 & L_{yq} \end{bmatrix} \times$$
$$\times\begin{bmatrix} di_{ab}/dt \\ di_{bc}/dt \\ di_{ca}/dt \\ di_f/dt \\ di_{yd}/dt \\ di_{yq}/dt \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} -(\partial\psi_{ab}/\partial\gamma)\omega-u_{\sum ab} \\ -(\partial\psi_{bc}/\partial\gamma)\omega-u_{\sum bc} \\ -(\partial\psi_{ca}/\partial\gamma)\omega-u_{\sum ca} \\ -(\partial\psi_f/\partial\gamma)\omega-R_f i_f+u_f \\ -(\partial\psi_{yd}/\partial\gamma)\omega-R_{yd}i_{yd} \\ -(\partial\psi_{yq}/\partial\gamma)\omega-R_{yq}i_{yq} \end{bmatrix}, \qquad (5)$$

где M_{kf}, M_{kyd}, M_{kyq} $(k = ab, bc, ca)$ – значения взаимной индуктивности обмотки возбуждения, продольной и поперечной демпферных обмоток.

Полученная система уравнений (5) позволяет определять производные токов в обмотках по известным значениям функций (токов, угла поворота ротора и частоты).

Для описания электромеханических процессов синхронной машины воспользуемся дифференциальным уравнением движения ротора в форме дАламбера [4]:

$$M_{\text{т}} - J\frac{d\omega}{dt} + \frac{\partial W_{\text{м}}}{\partial \gamma} = 0, \tag{6}$$

где $M_{\text{т}}$ – момент турбины, J – момент инерции ротора, $W_{\text{м}}$ – энергия магнитных полей машины, которая может быть определена по формуле [5]:

$$W_{\text{м}} = \frac{1}{2}\sum_{k} i_k \psi_k, \quad k = a, b, c, f, yd, yq. \tag{7}$$

При подстановке (7) в (6) и преобразований получим следующее выражение для расчета производной частоты по известным значениям функций:

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{P_{\text{т}}}{J\omega} + \frac{1}{2J}\cdot\left(i_a\frac{\partial\psi_a}{\partial\gamma} + i_b\frac{\partial\psi_b}{\partial\gamma} + i_c\frac{\partial\psi_c}{\partial\gamma} + i_f\frac{\partial\psi_f}{\partial\gamma} + i_{\text{yd}}\frac{\partial\psi_{\text{yd}}}{\partial\gamma} + i_{\text{yq}}\frac{\partial\psi_{\text{yq}}}{\partial\gamma}\right), \tag{8}$$

где $P_{\text{т}}$ – мощность турбины. Частные производные потокосцеплений по углу, полученные в (8), входят также в систему уравнений (5), и их определение уже рассмотрено ранее.

Для получения полной системы дифференциальных уравнений, описывающих переходные процессы синхронной машины, необходимо (5) и (8) дополнить связью между угловой частотой и углом поворота ротора:

$$\frac{d\gamma}{dt} = \omega. \tag{9}$$

В качестве примера выполнены расчеты переходных процессов генератора ТВВ-200-2АУ3 с полной симметрией фазных обмоток статора и следующими параметрами: $S_{\text{ном}} = 235{,}3\,\text{МВ}\cdot\text{А}$, $U_{\text{ном}} = 15{,}75\,\text{кВ}$, $f_{\text{ном}} = 50\,\text{Гц}$, $x_d = 2{,}106$, $x'_d = 0{,}272$, $x''_d = 0{,}1805$, $x_q = 2{,}106$, $x''_q = 0{,}1805$, $x_\sigma = 0{,}166$, $T'_d = 0{,}91\,\text{с}$, $T''_d = 0{,}114\,\text{с}$, $T''_q = 0{,}114\,\text{с}$, активное сопротивление обмотки статора $R_s = 0.00152$ Ом.

Работа машины рассматривается при трехфазном коротком замыкании на выводах генератора и его работе в нагрузочном режиме для двух расчетных моделей: с учётом продольной и поперечной демпферных обмоток; без демпферных обмоток.

Результаты расчетов при трехфазном коротком замыкании на выводах генератора и его работе в нагрузочном режиме с учётом продольной и поперечной демпферных обмоток приведены на рис. 2.

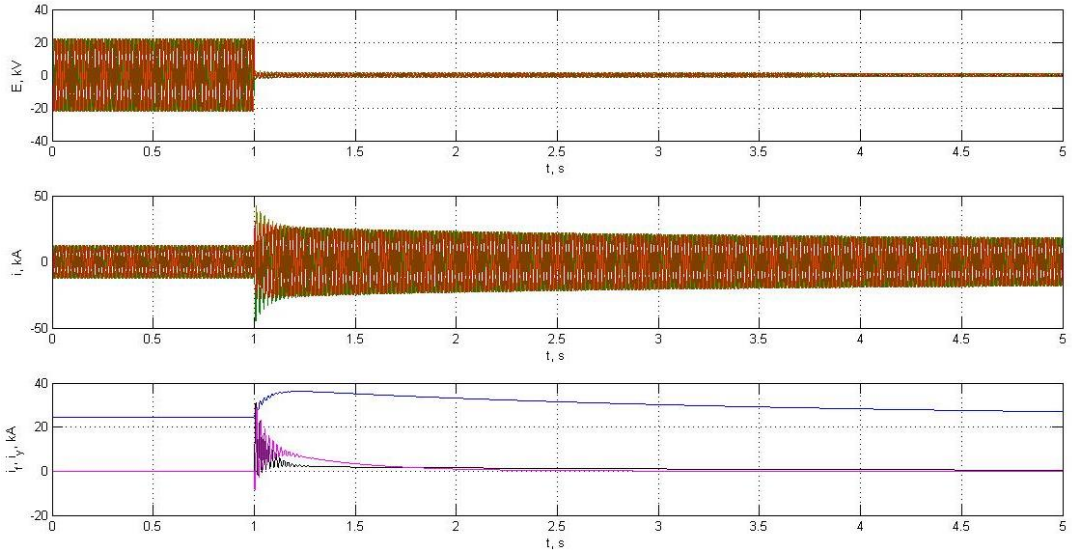


Рис. 2. Результаты расчетов для модели с учётом продольной и поперечной демпферных обмоток

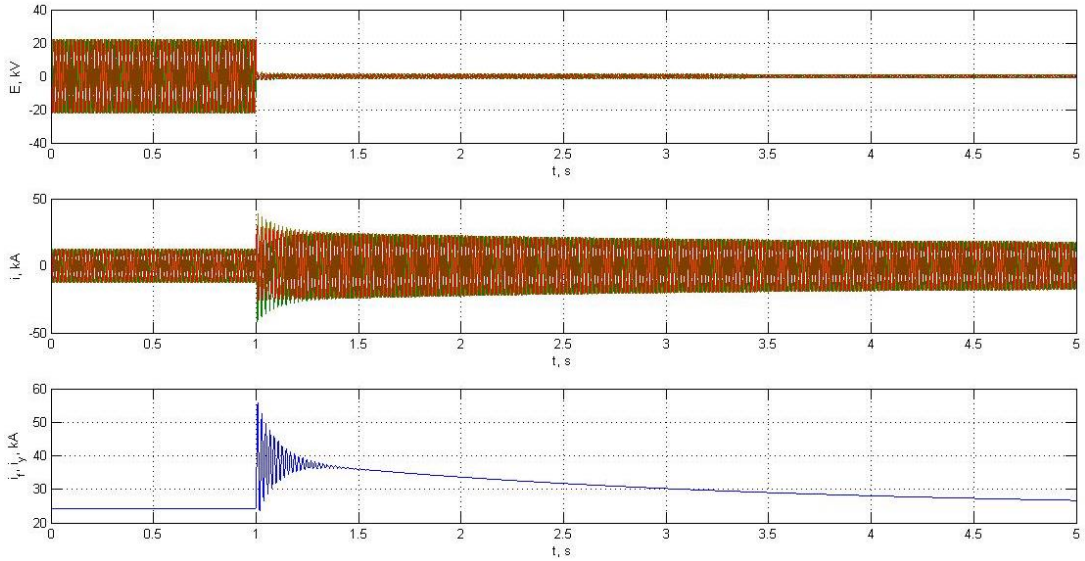


Рис. 3. Результаты расчетов для модели без демпферных обмоток

Результаты расчетов при трехфазном коротком замыкании на выводах генератора и его работе в нагрузочном режиме в модели без демпферных обмоток приведены на рис. 3.

Из сравнения полученных результатов при трехфазном коротком замыкании на выводах генератора и его работе в нагрузочном режиме можно увидеть, что в модели с учётом продольной и поперечной демпферных обмоток амплитудное значение тока фазного контура статора i_a = 42,6кА. При моделировании генератора без демпферных обмоток. значение тока составляет i_a = 38,9 кА. Время затухания апериодической составляющей тока короткого замыкания (КЗ) фазы «А» до уровня 26 кА: при учёте продольной и поперечной демпферных обмоток составляет $t_з$ = 0,25 с; без демпферных обмоток $t_з$ = 0,47 с.

Работа машины рассматривается в двух режимах: нормальном установившемся режиме при вариации нагрузки и подача напряжения на обмотку возбуждения при отключенной нагрузке. Во втором режиме сравниваются значения ЭДС на фазных выводах обмотки статора с учётом насыщения магнитной системы и без. Генератор работает на автономную активно-индуктивную нагрузку, подключенную по схеме «звезда» с нулевым проводом. Подробнее о выводе дифференциальных уравнений равновесия ЭДС и падений напряжений в обмотках со схемой соединения нагрузки «звезда» с нулевым проводом изложено в работе [3]. Значение тока возбуждения в расчетах приведено к обмотке статора генератора.

Таблица 1

Анализ влияния насыщения при подаче напряжения на обмотку возбуждения при отключенной нагрузке

С насыщением	e_a, кВ	12,9	13,6	16,1	18,2	19,2
Без насыщения		14,5	15,6	20,2	26,5	31,1
i_f, кА		9,77	10,51	13,67	17,87	21

Сравнение полученных результатов режима холостого хода генератора показывает, что моделирование при отсутствии насыщения магнитной системы машины не позволяет получить достоверные результаты. В режиме холостого хода значения ЭДС на фазных выводах обмотки статора значительно отличаются от реальной характеристики холостого хода машины. В нормальном установившемся режиме рассматриваются несколько значений нагрузки генератора: $0{,}25S_{\text{ном}}$; $0{,}5S_{\text{ном}}$; $0{,}75S_{\text{ном}}$ и $S_{\text{ном}}$.

Таблица 2

Анализ влияния насыщения в нормальном установившемся режиме при вариации нагрузки

С насыщением	e_a, кВ	11,6	11,55	11,41	11,36
	i_a, кА	2,81	5,65	8,31	11,34
Без насыщения	e_a, кВ	12,85	12,87	12,81	12,84
	i_a, кА	3,07	6,15	8,98	12,23
i_{f0}, кА		10,97	14,46	18,07	22,54
Δi_f, кА		1,43	1,59	2,08	2,25
S, о.е.		$0,25S_{\text{ном}}$	$0,5S_{\text{ном}}$	$0,75S_{\text{ном}}$	$S_{\text{ном}}$

Сравнение полученных результатов нормального установившегося режима генератора показывает, что моделирование при отсутствии насыщения магнитной системы машины не позволяет получить достоверные результаты. В нормальном режиме работы значения ЭДС на фазных выводах обмотки статора существенно отличаются от номинальных значений фазного напряжения рассматриваемого генератора. Также с ростом значения нагрузки увеличивается провал напряжения.

Полученные в ходе исследования результаты анализа влияния демпферных обмоток и насыщения магнитной системы на условия протекания переходных процессов в расчетной модели генератора свидетельствуют о полноте и достоверности предлагаемого численного метода моделирования.

Реализованная математическая модель дает возможность рассматривать влияние несимметрии фазных контуров статора и насыщения магнитной системы при моделировании синхронной машины, что позволяет корректней оценивать результаты различных режимов работы генератора и своевременно выявлять аварийные режимы.

В перспективе предлагаемый метод позволит использовать результаты расчетов переходных процессов синхронной машины для анализа работы и создания новых алгоритмов релейной защиты генераторов электростанций.

Источники

1. Ульянов С.А. Электромагнитные переходные процессы в электрических системах. М.: Энергия, 1970. 518 с.

2. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB. SimPowerSystems и Simulink. М.: ДМК Пресс, 2013. 288 с.

3. Глазырин Г.В. Моделирование переходных процессов синхронной машины с несимметрией фазных обмоток статора // Вестник МЭИ. 2017. № 5. С. 34–39.

4. Горев А.А. Переходные процессы синхронной машины. Л.: Наука, 1985. 502 с.

5. Жданов П.С. Вопросы устойчивости электрических систем. М.: Энергия, 1979. 456 с.

УДК 621.314

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ СОЗДАНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Анна Александровна Митрохина, Виктор Иванович Доманов

ФГБОУ ВО «УлГТУ», г. Ульяновск

anna_mitrochi@list.ru

Рассмотрена возможность создания энергоэффективных асинхронных двигателей без изменения поперечного сечения для регулируемых электроприводов, что позволяет обеспечить реальное энергосбережение.

Ключевые слова: Электропривод, асинхронный двигатель (АД), энергосбережение, поперечное сечение, преобразователи, энергоэффективность.

RESEARCH OF THE POSSIBILITY OF CREATING AN ENERGY EFFICIENT ASYNCHRONOUS ENGINE

Anna Alexandrovna Mitrokhina, Viktor Ivanovich Domanov

The possibility of creating energy-efficient asynchronous motors without changing the cross-section for adjustable electric drives, which allows for real energy saving, is considered.

Key words: electric drive, asynchronous motor, AD, energy saving, cross-section, converters, energy efficiency.

В настоящей работе на основе системного подхода определены эффективные пути обеспечения реального энергосбережения. Системный подход к энергосбережению объединяет два направления – совершенствование преобразователей и АД. Учитывая возможности современной вычислительной техники, совершенствование методов оптимизации, приходим к необходимости создания программно-вычислительного комплекса для проектирования энергоэффективных АД, работающих в регулируемых электроприводах. Принимая во внимание большой потенциал энергосбережения в жилищно-коммунальном хозяйстве (ЖКХ), рассмотрим возможности применения регулируемого электропривода на базе АД в этой сфере.

Решение проблемы энергосбережения возможно при совершенствовании регулируемого электропривода на базе асинхронных двигателей, которые должны быть спроектированы и изготовлены специально для энергосберегающих технологий.

Сейчас в большинстве случаев в регулируемом электроприводе используются серийные АД общего назначения. Уровень расхода активных материалов на единицу мощности АД практически стабилизировался. Согласно некоторым оценкам применение серийных АД в регулируемых электроприводах приводит к снижению их КПД и повышению установленной мощности на 15–20 % [3].

Одним из перспективных способов совершенствования электропривода является проектирование и изготовление АД специально для конкретных условий эксплуатации, что благоприятно для обеспечения энергосбережения. При этом решается задача адаптации АД к конкретному электроприводу, что дает наибольший экономический эффект в условиях эксплуатации.

Энергоэффективным является АД, в котором с использованием системного подхода при проектировании, изготовлении и эксплуатации повышены КПД, коэффициент мощности и надежность.

Существует три пути обеспечения эффективного энергосбережения при применении регулируемого электропривода на базе АД:

• совершенствование АД без изменения поперечного сечения;

• совершенствование АД с изменением геометрии статора и ротора;

• выбор АД общепромышленного исполнения большей мощности.

Совершенствование и оптимизация АД с изменением геометрии статора и ротора даст больший эффект, спроектированный двигатель будет иметь лучшие энергетические и динамические характеристики. Однако при этом финансовые затраты на модернизацию и переоборудование производства для его выпуска составят значительные суммы. Огромный потенциал энергосбережения в России определяется большими затратами электрической энергии в народном хозяйстве. Системный подход при разработке асинхронных регулируемых электроприводов и организация их серийного производства могут обеспечить эффективное энергосбережение, в частности, в ЖКХ. При решении проблемы энергосбережения следует применять асинхронный регулируемый электропривод, альтернативы которому в настоящее время нет.

Источники

1. Электропривод с трехфазным асинхронным двигателем: пат. 2418356 Рос. Федерация № 2010114694/07; заявл. 13.04.10; опубл. 10.05.11, бюл. № 13.

2. Андронов А.Л. Энергосбережение в системах водоснабжения средствами частотного регулирования электропривода // Электроэнергия и будущее цивилизации: матер. науч.-техн. конф. Томск, 2004. С. 251–253.

3. Сидельников Б.В. Перспективы развития и применения бесконтактных регулируемых электродвигателей // Энергосбережение. 2005. № 2. С. 14–20.

4. Ильинский Н.Ф. Электропривод в современном мире // Труды 5-й Междунар. конф. по автоматизированному электроприводу (АЭП-2007). 2007. С. 17–19.

5. Ключев В.И. Теория электропривода: учеб. для вузов. М.: Энергоатомиздат, 2001. 560 с.

УДК 621.314.263

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СОВМЕСТИМОСТИ В АСИНХРОННОМ ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ

Тимур Фанурович Муллаянов

ФГБОУ ВО «УГНТУ», г. Казань

mullayanov.t95@mail.ru

Статья посвящена вопросу электромеханической совместимости асинхронного электропривода и статического преобразователя. Было выявлено, что применение такого способа уменьшения пульсаций электромагнитного момента зависит от топологии построения преобразователя частоты (ПЧ), выбор которой осуществляется с учетом требований по электромагнитной совместимости электропривода (ЭП) с питающей сетью.

Ключевые слова: электромеханическая совместимость, электропривод, электромагнитный момент, преобразователь частоты, напряжения инвертора.

STUDY OF ELECTROMECHANICAL COMPATIBILITY IN AN ASYNCHRONOUS ELECTRIC DRIVE

Timur Fanurovich Mullayanov

The article is devoted to the issue of electromechanical compatibility of an asynchronous electric drive and a static converter. It was found that the use of such a method of reducing the ripple of the electromagnetic moment depends on the topology of building

a frequency converter (FC), the choice of which is carried out taking into account the requirements for electromagnetic compatibility of the electric drive (ES) with the supply network.

Key words: electromechanical compatibility, electric drive, electromagnetic torque, frequency converter, inverter voltage.

Регулируемые электроприводы имеют ряд достоинств. Но при их разработке и эксплуатации необходимо учитывать электромеханическую совместимость силовых преобразователей и электрических машин, входящих в регулируемый электропривод [1].

Для исследования электромеханической совместимости электрического двигателя и статического преобразователя использовалась имитационная модель (рис. 1). Электромеханическая совместимость преобразователя с двигателем в части высокочастотных пульсаций электромагнитного момента оценивается в установившемся режиме работы привода. В таком режиме работы напряжение в звене постоянного тока преобразователя постоянное, поэтому для упрощения расчетов на имитационной модели первичный преобразователь не рассматривается и представлен источником постоянного напряжения (ИПН) [3, 5].

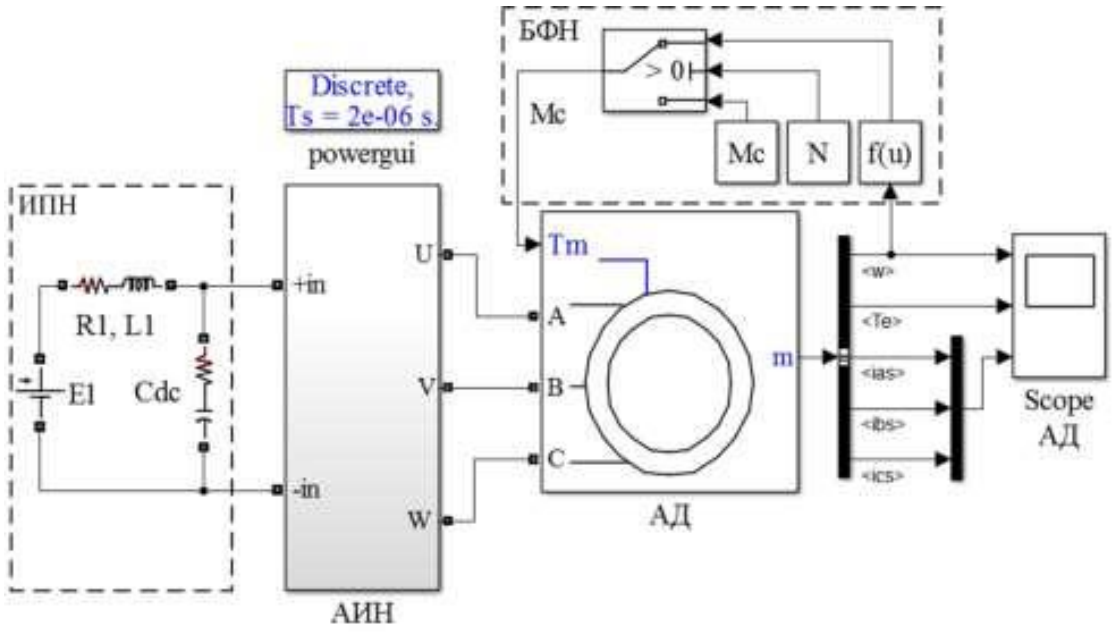


Рис. 1. Имитационная модель привода с автономным инвертором напряжения и асинхронным двигателем

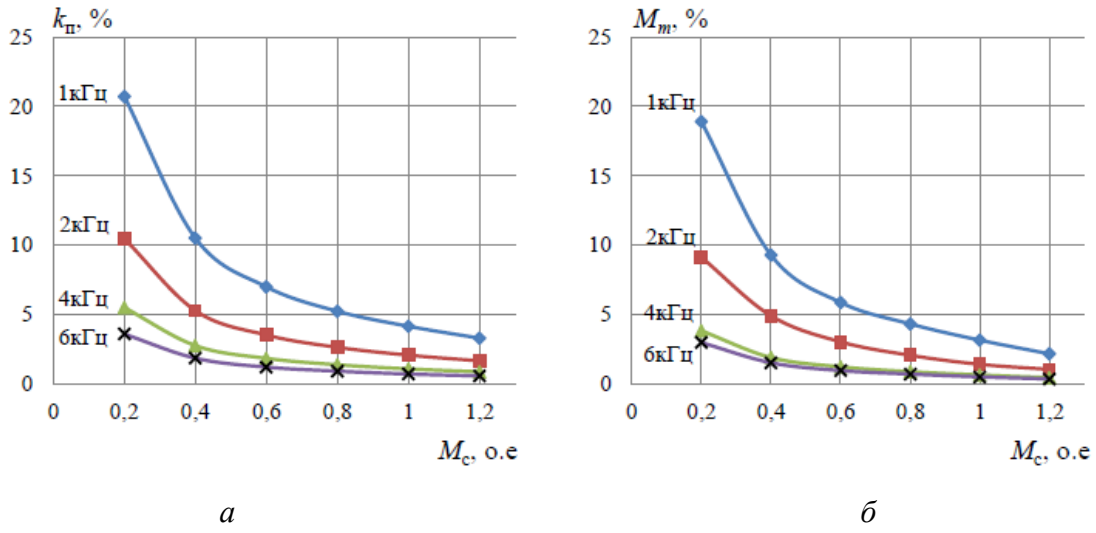
На имитационной модели привода был выполнен ряд численных экспериментов, в результате которых рассчитаны пульсации электромагнитного момента асинхронного двигателя (АД). Исследование электромеханической совместимости преобразователя с двигателем производилось

для алгоритмов с шестью переключениями на периоде ШИМ (алгоритм 7-ПВ-ШИМ) и с четырьмя переключениями на периоде ШИМ (алгоритм 5-ПВ-ШИМ). Оценка влияния алгоритмов управления инвертором на пульсации электромагнитного момента двигателя производилась в следующих режимах работы [1, 2]: при разных значениях момента сопротивления $M_{\text{с}}$ и номинальной частоте вращения двигателя; при разных значениях частоты вращения и моменте сопротивления.

Пульсации электромагнитного момента в указанных режимах работы привода были рассчитаны для нескольких значений $f_{\text{ШИМ}}$ инвертора напряжения.

Результаты расчета пульсаций электромагнитного момента в режиме работы № 1, представленные на рис. 2 и сведенные в табл. 1 для $f_{\text{ШИМ}} = 2$ кГц, показывают значительное увеличение коэффициента пульсаций $k_{\text{п}}$ и амплитуды пульсаций M_m при снижении величины нагрузки на валу по отношению к величине пульсаций при номинальном моменте сопротивления [1]. При этом на более высоких частотах ШИМ-пульсации момента меньше, что позволяет определить диапазон вариации частоты $f_{\text{ШИМ}}$ в зависимости от величины нагрузки, при котором величина пульсаций момента будет поддерживаться на одном уровне в широком диапазоне изменения нагрузок.

Так, например, для поддержания величины пульсаций момента в пределах 2÷4 % при изменении нагрузки в диапазоне $(0{,}2 \div 1)M_{\text{н}}$ необходимо регулировать частоту $f_{\text{ШИМ}}$ в пределах 6÷2 кГц. Изменения суммарных потерь в преобразователе незначительно, т.к. ток, протекающий через ключи при снижении нагрузки, уменьшится [1, 3].



а *б*

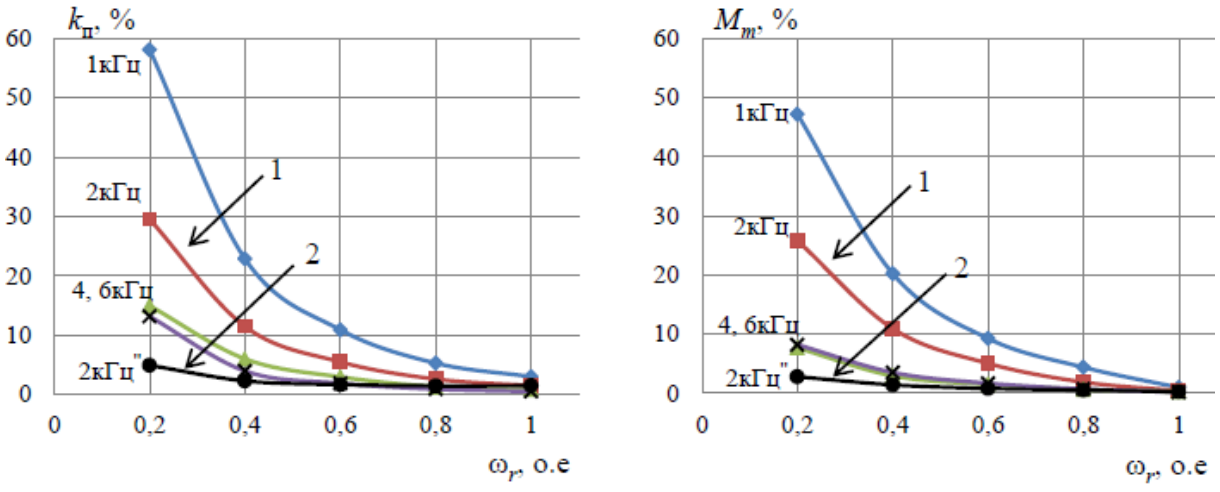
Рис. 2. Зависимость коэффициента пульсаций электромагнитного момента (*а*) и амплитуды пульсаций (*б*) от нагрузки на валу в ЭП с алгоритмом 7-ПВ-ШИМ

Таблица 1

Результаты расчета пульсаций электромагнитного момента в зависимости от $M_{\text{с}}$ при $f_{\text{ШИМ}} = 2$ кГц

Алгоритм 7-ПВ-ШИМ				
ω_r, о.е.	$M_{\text{с}}$, о.е.	$K_{\text{м}}$	$k_{\text{п}}$, %	M_m, %
1	0,2	1	10,46	9,12
	0,4		5,26	4,9
	0,6		3,41	3,02
	0,8		2,27	2,05
	1		1,48	1,41
	1,2		1,23	0,8

Результаты расчета пульсаций электромагнитного момента в режиме работы № 2, представленные на рис. 3 и сведенные в табл. 2 для $f_{\text{ШИМ}} = 2$ кГц, показывают аналогичное режиму № 1 увеличение коэффициента пульсаций $k_{\text{п}}$ и амплитуды пульсаций M_m при снижении частоты вращения по отношению к величине пульсаций в номинальном режиме работы, что отражено на зависимостях, полученных для $f_{\text{ШИМ}}$ равной 1, 2, 4 и 6 кГц. При этом на более высоких частотах ШИМ-пульсации момента меньше, что позволяет использовать тот же способ поддержания величины пульсаций момента в заданных пределах за счет регулирования частоты ШИМ, что и в режиме № 1 [4].



а *б*

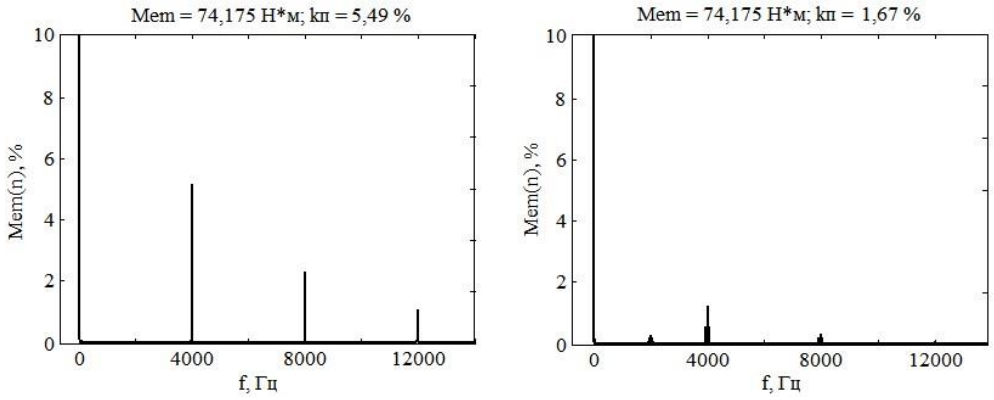
Рис. 3. Зависимости коэффициента пульсаций электромагнитного момента (*а*) и амплитуды пульсаций (*б*) от частоты вращения в ЭП с алгоритмом 7-ПВ-ШИМ: при U_{DC} постоянной (*1*) и переменной (*2*)

В режиме работы № 2 возможен еще один способ уменьшения пульсаций момента, основанный на улучшении гармонического состава выходного напряжения инвертора за счет регулировании напряжения в звене постоянного тока преобразователя с целью поддержания постоянства коэффициента модуляции на одном уровне $K_{\text{м}} = U_{ab}/U_{DC} = \text{const}$ при снижении частоты вращения двигателя (табл. 2). Пульсации электромагнитного момента (зависимости № 2 на рис. 5) рассчитаны при поддержании постоянства коэффициента модуляции для $f_{\text{ШИМ}}$ = 2 кГц. Как видно из представленных зависимостей, это позволяет существенно снизить пульсации электромагнитного момента по отношению к зависимостям № 1 для той же частоты ШИМ, что отражается и в его спектрах, приведенных на рис. 4.

Таблица 2

Результаты расчета пульсаций электромагнитного момента в зависимости от частоты вращения при $f_{\text{ШИМ}}$ = 2 кГц

Алгоритм 7-ПВ-ШИМ							
ω_r, о.е.	$M_{\text{с}}$, о.е.	постоянная			переменная		
		$K_{\text{м}}$	$k_{\text{п}}$, %	M_m, %	$K_{\text{м}}$	$k_{\text{п}}$, %	M_m, %
0,2	0,043	0,2	29,24	25,8	1	4,98	3,46
0,4	0,17	0,4	11,47	10,9		2,29	1,89
0,6	0,38	0,6	5,49	5,02		1,67	1,55
0,8	0,66	0,8	2,61	1,85		1,54	1,37
1	1	1	1,48	1,41		1,48	1,41



а *б*

Рис. 4. Спектры электромагнитного момента при ω_r= 0,6 о.е и коэффициенте $K_{\text{м}}$ = 0,6 (*а*) и $K_{\text{м}}$= 1 (*б*)

Поддержание постоянства коэффициента модуляции при работе привода на частотах вращения ниже номинальной позволяет поддерживать величину пульсаций момента на одном уровне в широком диапазоне регулирования аналогично способу, основанному на регулировании частоты ШИМ [4]. Однако применение такого способа уменьшения величины

пульсаций электромагнитного момента двигателя обуславливает необходимость регулирования выходного напряжения инвертора за счет регулирования напряжения в звене постоянного тока преобразователя, а это возможно при использовании в качестве источника питания инвертора, например, тиристорного преобразователя. Таким образом, возможность применения такого способа уменьшения пульсаций электромагнитного момента зависит от топологии построения ПЧ, выбор которой осуществляется с учетом требований по электромагнитной совместимости ЭП с питающей сетью [1].

Источники

1. Татаринов Д.Е., Козярук А.Е. Алгоритмические методы обеспечения электромеханической совместимости асинхронных электроприводов при питании от преобразователей частоты // Вестник ЮУрГУ. 2016. Т. 16, № 4. С. 77–83. (Сер. «Энергетика»).

2. Тиристорные преобразователи частоты в электроприводе / А.Я. Бернштейн [и др.]; под ред. Р.С. Сарбатова. М.: Энергия, 1980. 328 с.

3. Вершинин В.И., Загривный Э.А., Козярук А.Е. Электромагнитная и электромеханическая совместимость в электротехнических системах с полупроводниковыми преобразователями. СПб.: Санкт-Петербургский горный институт, 2000. 67 с.

4. Немцев Г.А., Селезнев Е.А., Шестакова Л.А. Влияние высших гармонических составляющих на работу асинхронных двигателей // Вестник Чувашского университета. 2014. № 2. С. 46–51.

5. Электроприводы и системы с электрическими машинами и полупроводниковыми преобразователями (моделирование, расчет, применение) / М.В. Пронин [и др.]; под ред. Е.А. Крутякова. СПб.: ОАО «Силовые машины» «Электросила», 2004. 252 с.

УДК 620.09

ВОЗВРАТ ПОТЕРЯННОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В ТОРМОЗНОЙ СИСТЕМЕ ТРАНСПОРТА

Забулла Нусраддин оглы Мусаев[1], Афила Гасанбала кызы Балаева[2]

[1]АГУНП, г. Баку

[2]СГУ, г. Сумгаит

[1]zabulla.musaye@bk.ru, [2]balayeva.efile@mail.ru

В работе рассматривается процес возвращения потерянной механической энергии в тормозной системе транспортных средств. Процесс торможения представляет собой беспорядочную во времени и по объему силы механическую энергию. Данная сила из тормозной системы выводится к накопителю механической энергии и превращается в электрическую для дальнейшего использования.

Ключевые слова: трос, пружина, накопитель, тормозная энергия, потерянная энергия, электрогенератор.

RETURN OF LOST MECHANICAL ENERGY IN THE BRAKE TRANSPORT SYSTEM

Zabulla Nusraddin ogly Musaev, Afila Hasanbala kyzy Balaeva

The paper considers the process of returning the lost mechanical energy in the brake system of vehicles. The process of braking is mechanical energy that is erratic in time and volume. This force from the brake system is output to the mechanical energy store and is converted into electrical energy for further use.

Key words: cable, spring, drive, braking energy, lost energy, electric generator.

В настоящее время двигающиеся механизмы на своем борту имеют двигатели внутреннего сгорания (ДВС), работающие с жидким горючим. Рассматривается вопрос накопления уменьшенного объема горючего и его использование в дальнейшем.

При частых торможениях увеличивается расход горючего. Это касается объектов, использующих частое торможение, к которым относится городской общественный транспорт, в частности, автобусы. Частые остановки, снижение скорости, объезд мешающих движению объектов регулируются при помощи торможения. Например, если транспортное средство работает с принятой по графику скоростью и преодолевает определенное расстояние в течение времени t, то при частых торможениях это время увеличивается до $t + \Delta t$. Значит в течении времени Δt ДВС работал бесполезно.

Возникает вопрос о том, каким методом или в каком виде возвращение энергии улучшит коэффициент полезной работы транспортного средства.

В общей компоновке комплекса и функции предлагаемой конструкции функционируют две системы: первая, связанная с комплексной тормозной системой, где с помощью троса механическая тормозная энергия передается в накопитель механической энергии; вторая – электромеханическая (электрогенератор), где механическая энергия превращается в электрическую и накапливается (рис. 2).

Система электромеханического преобразования имеет конструкцию, которая показана на рис. 1. Заторможенный диск вместе с колесом и тормозящим диском создают систему тормоза [4]. Заторможенный диск жестко связан с рубашкой мостового основания и при зажиме диска торможения между этими дисками создается механическая сила, которая тормозит вращающее действие колеса, и начинается процесс торможения.

Тормозящий диск имеет определенный угол вращения вокруг своей оси. Этот угол выбирается, так чтобы не повлиять на время торможения и реакцию водителя.

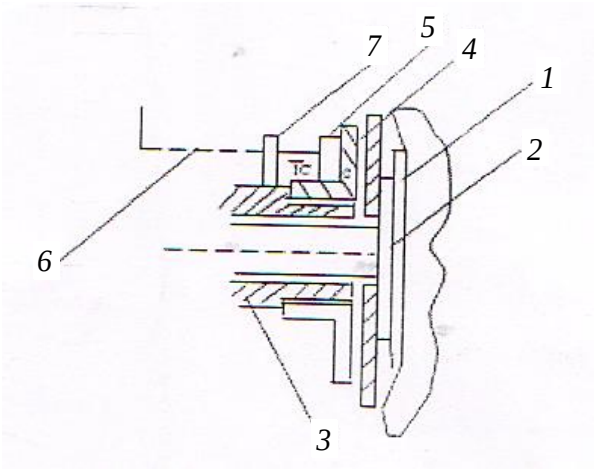


Рис. 1. Конструктивная схема устройства электромеханического преобразования тормозной энергии

Как только подается команда на остановку или уменьшение скорости, механическая энергия торможения подается на тормозной диск. Диск может поворачиваться на определенный угол [3]. Этот угол определяется сравнением силы, действующей на тормозной диск, с силой возвратной пружины, установленной на другом конце троса, который связывает механизм накопителя энергии с тормозным диском. Тормозной диск поворачивается максимум на угол $\pi/2$, а далее механическая энергия торможения передается через диск к основанию моста транспортного средства. С прекращением торможения, тормозной диск с помощью силы возвратной пружины (она входит как элемент в накопитель механической энергии) возвращается в исходное положение. При малых силах торможения тормозной диск поворачивается на малый угол и процесс идет так же, как при полной силе. Возвратная пружина восстанавливает начальное положение, как только останавливается процесс торможения.

Каждый раз, когда тормозной диск поворачивается, муфта свободного хода, вращая элемент накопителя механической энергии, увеличивает его объем. Возвращение в исходное положение троса является холостым ходом муфты (обратный ход выполняется возвратной пружиной).

Накопитель механической энергии – многоступенчатый элемент, связывается с валом высокочастотного генератора, что обеспечивает аккумуляторные батареи электрической энергией. Энергией аккумуляторных батарей транспортное средство может работать определенное время в режиме покоя двигателя внутреннего сгорания, что приводит к экономии горючего.

Одной из важных проблем является стабильность процесса преобразования механической энергии в электрическую. Она связана с частым изменением механической энергии в накопителе. Во время торможения $t_т$

мощность в накопителе меняется до $P_1,\ldots,P_m$ и значение ее зависит от многочисленных факторов, силы и времени торможения, от объема запаса механической энергии в накопителе и т. д. Несмотря на поступление механической энергии, она постоянно расходуется на преобразование электрической энергии. Так как мощность механической энергии постоянно меняется, электрогенератор должен иметь более или менее постоянную скорость, что является также сложной проблемой. Эту проблему можно решать различными методами – электрическим, механическим и др.

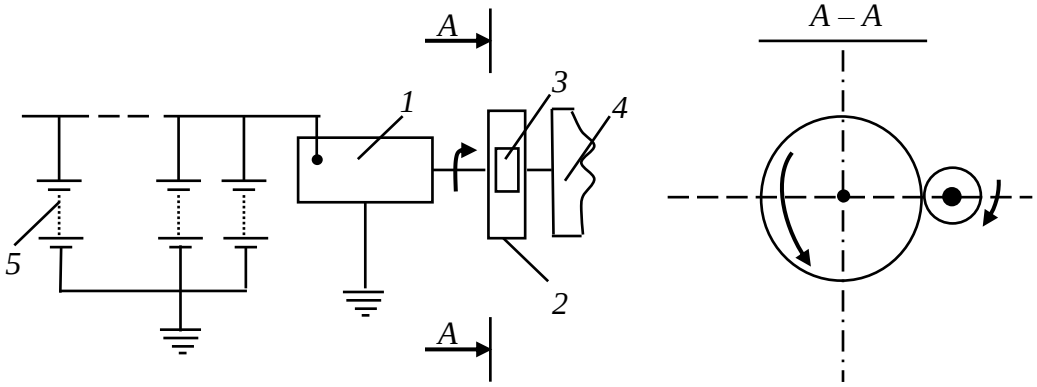


Рис. 2. Связь электрогенератора с накопителем механической энергии: *1* – электрогенератор; *2* – большое зубчатое колесо; *3* – накопитель механической энергии; *5* – аккумуляторные батареи

Передача механической мощности в электрогенератор передается через пару цилиндрической зубчатой передачи [2]. Через большое зубчатое колесо механическая энергия передается на малое зубчатое колесо с числом передачи $1/K$, которое жестко связано с валом электрогенератора (рис. 3), где K выбирается с учетом расчета мощности системы, решения вопросов комплектации элементов электромеханического преобразования, стабилизации частоты вращения электрогенератора.

Большая мощность механического накопителя соответствует моменту, когда система накопления уже не способна реагировать на торможение транспортного средства (P_m, t_m). В этот момент электрогенератор должен иметь наибольшую частоту вращения с полным током возбуждения и наибольшим напряжением зарядки аккумуляторных батарей. Наведенная электродвижущая сила электрогенератора:

$$e_э \equiv B \cdot \nu,$$

где B – индукция магнитного потока под полюсами, созданная параллельной и последовательной обмотками возбуждения; ν – частота вращения якоря.

Между B и ν существует взаимное влияние: при увеличении B увеличивается $e_э$, и нагрузка электрогенератора, в итоге частота вращения падает, и это приводит к уменьшению нагрузки $e_э$ и некоторых значений частоты вращения. Если при проектировании электрогенератора номинальное значение индукции B, созданной параллельной обмоткой возбуждения, принимать в малонасыщенной области, то между B и ν восстановится взаимосвязь, и с учетом механической стабилизации частоты вращения якоря электрогенератора проблема решится.

Механический метод также вводится для стабилизации частоты вращения электрогенератора с использованием конструкции вентилятора, механическая характеристика которого показана на рис. 3.

Для получения необходимой реакции характеристики $M_B = f(\nu)$ в процессе стабилизации можно менять конструкцию вентилятора с учетом влияния момента вентилятора на вращающий момент большого зубчатого колеса накопителя механической энергии.

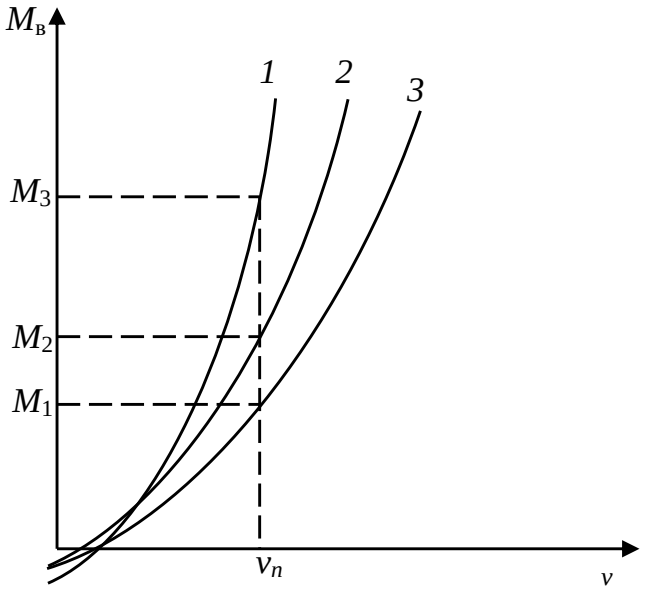


Рис. 3. Зависимость моментов от жесткости характеристики

В определенной частоте вращения ν_n у разных вентиляторов моменты в значительной степени отличаются друг от друга в зависимости от жесткости характеристики ($M_3 > M_2 > M_1$) (рис. 3). Вентилятор электрогенератора проектируется таким образом, чтобы моменты вентилятора в различных частотах вращения были четко направлены для стабилизации с малой погрешностью.

Между моментами, созданными колесом накопителя механической энергии $M_{н}$ и тормозными моментами электрогенератора $M_{эг}$ и вентилятора $M_{в}$, должно быть равновесие в любой момент времени:

$$M_{н} = M_{эг} + M_{в}.$$

Добиться точного равновесия невозможно из-за частого изменения значения и времени действия поступающего момента на накопитель механической энергии.

Помощью вышеуказанных методов возможно добиться равновесия моментов с погрешностью ±10%.

Источники

1. Иванов А.М. Транспортные средства и проблемы экологии // Приводная техника. № 2. 2000. С. 23–29.

2. Валакина Е.В., Рерин А.А. Колесо и устойчивость движения автомобиля в режиме торможения: монография. Волгоград: Волг. ГТУ, 2004. 30 с.

3. Мусаев З.Р. Преобразование тормозной энергии в электрическую. Патент Азербайджанской республики. T00132 класс Ф0211/04. 2010.

4. Musaev Z.N. System of electromechanical transformation of breake energy // Power engineering problems. 2010. № 3.

5. Галкин Ю.М. Электрооборудование автомобилей и тракторов. М.: Машиностроение, 1987.

УДК 621.3.017

РОЛЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ В СТАТЕГИИ УПРАВЛЕНИЯ ПОТЕРЯМИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТЕВОЙ КОМПАНИИ

Алина Алмазовна Нафикова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

rusalina.aa@mail.ru

Современный этап развития электроэнергетики страны, особенностью которого является функционирование оптового и розничного рынка электрической энергии, характеризуется высоким уровнем потерь энергии (ПЭ) в сетях. В ряде энергосистем относительные потери превысили 20 %, а в некоторых электросетевых предприятиях они достигают 40–50 %. Около четверти общих ПЭ составляют коммерческие потери, обусловленные погрешностями систем учета электроэнергии и ее несанкционированным потреблением. Отмечена устойчивая тенденция к дальнейшему росту абсолютных и относительных потерь, если не принимать эффективных мер по их снижению.

Ключевые слова: технологические потери, сетевая компания, оптимизация потерь.

THE ROLE OF TECHNOLOGICAL LOSSES IN THE STRATEGY OF LOSS MANAGEMENT OF THE DISTRIBUTIVE NETWORK COMPANY

Alina Almazovna Nafikova

The current stage of development of the country's electric power industry, a feature of which is the functioning of the wholesale and retail market of electric energy, is characterrized by a high level of energy loss (PE) in the networks. In a number of power systems, the relative losses exceeded 20%, and in some electric grid enterprises they reach 40–50 %. About a quarter of total PE are commercial losses due to errors in the electricity metering system and its unauthorized consumption. There was a steady tendency to further increase in absolute and relative losses, if not to take effective measures to reduce them.

Key words: technological losses, network company, loss optimization.

Распределительные сетевые компании, находясь в условиях строгих требований в области снижения потерь, часто стремятся к быстрому выполнению мероприятий по их оптимизации и сосредотачивают все усилия на модернизации учета на розничном рынке, как на мероприятие, имеющее наибольший эффект. При этом опускается важность преобразования технического учёта на подстанции. Прямого эффекта технический учёт не даёт, следовательно, обосновать инвестиции в него достаточно сложно. Между тем, не имея точной информации о распределении электроэнергии по уровням напряжения и по участкам сети, нельзя определить места, где замена счётчиков на самом деле принесёт желаемый эффект снижения потерь.

Также важная составляющая, позволяющая сделать прозрачной и, следовательно, управляемой структуру потерь – это технологические потери. Сетевые компании часто недооценивают этот мощный инструмент анализа. Очевидно, что только имея достоверно определенный объем технологических потерь, возможно выявить и устранить факты безучетного и бездоговорного потребления. Кроме того, для сотрудников сетевых компаний, занимающихся управлением потерями, индикатором в таких современных нарушений может стать некорректное распределение отпуска в сеть или полезного отпуска по уровням напряжения, небаланса по подстанциям и прочее. Своевременно выявленные недостатки позволяют принять меры и минимизировать возможные риски. Чем более детализированы расчёт и технологических и фактических потерь по участкам в сети, тем более точным будет определение очагов потерь.

Нагрузочные потери в ЛЭП 110 кВ – это наибольший сегмент структуры технологических потерь. Некоторые технологические потери в сети 110 кВ составляют более 50 % всех учетных потерь. Замкнутые участки сети 110 кВ частично берут на себя функцию магистральных сетей, по которым осуществляется межсистемные передача энергии. В некоторых случаях изменение схем нормального режима в сети 110 кВ может принести существенный эффект снижения нагрузочных потерь. Оптимизация потерь в замкнутых участках сети 110 кВ имеет существенный потенциал, но он сопряжен с поддержанием системной надежности. Данный вопрос требует рассмотрения и решения в многостороннем порядке распределительными сетевыми компаниями, ОАО «ФСК ЕЭС», системным оператором и генерирующими компаниями.

Реактивная мощность не преобразуется в другие виды мощности. Источник реактивной мощности целесообразно размещать в непосредственной близости с потребителем. Около 70 % всей мощности устройств компенсации реактивной мощности, которые необходимо установить в электрических сетях, целесообразно устанавливать в сетях 0,4 кВ, 25% – в сетях 6–10 кВ и около 5 % в сетях 110 кВ. Такое распределение обеспечит минимум в суммарных затратах на устройство компенсации реактивной мощности и на потери электроэнергии во всех сетях в целом. Существенным ограничением решение проблемы установки компенсации реактивной мощности в непосредственной близости от потребителя является отсутствие законодательных стимулов для потребителей к поддержанию законодательно установленных предельных значений коэффициента реактивной мощности на границе принадлежности.

Повышенная номинальная мощность уже установленных трансформаторов зачастую способствует минимизации потерь. К подбору мощности вновь устанавливаемых трансформаторов также необходимо подходить взвешенно с точки зрения минимальных суммарных затрат на приобретение и на компенсацию потерь в течение всего срока службы.

Технический учет и достоверное определение технологических потерь с использованием специализированных программных комплексов – две важные составляющие для обеспечения прозрачности структуры отчётных потерь сетевых компаний. Помимо мероприятий по оптимизации технологических потерь, традиционно выполняемых распределительными сетевыми компаниями, следует обратить внимание на следующие направления, имеющие значительный потенциал снижения потерь:

• оптимизация схем нормального режима в замкнутых сетях 110 кВ;

• управление реактивной мощностью;

• эффективность загрузки силовых трансформаторов с точки зрения минимальных потерь.

Источники

1. Стратегия развития электросетевого комплекса Российской Федерации: утв. распоряжением Правительства РФ от 3 апреля 2013 г. № 511-р / ПАО «Россети»: офиц. сайт // URL: https://www.rosseti.ru/about/mission/511R.pdf (дата обращения: 15.08.18).

2. Железко Ю.С. Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии: рук. для практ. расчетов М.: Энас, 2009. 456 с.

3. Макаров А.А. Оптимизация уровней напряжения в системообразующих сетях с целью минимизации перетоков реактивной мощности и снижения потерь // Энергоэксперт. № 2 (55). 2016. с.74–76.

УДК 621.313

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВАНИЯ ВНЕДРЕНИЯ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ С АМОРФНЫМИ СЕРДЕЧНИКАМИ В УСЛОВИЯХ НЕФТЕГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Дуйсен Нурмухамедович Нурбосынов[1], Татьяна Владимировна Табачникова[2], Евгений Валентинович Рюмин[3]

ГБОУ ВО «АГНИ», г. Альметьевск

[1,2,3]e_ryumin@mail.ru

В статье приведены теоретические основания внедрения электродвигателей с сердечниками из аморфного металла в нефтяной и газовой промышленности. Рассматриваются конструктивные особенности подобных электродвигателей, их преимущества по сравнению с традиционными конструкциями электродвигателей.

Ключевые слова: электродвигатель, магнитопровод, аморфный сплав.

THEORETIC BASE OF USING THE AMORPHOUS CORE ELECTRICAL MOTORS IN THE OIL AND GAS INDUSTRY

Duysen Nurmukhamedovich Nurbosynov, Tatyana Vladimirovna Tabachnikova, Evgeny Valentinovich Ryumin

In this article, we considered the theoretical bases of introduction of electrical motors with amorphous metal cores in the oil and gas industry. We discussed the design features of such motors and their advantages in comparison with traditional designs of electrical motors.

Key words: electric motor, magnetic conductor, amorphous metal.

Более половины мирового потребления электроэнергии приходится на электродвигатели различных типов. Поэтому вопрос снижения потребления электроэнергии в электродвигателях является важным и актуальным.

В настоящее время сердечники электрических машин изготавливают из магнитомягкой электротехнической стали. При работе электрических машин в их сердечниках неизбежно возникает ряд потерь энергии, из которых наиболее существенными являются потери на гистерезис и вихревые токи. Современные массово используемые в промышленности магнитомягкие стали допускают потери энергии в сердечниках около 1 %.

В качестве материала для сердечников электрических машин высокий потенциал имеют аморфные сплавы, так называемые «металлические стёкла». Уникальные свойства аморфных сплавов состоят в высокой механической прочности и очень узкой петле гистерезиса, которая соответствует лучшим образцам пермаллоев [3]. Аморфные сплавы обладают низкой удельной проводимостью, что обеспечивает более низкие вихревые токи и, соответственно, более низкие потери мощности и электрической энергии.

Формы кривой петли гистерезиса для трёх ферромагнитных материалов [1] показаны на рис. 1. Для аморфного ферромагнитного сплава ширина петли гистерезиса пренебрежимо мала. Можно принять допущение, что при промышленной частоте потери на перемагничивание в сердечнике из такого материала практически отсутствуют. Но следует также учитывать более высокую плотность магнитного потока, которая должна быть обеспечена для нормальной работы таких сердечников.

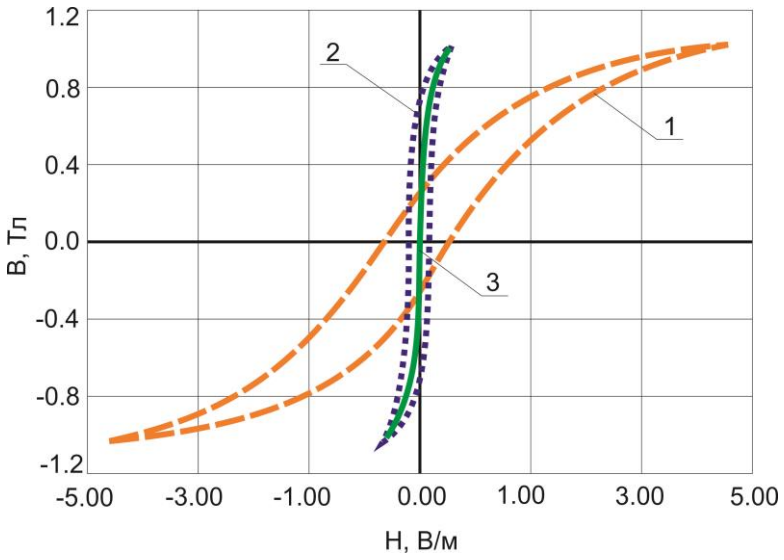
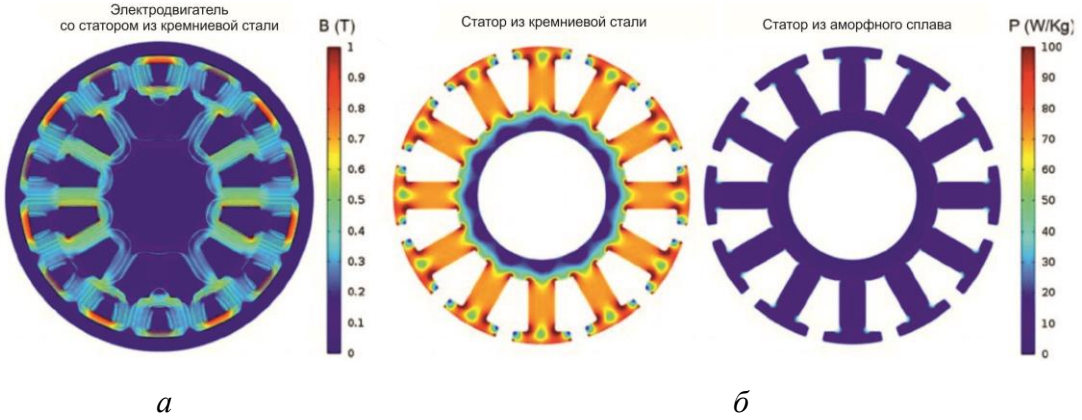


Рис. 1. Формы кривой петли гистерезиса для ферромагнитных материалов: *1* – конструкционная углеродистая сталь; *2* – магнитомягкая сталь с содержанием кремния около 3 %; *3* – аморфный сплав на основе железа

В статье [5] авторами выполнено исследование физической модели электродвигателя с сердечником статора из аморфного ферромагнитного сплава. При исследовании сравнивались идентичные конструкции электродвигателя с ротором на постоянных магнитах со статором из магнитомягкой кремниевой стали и со статором из аморфного сплава. На рис. 2 приводятся результаты исследований. Рассматривались распределение электромагнитного поля в сердечнике статора и потери на нагрев при работе электродвигателя. Распределение магнитного поля для разных типов сердечников статора аналогично (рис. 2, *а*). Потери на нагрев присутствуют в статоре из кремниевой магнитомягкой стали и не наблюдаются в сердечнике из аморфного сплава (рис. 2, *б*).



а *б*

Рис. 2. Результаты исследования физической модели электродвигателя с сердечником статора из аморфного сплава и ротором на постоянных магнитах: *а* – распределение электромагнитного поля в статоре электродвигателя с сердечником статора из магнитомягкой кремниевой стали; *б* – потери мощности на нагрев в статоре из кремниевой стали и в статоре из аморфного сплава

Таким образом, предположение об отсутствии потерь в сердечнике электродвигателя из аморфного сплава подтверждено экспериментально.

Физические свойства аморфных сплавов затрудняют процесс производства сердечников из них по традиционным технологиям, поэтому такие сердечники собирают из пластин, полученных лазерной резкой аморфной фольги или навивают из фольги из аморфного сплава.

В связи с растущим спросом производство аморфного металла, пригодного для изготовления сердечников электрических машин, постоянно растёт. Аморфные сплавы, пригодные для изготовления сердечников электрических машин производят в США и Китае. В России также развивается производство таких материалов, например, Ашинский металлургический завод производит магнитопроводы из аморфного сплава для изготовления сердечников электрических машин.

Электродвигатели с магнитопроводами из аморфных сплавов предполагается производить промышленным способом. Например, японская корпорация Hitachi Ltd совместно с Hitachi Industrial Equipment Systems Co Ltd разработали концепцию электродвигателя с использованием сердечников статора из аморфного материала и ротором на постоянных магнитах [2]. В 2008 году была представлена модель мощностью 150 Вт, в 2012 году производитель представил более мощный электродвигатель аналогичной конструкции мощностью 11 кВт. Планируется промышленный выпуск ряда моделей таких электродвигателей различной мощности.

Постоянные магниты сделаны из ферромагнитного сплава, в составе двигателя нет редкоземельных элементов, удорожающих конструкцию. Энергетические показатели нового электродвигателя превосходят показатели аналогичного электродвигателя традиционной конструкции. На рис. 3 представлен внешний вид электродвигателя фирмы Hitachi Ltd мощностью 11 кВт с аморфным сердечником статора [4].



Рис. 3. Внешний вид электродвигателя фирмы Hitachi Ltd мощностью 11 кВт с аморфным сердечником статора

На рис. 4 показаны особенности конструкции электродвигателя компании Hitachi Ltd. Конструкция предусматривает элементы сердечника статора, собранные из свёрнутой ленты из аморфного сплава. Ротор собран по «сандвич-технологии», что предусматривает наличие 2 деталей ротора с постоянными магнитами со статором между ними. В конструкции использованы постоянные магниты, не содержащие редкоземельных

элементов. Свойства сердечника статора из аморфного сплава позволяют эффективно использовать относительно слабое магнитное поле постоянных магнитов, изготовленных без использования редкоземельных элементов.

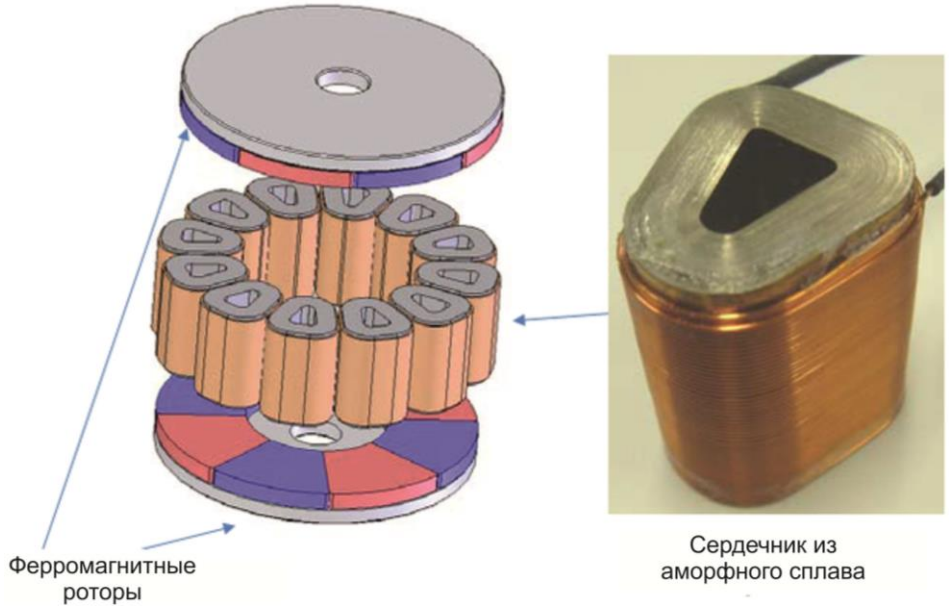


Рис. 4. Конструктивные особенности электродвигателя с магнитопроводом из аморфного сплава производства компании Hitachi Ltd

Таким образом, применение сердечников из аморфных сплавов в магнитопроводах электрических двигателей создаёт возможности значительного снижения потерь энергии при работе электрических машин. Ожидаемое уменьшение нагрева таких магнитопроводов в процессе работы повысит срок службы изоляции обмоток электрических машин и увеличит межремонтный период их работы. Конструктивные особенности электродвигателей с сердечниками из аморфных сплавов исключают образование электрической дуги и искрения при их работе. В связи с этим такие электродвигатели могут быть использованы в условиях взрывопожароопасной среды, что актуально для использования в нефтяной и газовой промышленности, в химическом производстве и других областях промышленности, где существует вероятность возникновения пожаровзрывоопасной среды.

Авторами усовершенствована известная математическая модель электродвигателя на постоянных магнитах с учётом параметров магнито-провода статора из аморфного сплава. Получены основные аналитические зависимости и графики переходных процессов.

Вместе с тем необходимы дальнейшие научно-практические изыскания по адаптации электродвигателей с аморфными сердечниками в электротехническом комплексе добывающей скважины, подключенной

в конце линии электропередач промысловой подстанции. Для получения практических результатов целесообразно создание малой физической модели электродвигателя с аморфным сердечником в лаборатории Альметьевского государственного нефтяного института для изучения режимов его работы и анализа энергетических параметров.

Источники

1. Hirzel A.Understanding the basics of amorphous-iron motors: Radam Motors LLC. Apr 24, 2014.

2. Fukao T.; Chiba A.; Matsui M. Test results on a super-high-speed amorphous-iron reluctance motor // Industry Applications. 1989. Vol. 25, Is. 1. P. 119–125.

3. Металлические стекла // ChemicalNow: интересный мир химии. URL: http://www.chemicalnow.ru/chemies-6081-3.html (дата обращения: 10.09.18).

4. Ovidiu Sandru. Hitachi's New Electric Motor Not Using Rare Neodymium, Could Lower Market Prices // The Green Optimistic. URL: https:// www.greenoptimistic.com/hitachi-ferrite-motor-neodymium-20120413/ #.W9hJ_5MzbIV (дата обращения: 10.09.18).

5. Amorphous and Nanocomposite Materials for Energy-Efficient Electric Motors / Josefina M. Silveyra [et al.] // Journal of Electronic Materials. 2016. Vol. 45, Is. 1. P. 219–225. URL: https: // www.researchgate.net/publication/ 283172811_Amorphous_and_Nanocomposite_Materials_for_Energy-Efficient_ Electric_Motors (дата обращения: 10.09.18).

УДК 621-83-52

ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИЯ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ

Денис Николаевич Петровнин

ФГБОУ ВО «УлГТУ», г. Ульяновск

den7petrovnin@mail.ru

Диспетчеризация систем водоснабжения позволяет немедленно реагировать на нарушения в работе насосных агрегатов, отсутствие питающего напряжения, неисправности другого оборудования и попытку проникновения на объект, получать информацию о состоянии оборудования насосных станций и режиме его работы.

Ключевые слова: электропривод, водонасосная станция, диспетчер, насосный агрегат, энергозатраты, преобразователь частоты, система управления, водоснабжение, частотное регулирование, асинхронный двигатель, частотный электропривод, переходные процессы.

DISPATCHERING PUMP STATIONS

Denis Nikolaevich Petrovnin

The dispatching of water supply systems allows you to immediately respond to disruptions in the operation of pumping units, the lack of supply voltage, malfunction of other equipment and an attempt to penetrate an object, to receive information about the status of equipment of pumping stations and the mode of its operation.

Key words: electric drive, water pumping station, dispatcher, pump unit, energy consumption, frequency converter, control system, water supply, frequency regulation, asynchronous motor, frequency electric drive, transients.

Современные системы водоснабжения имеют разветвленную сеть и большое количество сооружений, расположенных на обширной территории. Контроль за состоянием технологического оборудования и ручное управление механизмами со стороны местных дежурных и обходчиков в этих условиях не могут обеспечить достаточной экономичности установок и надежности снабжения водой многочисленных потребителей.

Управление большими и сложными водопроводными установками рационально производить из одного или нескольких диспетчерских пунктов с подчинением всего обслуживающего персонала единому руководству. Подобная организация эксплуатации требует новых технических средств, позволяющих осуществлять автоматический контроль и дистанционное управление оборудованием, его защиту от механических и электрических повреждений, фиксировать определенные положения механизмов и критическое состояние процесса, производить непрерывные измерения электрических и неэлектрических величин и пр.

По способу управления насосные станции могут быть выполнены или полностью автоматизированными или полуавтоматическими с дистанционным управлением насосных агрегатов и задвижек в насосных станциях и в распределительной сети.

В качестве примера рассмотрим водопровод крупного промышленного района, оборудованного очистными сооружениями и большим числом резервуаров. Вода забирается из водохранилища и имеет несколько подъемов. Централизованное управление всеми сооружениями сосредоточено в главном диспетчерском пункте, а оперативное управление – в местных диспетчерских пунктах (МДП), персонал которых подчинен главному районному диспетчеру, координирующему работу всего водопровода.

Управление производится по полуавтоматической схеме и обеспечивает пуск и остановку насосных агрегатов и задвижек, измерение и сигнализацию состояния объектов. МДП расположены в помещениях подстанций при насосных станциях. Диспетчер, находясь около щита управления, имеет возможность наблюдать не только за положением масляных выключателей,

двигателей насосов и трансформаторов, но и за положением задвижек на водоводах и за изменением расхода, давления в сети и уровня воды в резервуарах.

Опыт эксплуатации показал, что диспетчеризация водопроводных сооружений повышает их производительность, обеспечивает высокую надежность водоснабжения и значительно сокращает количество обслуживающего персонала.

Источники

1. Соколовский Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием: учебник для ВУЗов. М.: Издательский центр Академия, 2006. 272 с.

2. Ульяновскводоканал – вчера, сегодня, завтра / под. ред. Г.В. Булычева. Ульяновск: Дом печати, 1998. 264 с.

УДК 62-83:621.313.3

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ С СИСТЕМОЙ ПРЯМОГО УПРАВЛЕНИЯ МОМЕНТОМ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Александр Анатольевич Пугачев[1], Сергей Владимирович Седых[2]

ФГБО ВО «Брянский государственный технический университет», г. Брянск

[1]alexander-pugachev@rambler.ru, [2]Serezha.sedyh2017@yandex.ru

Приведена функциональная схема и описан принцип работы системы прямого управления моментом. Рассмотрены структура и принцип работы трехуровневого автономного инвертора напряжения. Показаны особенности реализации системы прямого управления моментом при применении трехуровневого инвертора напряжения. Предложена реализация основных блоков при моделировании в Matlab, приведены результаты моделирования.

Ключевые слова: асинхронный двигатель, система прямого управления моментом, трехуровневый инвертор напряжения, моделирование.

MODELING OF ELECTRIC DRIVES WITH THE DIRECT CONTROL SYSTEM OF THE MOMENT OF THE ASYNCHRONOUS ENGINE

Alexander Anatolyevich Pugachev, Sergey Vladimirovich Sedykh

A functional diagram is presented and the principle of the direct torque control system is described. The structure and principle of operation of a three-level autonomous voltage inverter are considered. The features of the implementation of the direct moment control system when using a three-level voltage inverter are shown. The proposed implementation of the main blocks in the simulation in Matlab, the results of the simulation.

Key words: asynchronous motor, direct torque control system, three-level voltage inverter, simulation.

В последнее время в связи с бурным развитием силовой и информационной электроники в электроприводе начали появляться все новые и новые системы и алгоритмы, позволяющие получать быстродействующее, высокодинамичное регулирование основных переменных. Одним из инструментов исследования и апробации новых систем являются методы математического моделирования, как наиболее универсальные вместе с этим не требующие дорогостоящего оборудования, информационно-измерительных приборов и др.

В данной статье разберем возможности математического моделирования электроприводов с современной системой прямого управления моментом асинхронного двигателя в программном комплексе MatLab.

Система прямого управления моментом (рис. 1) впервые была применена в середине 80-х годов прошлого столетия [1]. В основе работы системы прямого управления моментом положено поддержание постоянных значений электромагнитного момента M и потокосцепления статора ψ_S (в пределах петли гистерезиса), которое осуществляется выбором одного из выходных векторов автономного инвертора. Заданием на выбор выходного вектора являются значения напряжений управлений Δ_M и Δ_ψ, принимающие дискретные уровни в зависимости от знака и величины ошибки регулирования момента и потокосцепления $M_з - M$ и $\psi_з - \psi_s$ соответственно, а также сектор потокосцепления. Основная трудность такого управления заключается в прецизионном определении переменных регулирования – момента и потокосцепления. На рис. 1 предложен один из возможных вариантов решения этой проблемы. На базе информации, полученной о токе I_s и напряжении U_s двух фаз обмотки статора, осуществляется переход в двухфазную неподвижную систему координат ($A, B, C \rightarrow \alpha, \beta$), после чего вычисляются проекции потокосцепления статора ψ_s на ортогональные оси:

$$\psi_{s\alpha} = \int \left(U_{s\alpha} - I_{s\alpha} R_s \right) dt,$$

$$\psi_{s\beta} = \int \left(U_{s\beta} - I_{s\beta} R_s \right) dt,$$

где R_S – сопротивление обмотки статора.

Очевидно, что из-за использования операции интегрирования при вычислении потокосцепления статора система прямого управления моментом очень чувствительна к оценке значения активного сопротивления статора, и при ошибке расчета этого сопротивления более чем на 1 %, показатели качества регулирования резко ухудшаются. При большем увеличении ошибки система может потерять устойчивость, поэтому при оценке сопротивления статора необходимо применять температурную коррекцию.

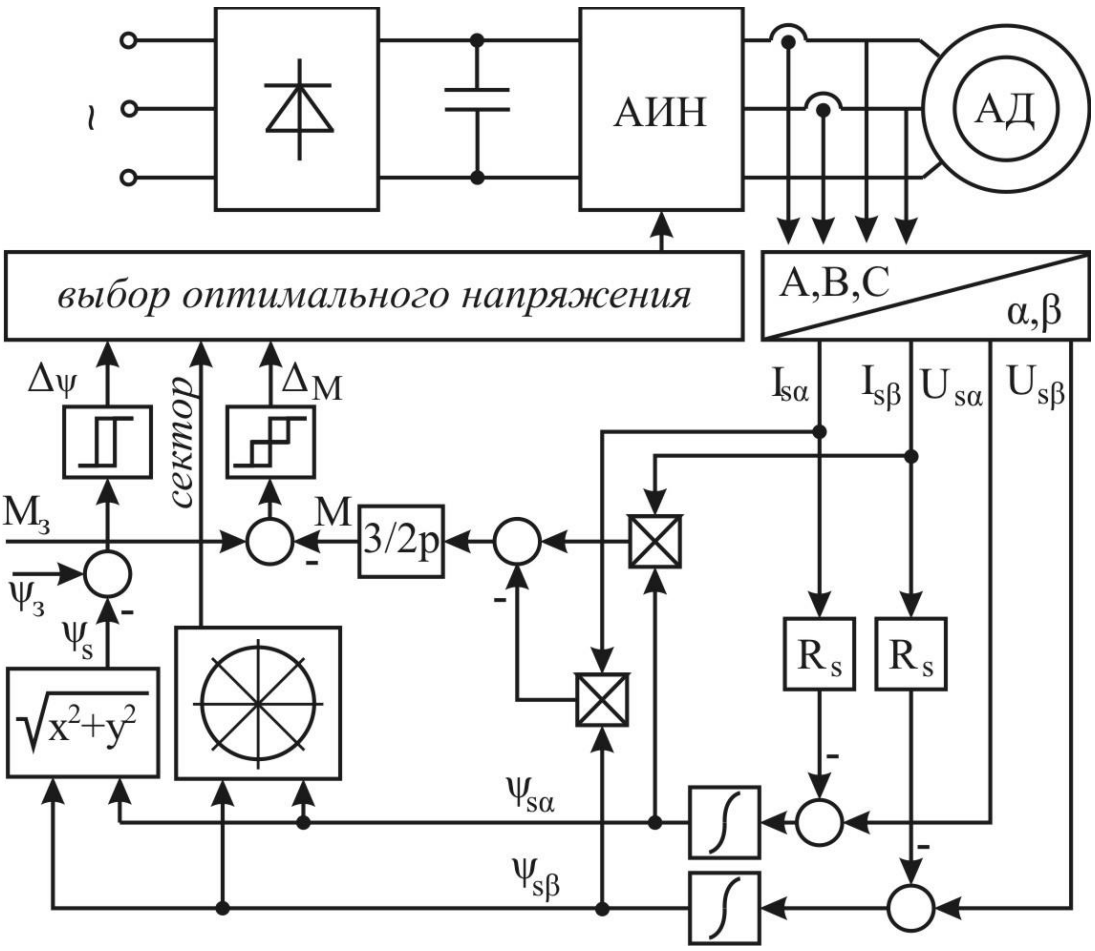


Рис. 1. Блок-схема системы прямого управления моментом асинхронного двигателя

Электромагнитный момент находится из выражения:

$$M = \frac{3}{2} p\left(I_{s\beta}\psi_{s\alpha} - I_{s\alpha}\psi_{s\beta}\right),$$

где p – число пар полюсов.

При применении в силовом канале трехуровневого инвертора в качестве регуляторов момента и потокосцепления используют пяти- и трехпозиционные регуляторы соответственно. Выбор оптимального вектора напряжения в этом случае осуществляется согласно данным таблицы [2], где приняты следующие обозначения: ω, $\omega_н$ – текущая и номинальная частоты вращения вала ротора.

В последние годы в электроприводе в качестве автономных инверторов напряжения начали активно применять трехуровневые инверторы. Основной целью применения является улучшение гармонического состава выходных напряжений и токов, увеличение частоты коммутации силовых ключей, уменьшение скорости изменения выходного напряжения, что приводит к меньшим габаритам выходных фильтров и реакторов (в случае их установки).

Таблица переключений автономного инвертора напряжения

Δ_ψ	Δ_M	$\omega < \omega_н/2$						$\omega > \omega_н/2$					
		Сектор											
		1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
+1	+2	u_{21}	u_{22}	u_{23}	u_{24}	u_{25}	u_{26}	u_{16}	u_{17}	u_{18}	u_{19}	u_{20}	u_{15}
	+1	u_2	u_3	u_4	u_5	u_6	u_1	u_{21}	u_{22}	u_{23}	u_{24}	u_{25}	u_{26}
	0	Нулевой вектор											
	–1	u_6	u_1	u_2	u_3	u_4	u_5	u_{26}	u_{21}	u_{22}	u_{23}	u_{24}	u_{25}
	–2	u_{26}	u_{21}	u_{22}	u_{23}	u_{24}	u_{25}	u_{20}	u_{15}	u_{16}	u_{17}	u_{18}	u_{19}
0	+2	u_{22}	u_{23}	u_{24}	u_{25}	u_{26}	u_{21}	u_{22}	u_{23}	u_{24}	u_{25}	u_{26}	u_{21}
	+1	u_3	u_4	u_5	u_6	u_1	u_2	u_{17}	u_{18}	u_{19}	u_{20}	u_{15}	u_{16}
	0	Нулевой вектор											
	–1	u_5	u_6	u_1	u_2	u_3	u_4	u_{19}	u_{20}	u_{15}	u_{16}	u_{17}	u_{18}
	–2	u_{25}	u_{26}	u_{21}	u_{22}	u_{23}	u_{24}	u_{25}	u_{26}	u_{21}	u_{22}	u_{23}	u_{24}
–1	+2	u_{23}	u_{24}	u_{25}	u_{26}	u_{21}	u_{22}	u_{23}	u_{24}	u_{25}	u_{26}	u_{21}	u_{22}
	+1	u_3	u_4	u_5	u_6	u_1	u_2	u_{17}	u_{18}	u_{19}	u_{20}	u_{15}	u_{16}
	0	Нулевой вектор											
	–1	u_5	u_6	u_1	u_2	u_3	u_4	u_{19}	u_{20}	u_{15}	u_{16}	u_{17}	u_{18}
	–2	u_{24}	u_{25}	u_{26}	u_{21}	u_{22}	u_{23}	u_{24}	u_{25}	u_{26}	u_{21}	u_{22}	u_{23}

Структура одного из трехуровневых инверторов напряжения схематично показана на рис. 2. Такой инвертор получает питание от источника со средней точкой. Роль делителя напряжения обычно выполняют электролитические конденсаторы *C1* и *C2*. Инвертор состоит из двенадцати силовых транзисторов *VT1 – VT12* (в одном плече инвертора содержится четыре последовательно включенных транзистора), к каждому из которых параллельно подключен обратный диод, обеспечивающий двухстороннее протекание тока. Схема дополняется шестью фиксирующими диодами *VD5 – VD6* (по два на фазу), позволяющие подключать фазы асинхронного двигателя (АД) к средней точке. Каждое плечо имеет три состояния. Функции переключения могут быть описаны следующим образом:

$$S_i = -1 = n, \Rightarrow (S_{i1}, S_{i2}, S_{i3}, S_{i4}) = (0, 0, 1, 1),$$

$$S_i = 0 = o, \Rightarrow (S_{i1}, S_{i2}, S_{i3}, S_{i4}) = (0, 1, 1, 0),$$

$$S_i = 1 = p, \Rightarrow (S_{i1}, S_{i2}, S_{i3}, S_{i4}) = (1, 1, 0, 0).$$

По отношению к двухуровневому инвертору напряжения, который способен генерировать только 8 векторов напряжение, трехуровневый инвертор имеет 27 состояний. Если в схеме применены конденсаторы $C1$ и $C2$, имеющие равные значения емкости, то напряжения между ними распределяется поровну. В этом случае некоторые вектора напряжений совпадают друг с другом, в результате чего остается 19 эффективных векторов (рис. 3).

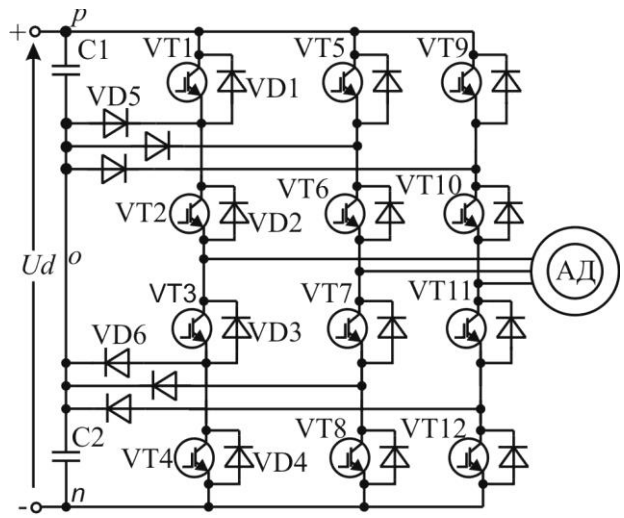


Рис. 2. Структура преобразователя частоты с трехуровневым инвертором

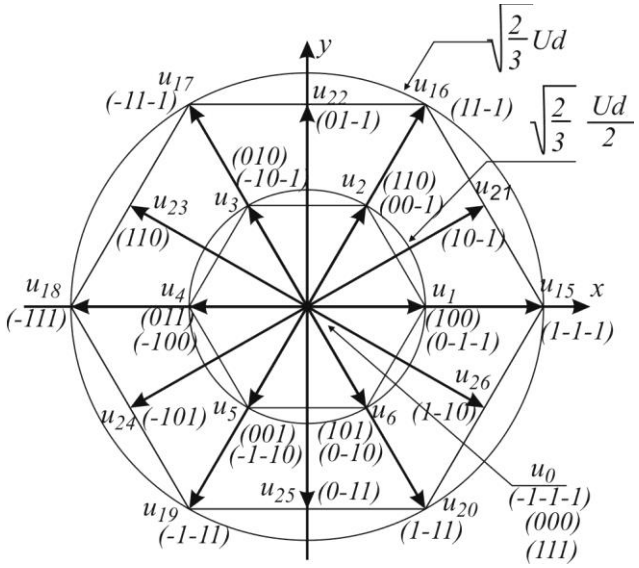


Рис. 3. Векторы выходного напряжения трехуровневого инвертора

Векторы напряжения можно условно поделить на 4 группы в зависимости от амплитуды. Большие векторы образуются путем подключения всех трех фаз к положительной или отрицательной шине питания *p* или *n* (кроме случая, когда все три плеча соединены в одной точке). Средние векторы напряжения – это векторы, образуемые при подключении одной фазы к средней точке *o*, две другие фазы подключаются к положительной *p* и отрицательной *n* шинам питания соответственно. Одновременное подключение двух фаз к одной и той же точке, а третьей фазы – к соседней, образует группу малых векторов. Нулевые вектора – это вектора, генерируемые инвертором при одновременном подключении всех трех фаз к одной и той же точке. Особенностью такой конфигурации трехуровневого инвертора является то, что группа малых векторов может быть образована двумя различными комбинациями управляющих функций.

Рассмотрим реализацию основных функциональных блоков схемы (рис. 1) в среде MatLab Simulink.

Асинхронный двигатель реализован посредством модуля *Induction machine* библиотеки *SymPowerSystems*. Параметры моделируемого электродвигателя: U_{sH} = 220 В; I_{sH} = 27,4 А; P_H = 14 кВт; η = 0,885; cosφ = 0,88; $2p$ = 4; f_{1H} = 50 Гц; X_μ = 22,26 Ом; X_S = 0,174 Ом; X'_r = 0,779 Ом; R_s = 0,219 Ом; R'_r = 0,164 Ом. Не указанные ранее обозначения соответствуют общепринятым.

Для определения текущих значений частоты вращения, момента, потоков использован также стандартный блок *Machine measurement demux*.

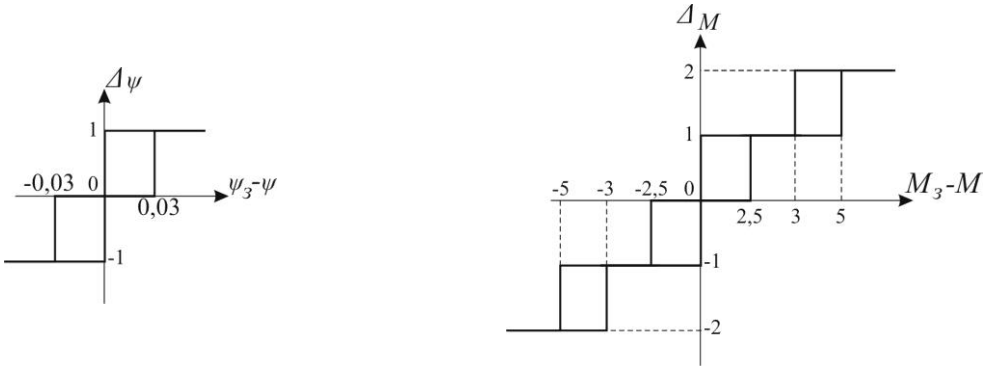
Определение модуля и фазы потокосцепления осуществлено с помощью последовательно включенных модулей *Real Image to Complex* и *Complex to Magnitude Angle* библиотеки *Simulink*. В общем случае, если определена фаза вектора потокосцепления статора, вычисление номера фазового сектора может быть выполнено в соответствии со следующими неравенствами (фаза вектора потокосцепления представлена в градусах, одновременно учтено условие, чтобы абсолютная величина фазового угла не превышала 180°):

$$\begin{cases} \text{если } -30 < \theta \le 30, \text{ то } \vec{\psi}_S \text{ принадлежит сектору 1;} \\ \text{если } 30 < \theta \le 90, \text{ то } \vec{\psi}_S \text{ принадлежит сектору 2;} \\ \text{если } 90 < \theta \le 150, \text{ то } \vec{\psi}_S \text{ принадлежит сектору 3;} \\ \text{если } \theta > 150 \text{ или } \theta \le -150, \text{ то } \vec{\psi}_S \text{ принадлежит сектору 4;} \\ \text{если } -150 < \theta \le -90, \text{ то } \vec{\psi}_S \text{ принадлежит сектору 5;} \\ \text{если } -90 < \theta \le -30, \text{ то } \vec{\psi}_S \text{ принадлежит сектору 6.} \end{cases}$$

Вычисление номера фазового сектора выполнено при помощи блока *Flux sector seeker*, входящего в состав блока *DTC Induction motor drive* (*SymPowerSystems* → *Application Libraries* → *Electric Drives library* → *AC drives*).

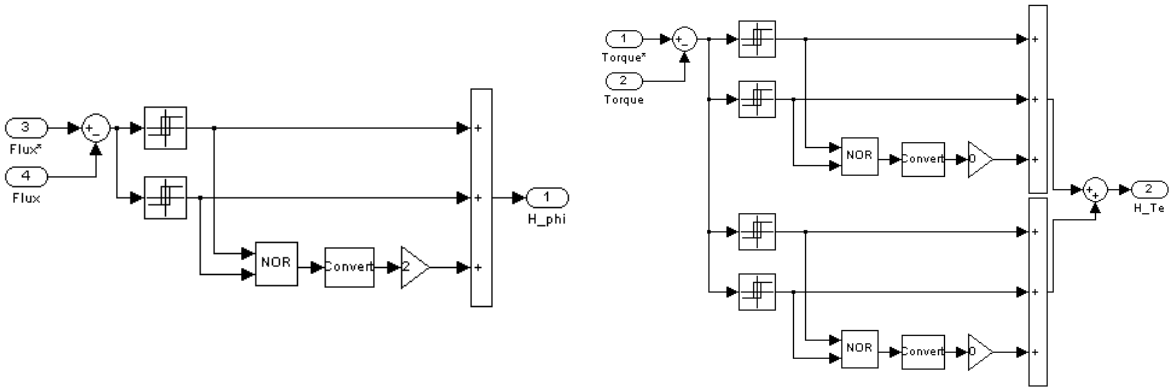
Релейные регуляторы потокосцепления и электромагнитного момента, применяемые при моделировании, имеют статические характеристики, приведенные на рис. 4. Реализация релейных регуляторов средствами MatLab показана на рис. 5 (основные элементы – *Relay, Logical operator, Gain, Data type conversion, Sum*).

Таблица оптимальных переключений автономного инвертора напряжения синтезирована с помощью блоков *Lookup2D, Switch, Constant, Multi-Port switch* (на рис. 6 показан фрагмент схемы).



а *б*

Рис. 4. Релейные регуляторы потокосцепления (*а*) и момента (*б*)



а *б*

Рис. 5. Реализация релейных регуляторов потокосцепления (*а*) и момента (*б*) средствами MatLab Simulink

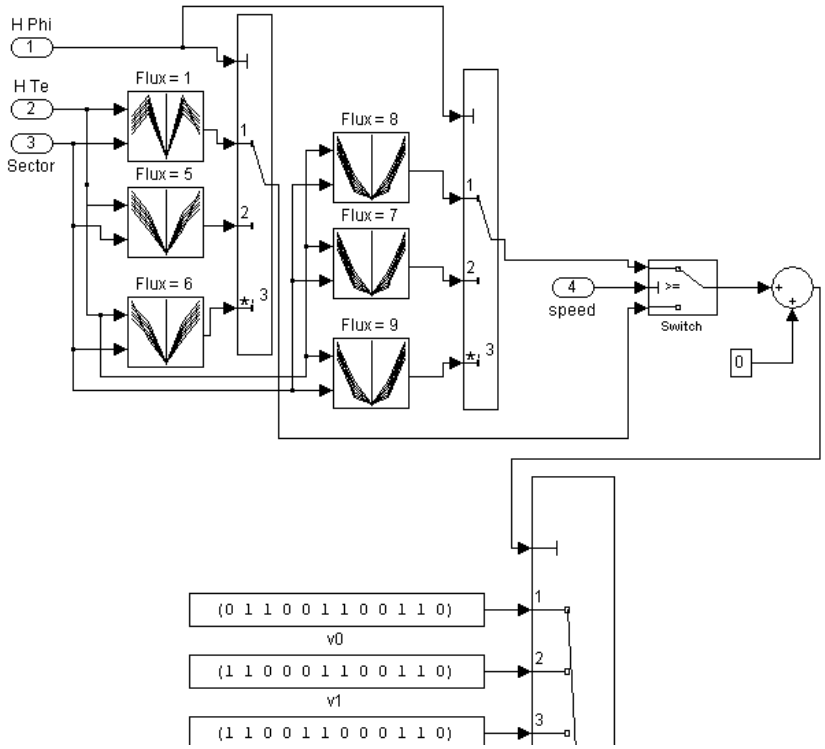
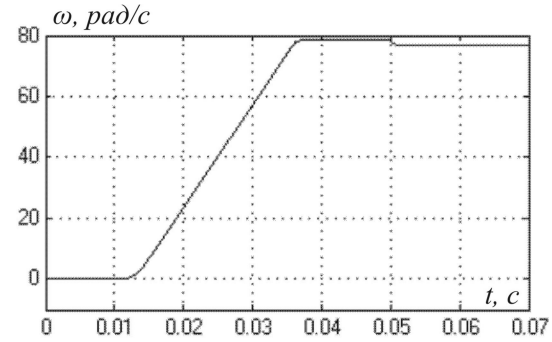
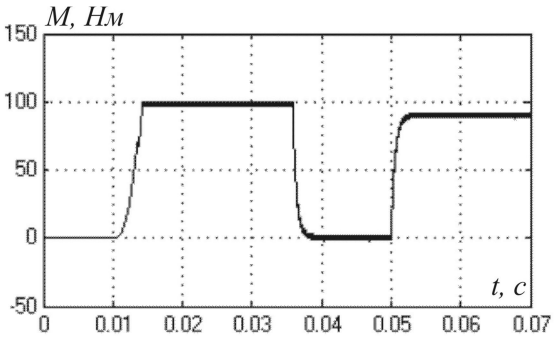


Рис. 6. Реализация таблицы переключений средствами MatLab (фрагмент)

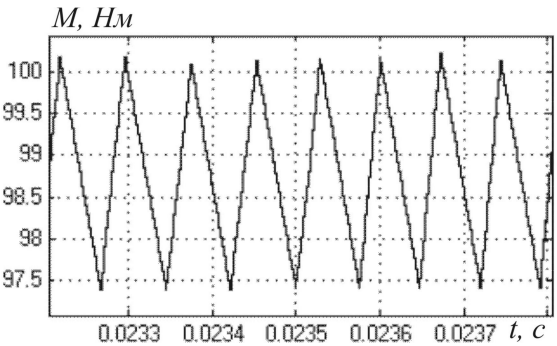
На рис. 7 приведены результаты моделирования электропривода с системой прямого управления моментом асинхронного двигателя.



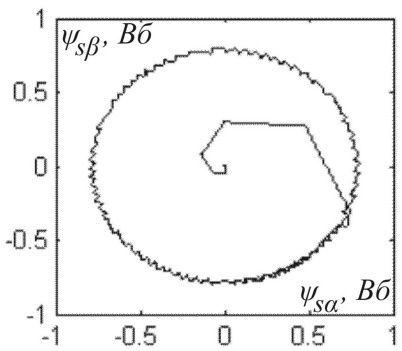
а



б



в



г

Рис. 7. Результаты моделирования: *а* – осциллограмма частоты вращения; *б* – осциллограмма момента; *в* – осциллограмма момента (увеличено), *г* – годограф потокосцепления)

Анализ результатов показывает высокие быстродействие системы и точность поддержания момента и потокосцепления при изменении задания на частоту вращения и скачкообразном изменении момента сопротивления.

Источники

1. Idris N.R.N., Yatim A.H.M. Direct Torque Control of Induction Machines With Constant Switching Frequency and Reduced Torque Ripple // Industrial Electronics. 2004. Vol. 51, № 4. P. 758–767.

2. Mesaif I.A., Berkouk EI-M., Saadia N. study of DTC – power electronic cascade fed by photovoltaic cell-three-level NPC inverter // Smart grid and renewable energy. 2010. № 1. P. 109–118.

УДК 621.578:621.577.012-837

МОРФОЛОГИЧЕСКИЙ И ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СПОСОБОВ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ НА ГАЗОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СТАНЦИЯХ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ

Андрей Эдуардович Пушкарев[1], Сергей Алексеевич Хайруллин[2]

ФГБОУ ВО «ИГТУ имени М.Т. Калашникова», г Ижевск

[1]pushkarev@istu.ru, [2]haiser_91@mail.ru

Рассматриваются способы энергосбережения в процессе редуцирования газа на газораспределительных станциях. С целью поиска наиболее рациональных методов предлагается использовать методы морфологического анализа. Построены морфологические матрицы теплового насоса и утилизации потенциальной энергии сжатого газа. Рассмотрены варианты теплового насоса, произведен их термодинамический анализ, предложены пути повышения эффективности их применения на газораспределительных станциях.

Ключевые слова: газопроводы, детандер-генераторный агрегат, газораспределительная станция, тепловой насос, морфологическая матрица.

MORPHOLOGICAL AND THERMODYNAMIC ANALYSIS OF ENERGY SAVINGS METHODS AT GAS DISTRIBUTION STATIONS OF MAIN GAS PIPELINES

Andrey Eduardovich Pushkarev, Sergey Alekseevich Khairullin

The ways of energy saving in the process of gas reduction at gas distribution stations are considered. In order to find the most rational methods, it is proposed to use the methods of morphological analysis. The morphological matrices of the heat pump and utilization of the potential energy of compressed gas are constructed. Variants of the heat pump are considered, their thermodynamic analysis has been carried out, and ways to increase the efficiency of their use at gas distribution stations have been proposed.

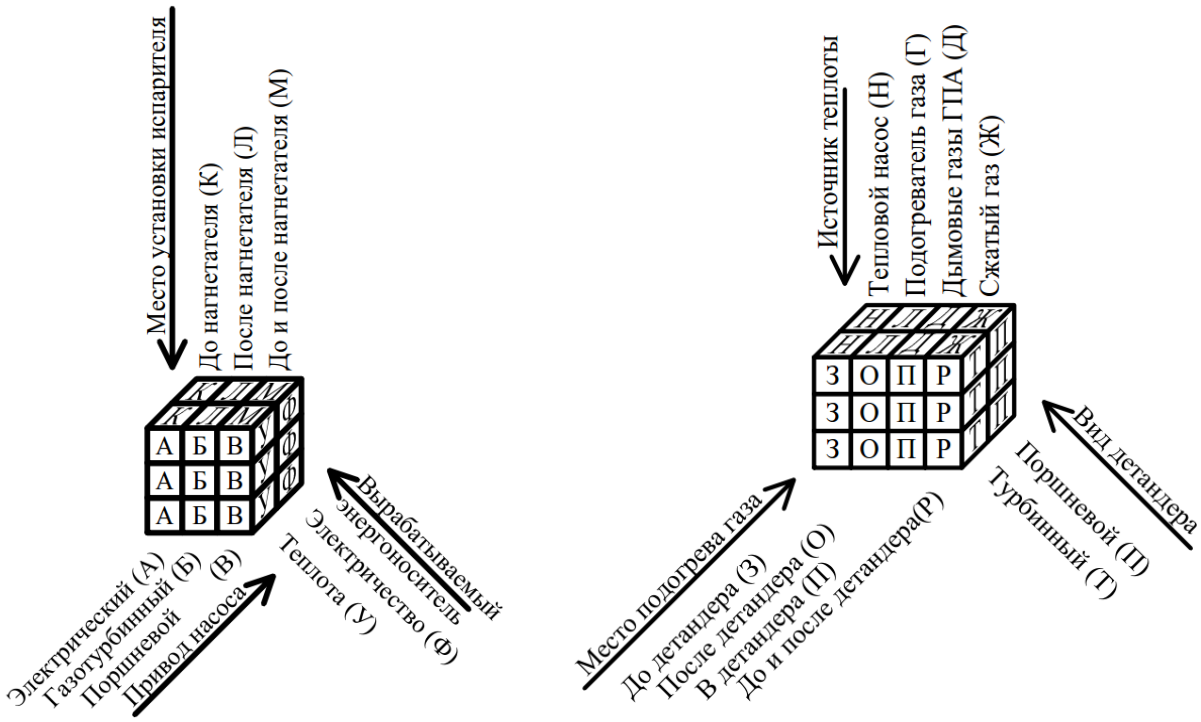
Key words: gas pipelines, expander-generating unit, gas distribution station, heat pump, morphological matrix.

Одним из способов энергосбережения на магистральных газопроводах является использование детандер-генераторных агрегатов с целью выработки электроэнергии во время редуцирования давления газа при его распределении [1–4]. Сегодня существуют разнообразные виды и конструкции детандер-генераторных агрегатов со схемами подогрева газа как до его расширения в детандере, так и после [4–6]. Одним из перспективных методов является применение теплового насоса [4–10]. В работе рассматривается метод подогрева газа на газораспределительных станциях с помощью теплового насоса. С целью поиска наиболее эффективного варианта теплового насоса была создана морфологическая матрица (рис. 1, *а*) [11–13]. Входов в матрице три:

1) привод компрессора;

2) место установки испарителя;

3) энергоноситель.



а *б*

Рис. 1. Морфологические матрицы теплового насоса (*а*) и утилизации потенциальной энергии сжатого газа (*б*)

В работе [11] проанализированы полученные с помощью морфологической матрицы идеи. Отмечается, что наиболее энергоэффективным является вариант, представленный ячейкой матрицы АМФ, но имеющий серьезный недостаток в виде необходимости специального оборудования, вырабатывающего электроэнергию путем утилизации теплоты в одно и то же время как уходящего, так и компримируемого газа [5, 11, 14].

Еще один энергоресурс – пьезометрическая энергия газа высокого давления. Давление газа снижается на газораспределительных станциях перед подачей к потребителю. Чтобы утилизировать энергию перепада давления, выгодно использование детандер-генераторных установок. С целью синтеза наиболее рациональной конструктивной схемы детандер-генераторной установки также предлагается морфологическая матрица с тремя входами: 1) место подогрева газа; 2) источник теплоты; 3) вид детандера (рис. 1, *б*) [11]. Наиболее рационален вариант РЖТ, когда газ нагревается до и после детандера, при этом выгодно использовать теплоту сжатого газа как вторичный энергоресурс [5, 6, 11].

Рабочая схема подогрева газа тепловым насосом приведена на рис. 2; характеристики хладагента и цикл одноступенчатого теплового насоса – на *P*, *H* диаграмме (рис. 3).

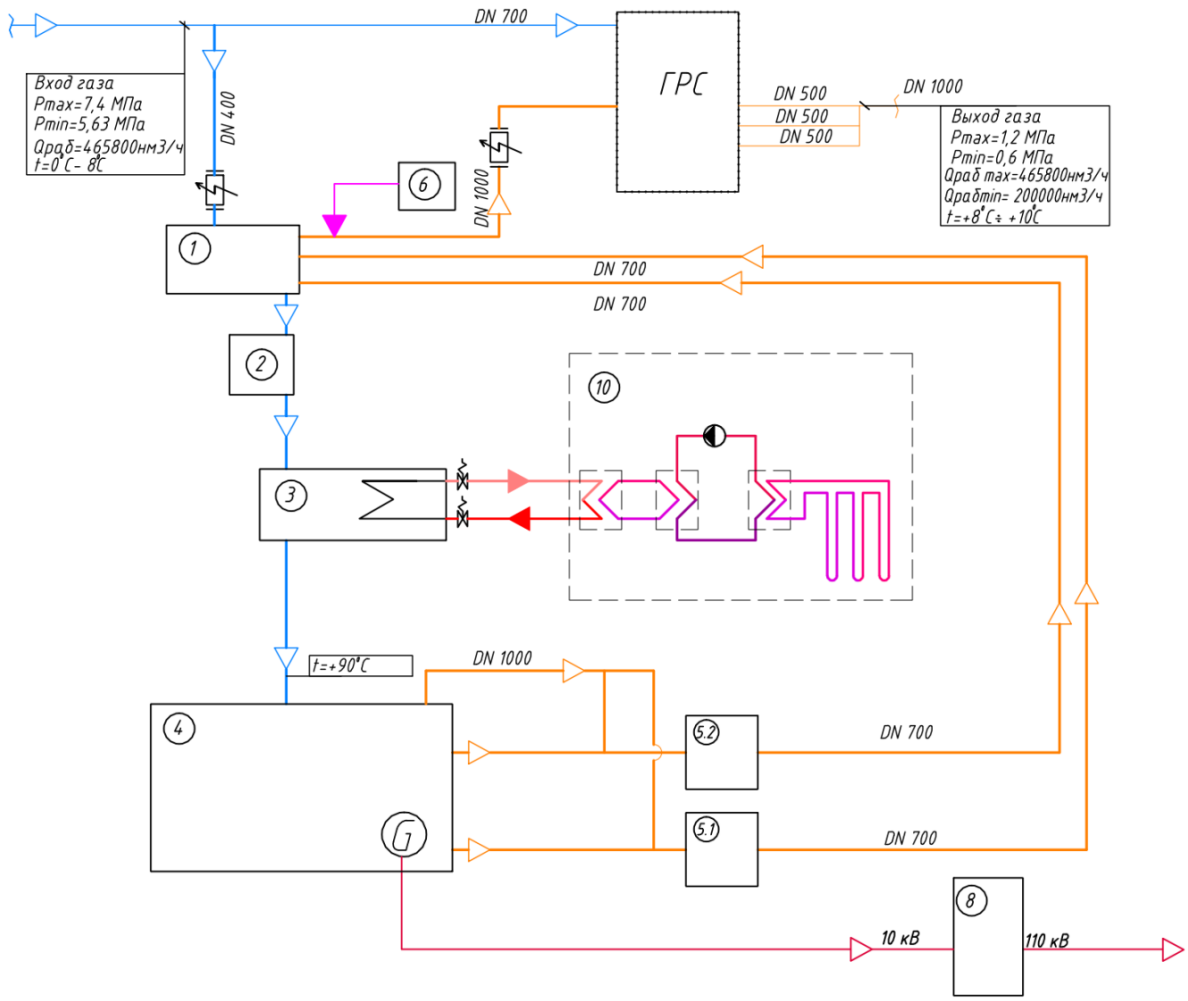


Рис. 2. Рабочая схема подогрева газа тепловым насосом: *1* – узел переключения; *2* – узел очистки газа; *3* – блок подогрева газа; *4* –детандерный агрегат; *5.1* и *5.2* – узел учета газа; *6* – узел одорирования; *8* – трансформаторная подстанция; *10* – тепловой насос

Мощность теплового потока в конденсаторе находится из разности удельных энтальпий, определенных по P, H диаграмме: $Q_{\text{к}} = G_{\text{а}}(h_2 - h_3)$, где $G_{\text{а}}$ – массовая подача хладагента; h_2 – энтальпия хладагента после компрессора; h_3 – энтальпия переохлажденного хладагента перед дросселем.

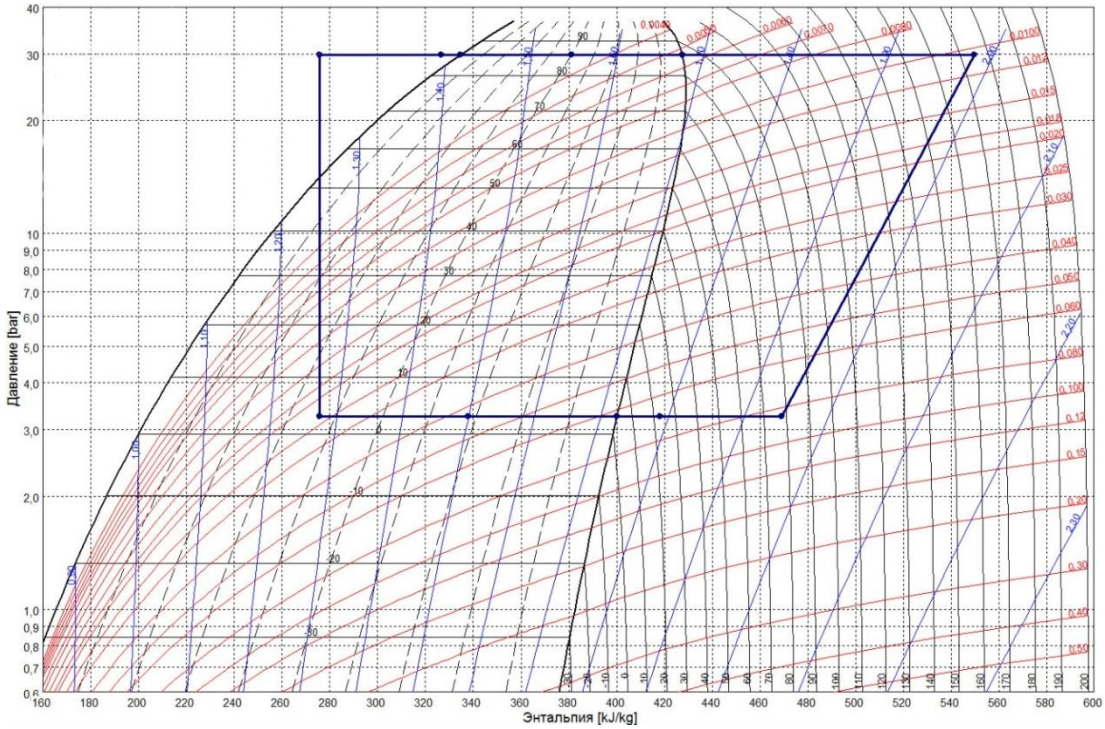


Рис. 3. Цикл хладагента в одноступенчатом тепловом насосе

Тепловой поток в конденсаторе принимается равным 25,36 МВт, при этом температура выхода газа из детандера равна температуре входа газа в газораспределительную станцию. Тогда массовая подача хладагента $G_{\text{а}} = Q_{\text{к}} /(h_2 - h_3)$, или $G_{\text{а}} = 25360 /(549{,}57 - 275{,}55) = 92{,}47$ кг/с .

Адиабатная мощность компрессора $N_T = G_{\text{а}} /(h_2 - h_1)$, где h_1 – энтальпия хладагента на всасывании компрессора:

$$N_T = 92{,}47 /(549{,}57 - 469{,}08) = 744 \text{ кВт.}$$

Действительная мощность компрессора $N = N_T / \eta_{\text{а}}$, где $\eta_{\text{а}}$ – адиабатный коэффициент компрессора:

$$N = 7443{,}31 / 0{,}8 = 9304{,}14 \text{ кВт.}$$

С учетом механического КПД $\eta_{\text{м}}$ эффективная мощность на валу компрессора $N_{\text{в}} = N / \eta_{\text{м}}$:

$$N_{\text{в}} = 9304014 / 0{,}92 = 10113 \text{ кВт.}$$

Мощность электродвигателя компрессора $N_э$ должна быть на 10–15 % больше эффективной мощности на валу; отсюда мощность электродвигателя $N_э$ = 11124 кВт. Коэффициент преобразования энергии:

$$COP = Q_к / N_э = 25{,}36 / 11{,}124 = 2{,}28 .$$

Так как коэффициент преобразования энергии менее 2,7, то тепловой насос не может конкурировать с другими устройствами для нагрева. Для увеличения коэффициента преобразования энергии потребуется уменьшить температурный напор в теплообменниках, что приведет к значительному увеличению теплопередающей поверхности и, в итоге, к увеличению габаритов и массы конденсатора, испарителя, подогревателя и промежуточного теплообменника.

Для увеличения эффективности теплового насоса предлагается разбить его на две ступени: на первой ступени газ нагревается от 8 до 46 °С, на второй – от 46 до 86 °С. Мощность первой ступени принимается равной 15000 кВт, второй – 10360 кВт. Цикл хладагента первой ступени приведен на рис. 4.

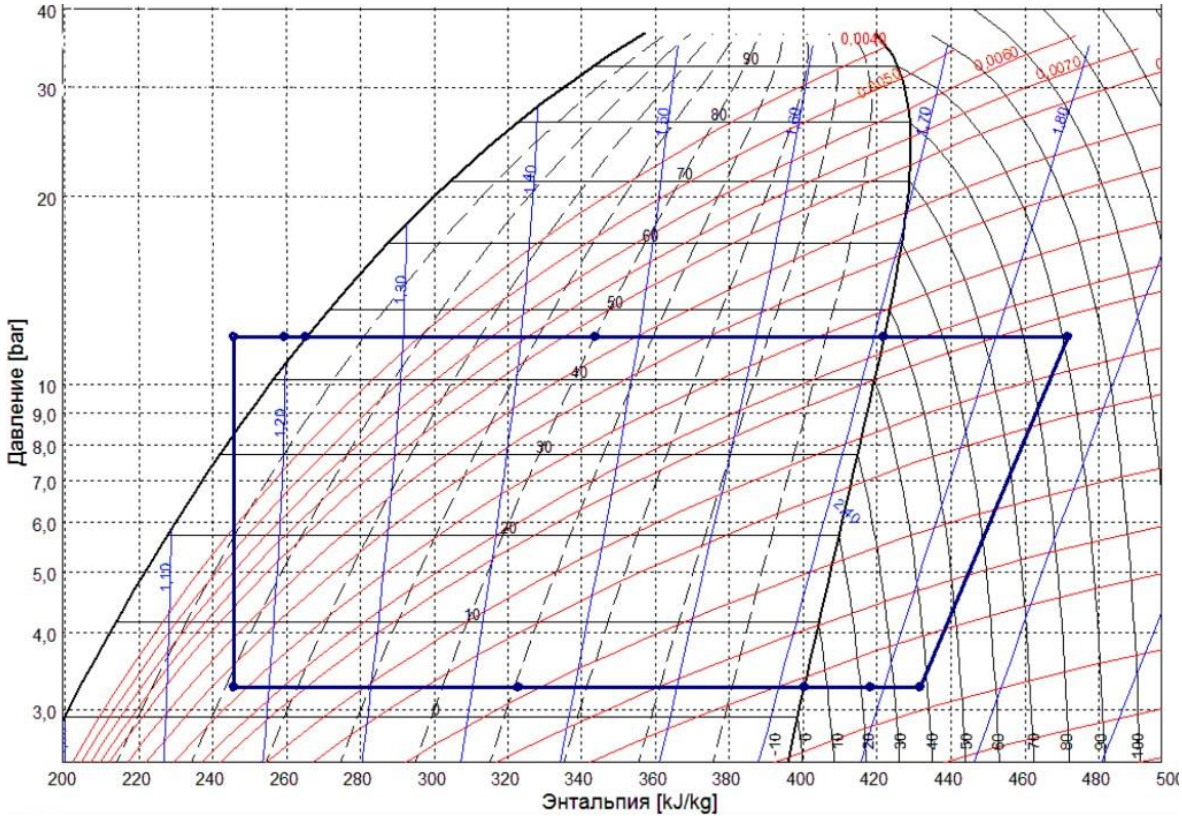


Рис. 4. Цикл хладагента первой ступени теплового насоса

Подача хладагента на первой ступени:

$$G_а = 15000 / (471{,}66 - 245{,}81) = 66{,}42 \text{ кг/с};$$

адиабатная мощность:

$$N_T = 66{,}42/(471{,}66 - 431{,}76) = 2650 \text{ кВт};$$

действительная мощность:

$$N = 2650/0{,}8 = 3312{,}5 \text{ кВт};$$

эффективная мощность на валу:

$$N_в = 3312{,}5/0{,}92 = 3600 \text{ кВт};$$

мощность электродвигателя:

$$N_э = 3690 \text{ кВт}.$$

Коэффициент преобразования энергии $COP = 15/3{,}69 = 4{,}07$. Таким образом, первая ступень устраивает по этому критерию.

Цикл второй ступени приведен на рис. 5. Подача хладагента на второй ступени теплового насоса $G_a = 10360/(492{,}22 - 308{,}49) = 56{,}39$ кг/с; адиабатная мощность $N_T = 56{,}39/(492{,}22 - 459{,}57) = 1841$ кВт; действительная мощность $N = 1841/0{,}8 = 2301{,}3$ кВт; эффективная мощность на валу $N_в = 2301{,}3/0{,}92 = 2501$ кВт; мощность электродвигателя $N_э$ = 2752 кВт; коэффициент преобразования энергии $COP = 10{,}36/2{,}75 = 3{,}77$.

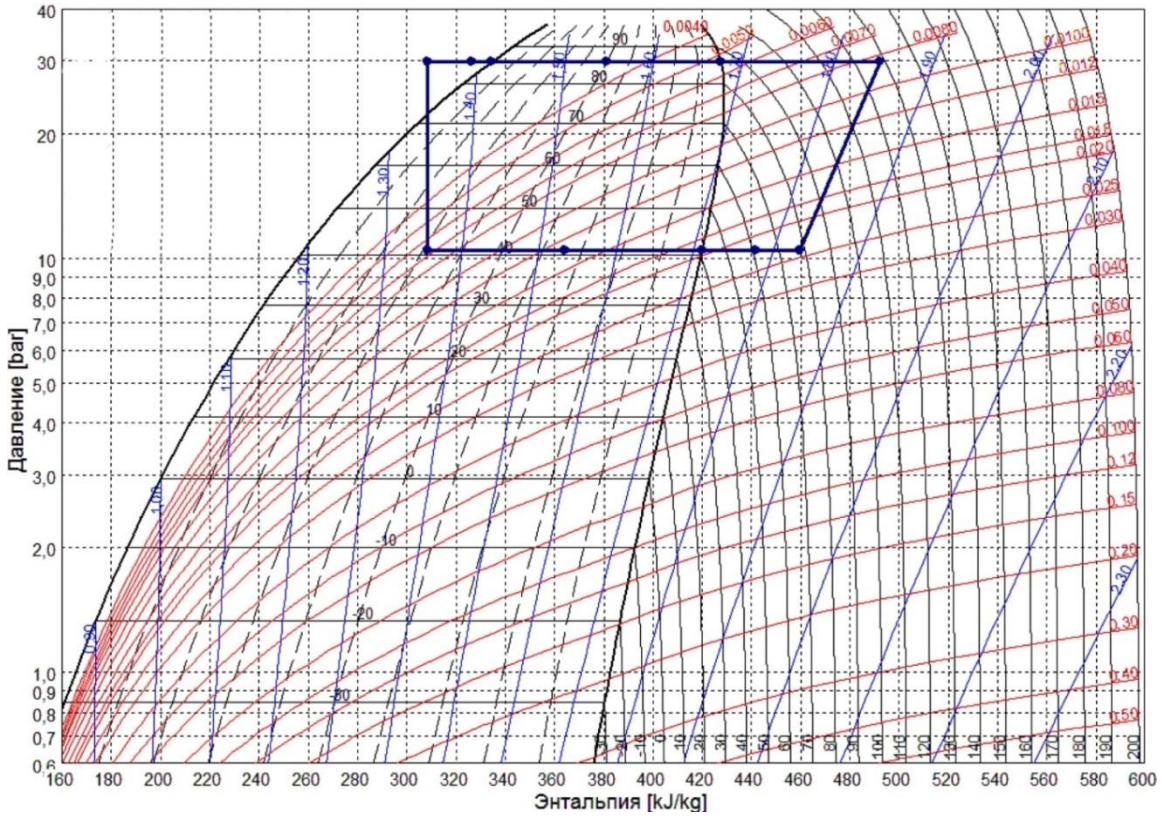


Рис. 5. Цикл хладагента второй ступени теплового насоса

И вторая ступень отвечает критерию эффективности. Общий коэффициент преобразования энергии $COP = (15 + 10{,}36)/(3{,}69 + 2{,}75) = 3{,}94$, что больше предельного значения 2,7.

Таким образом, для подогрева газа после детандер-генераторных установок на газораспределительных станциях эффективно использование двухступенчатого теплового насоса.

На газораспределительных станциях, где отсутствует низкопотенциальный газ, извлечение энергии низкопотенциальных источников из окружающей среды связан со значительными экономическими тратами и техническими проблемами. Одним из возможных путей использования энергетического перепада при редуцировании газа может быть тригенерация [15]. Для увеличения энергоэффективности системы возможно устройство газонаполнительной станции около газораспределительной станции.

Источники

1. Воронов В.А., Самигуллин Г.Х., Рузманов А.Ю. Повышение энергетических характеристик газораспределительной станции путем применения турбодетандера // Международный научно-исследовательский журнал. 2017. № 4–4 (58). С. 35–39.

2. Термодинамическая эффективность использования детандер-генераторных агрегатов на станциях технологического уменьшения давления транспортируемого природного газа / Клименко А.В. [и др.] // Теплофизика и аэромеханика. 2017. Т. 24, № 6(108). С. 961–968.

3. Комплексные энерго- и ресурсосберегающие решения, применяемые на объектах ООО «Газпром Трансгаз Санкт-Петербург» / Фокин Г.А. [и др.] // Газовая промышленность. 2018. № 6(769). С. 96–102.

4. Разработка и исследование существующих возможностей применения детандер-генераторного агрегата для газораспределительной станции с использованием в качестве системы подогрева газа тепловой насосной установки / Урванов С.В. [и др.] // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. 2017. Т. 17, № 2. С. 5–13.

5. Антипов Ю.А. Утилизация вторичных энергоресурсов газовых двигателей и газотурбинных установок с использованием тепловых насосов: автореф. дисс. … канд. техн. наук. М., 2005. 16 с.

6. Хайруллин С.А., Хайруллина А.А. Анализ систем подогрева газа в детандер-генераторных агрегатах // Молодые ученые – ускорение научно-технического прогресса в XXI веке: сб. тр. IV Всеросс. науч.-техн. конф. аспирантов, магистрантов и молодых ученых с междунар. участием / ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М.Т. Калашникова». Ижевск, 2016. С. 872–876.

7. Пушкарев И.А. Структурная и функциональная модели теплового насоса // Фундаментальные и прикладные исследования: проблемы и результаты: сб. матер. IV Междунар. конф. Новосибирск, 2013. С. 186–191.

8. Пушкарев И.А., Пушкарев А.Э. Комплексное использование ветрогенератора и теплового насоса в системе теплоснабжения зданий // Составляющие научно-технического прогресса: сб. матер. 9-й Междунар. науч.-практ. конф. Тамбов, 2013. С. 46–48.

9. Pushkarev I.A. Functional and structural model of a heat supply of buildings with use of nonconventional power sources // Forth Forum of Young Researches. In the framework of International Forum “Education Quality – 2014”: Proc. Izhevsk, 2014. P. 225–227.

10. Пушкарев И.А. Функционально-структурная модель теплоснабжения зданий при использовании теплового насоса // Наука. Технологии. Инновации: материалы всерос. науч. конф. молодых ученых: в 11 ч. Новосибирск: НГТУ, 2014. Ч. 5. С. 45–47.

11. Хайруллин С.А., Хайруллина А.А. Морфологический и функционально-структурный анализ способов утилизации вторичных энергетических ресурсов на компрессорных станциях магистральных газопроводов // Энергоресурсосбережение в промышленности, жилищно-коммунальном хозяйстве и агропромышленном комплексе: электрон. науч. изд.: материалов регион. науч.-практ. семинара / ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М.Т. Калашникова». Ижевск, 2016. С. 3–8.

12. Pushkareva T.A. Matrix of ways of a heat supply of a house // Forth Forum of Young Researches. In the framework of International Forum “Education Quality – 2014”: Conference Proceedings. Editorial board: B. Yakimovich; Y. Turygin. Izhevsk: Publishing House of Kalashnikov ISTU, 2014. P. 228–230.

13. Пушкарева Т.А. Функционально-структурный и морфологический анализ механических систем преобразования энергии от возобновляемых источников // Энергоресурсосбережение в промышленности, жилищно-коммунальном хозяйстве и агропромышленном комплексе: матер. регион. науч.-практ. семинара / ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М.Т. Калашникова». Ижевск, 2016. С. 18–23.

14. Повышение эффективности парогазовой установки с котлом-утилизатором за счет включения в схему абсорбционного преобразователя теплоты / Валиев Р.Н. [и др.] // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2017. Т. 19, № 11-12. С. 101–111.

15. Фирсова Е.В., Чичирова Н.Д., Соколов В.Ю. Тригенерационные источники энергии малой и средней мощности // Промышленная энергетика. 2017. № 4. С. 17–24.

УДК 621.3.014.7

РАСЧЕТ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В СЕТЯХ 6–10 кВ, РАБОТАЮЩИХ С ИЗОЛИРОВАННОЙ И КОМПЕНСИРОВАННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ ПРИ ОДНОФАЗНОМ ЗАМЫКАНИИ НА ЗЕМЛЮ

Риназ Ринатович Ризванов[1], Ольга Германовна Губаева[2]

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

[1]rizvanov.rinaz@yandex.ru, [2]mr.gubaev@mail.ru

Режим работы нейтрали способствует безопасной эксплуатации электроустановок, и компенсация емкостной составляющей снижает уровни токов ОЗЗ.

Ключевые слова: однофазное замыкание на землю (ОЗЗ), изолированная нейтраль, дугогасящий реактор, компенсация емкостных токов.

CALCULATION OF TRANSITION PROCESSES IN 6–10 kV NETWORKS WORKING WITH ISOLATED AND COMPENSATED NEUTRAL AT A SINGLE-PHASE GROUNDING ON EARTH

Rinaz Rinatovich Rizvanov, Olga Germanovna Gubaeva

The mode of operation of the neutral contributes to the safe operation of electrical installations, and the compensation of the capacitive component reduces the levels of the OZZ currents.

Key words: single-phase short circuit to earth (OZZ), isolated neutral, arc suppression reactor, compensation of capacitive currents.

Замыкания на землю токоведущих частей электрических установок являются преобладающим видом повреждения в электрических сетях. В распределительных сетях 6–35 кВ эти повреждения составляют не менее 75 % от общего числа повреждений.

Причины возникновения замыкания на землю многообразны, поэтому способы и средства повышения надежности работы высоковольтной сети должны быть направлены прежде всего на предотвращение аварийных последствий при замыкании на землю и на поддерживание определенных эксплуатационных уровней изоляции [1].

В России, согласно правилам устройства электроустановок (п.1.2.16, 4.2.166), работа электрических сетей напряжением 3–35 кВ может предусматриваться как с изолированной нейтралью, так и с нейтралью, заземленной через дугогасящий реактор или резистор. В электрических сетях 3–35 кВ с малыми токами замыкания на землю допускается работа высоковольтных линий с заземленной фазой до устранения замыкания; при этом персонал обязан отыскать место повреждения и устранить его в кратчайший срок [2].

Целью работы является проведение расчета для сетей, работающих с изолированной и компенсированной нейтралью, при однофазных замыканиях на землю.

Накопленный опыт исследований процесса ОЗЗ позволил создать математические модели, дающие возможность анализировать различные виды повреждений в электрических и кабельных сетях.

Разработанные алгоритмы позволяют провести расчет перенапряжений и тока замыкания на землю для трех аварийных ситуаций:

• обрыв фазного провода и падение его на землю;

• пробой изолятора на ж/б опоре;

• металлическое замыкание на землю.

Рассмотрение именно этих случаев очень важно для настройки устройств релейной защиты с целью отыскания мест повреждения. Связь фазы с землей через неметаллические предметы (например, через деревянные части конструкции, при падении провода на сухой грунт и т. д.) иногда приводит к ОЗЗ с весьма большим переходным сопротивлением. Так, в эксперименте при падении провода ЛЭП 35 кВ на песок отмечалось переходное сопротивление, которое в течение нескольких секунд изменялось от 7 до 5 кОм. В Польше нормируемая величина такого сопротивления составляет 13,5 кОм, в Канаде – 7,5 кОм. Такие большие величины переходных сопротивлений могут существенно усложнить требования к защитам воздушных ЛЭП от ОЗЗ, поскольку с ростом переходного сопротивления уменьшаются как напряжения U_0, так и токи нулевой последовательности I_0 [3].

Поэтому проведение расчетов токов и напряжений при ОЗЗ на разработанных моделях позволит оценивать эти параметры при обрыве фазного провода и его падении грунт различного вида (песок, камень, торф, чернозем и т.д.) и в других аварийных ситуациях.

Источники

1. Лихачев Ф.А. Замыкания на землю в сетях с изолированной нейтралью и с компенсацией емкостных токов. М.: Энергия, 1971. 152 с.

2. Правила Устройства электроустановок. 7-е изд. М.: Моркнига, 2018. 512 с.

3. Шалин А.И. Замыкания на землю в линиях электропередачи 6–35 кВ. Особенности возникновения и приборы защиты // Новости электротехники. 2005. № 1(31). 2005.

УДК 62-82

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ И ИСПЫТАНИЯХ ГИДРОЦИЛИНДРОВ

Александр Тимофеевич Рыбак[1], Ирина Константиновна Цыбрий[2], Алексей Юрьевич Пелипенко[3]

ФГБОУ ВО «ДГТУ», г. Ростов-на-Дону

[1]2130373@mail.ru, [2]irconst@mail.ru, [3]pelipenko16a@mail.ru

Главная задача современности, как в экономическом, экологическом так и научном плане основана на сохранении энергии. В данной статье рассматривается вопрос в гидравлической области, связанный со стендом для испытания гидромашин с рекуперацией энергии. Перед пуском гидродвигателей в основную работу необходимо провести ресурсные испытания. Данные испытания показывают, главным образом, надёжность машины, возможность модернизации и улучшение её основных характеристик.

Ключевые слова: энергия, испытание, гидромашина, рекуперация, гидродвигатель, надёжность.

ENERGY SAVING DURING OPERATION AND TESTING OF HYDROCYLINDERS

Alexander Timofeevich Rybak, Irina Konstantinovna Tsybriy, Alexey Yurievich Pelipenko

The main task of our time, both economically, ecologically and scientifically, is based on the conservation of energy. This article discusses the issue in the hydraulic field associated with the stand for testing hydraulic machines with energy recovery. Before starting the hydraulic engines in the main work it is necessary to carry out life tests. These tests show, mainly, the reliability of the machine, the possibility of upgrading and improving its basic characteristics.

Key words: energy, test, hydraulic machine, recuperation, hydraulic engine, reliability.

При современном уровне мощностей технологических машин и мобильной техники одним из важнейших вопросов, подлежащих решению при создании новой перспективной техники становится энергосбережение при её эксплуатации. КПД гидроприводов напрямую зависит от уровня дроссельных потерь мощности в компонентах, через которые проходит поток рабочих жидкостей при перепаде давлений. При этом потери давления, равные 1 МПа, вызывают разогрев потока рабочей жидкости на 0,6. В современных гидроприводах применяется дроссельное, объемное или объемно дроссельное регулирование. В первом изменение скорости движения гидродвигателей (цилиндров или гидромоторов) реализуется путем дросселирования поступающего к ним потока рабочей жидкости,

во втором – за счет изменения рабочих объемов насосов и/или гидромоторов и в третьем – регулируемый насос работает совместно с дроссельным регулятором потока. С точки зрения энергосбережения дроссельное регулирование наименее приемлемо, однако его конструктивная простота и высокое быстродействие в приводах сравнительно небольшой мощности (обычно до 3...5 кВт) во многих случаях являются решающими.

Особое значение энергосбережение имеет в процессе ресурсных испытаний гидравлических машин средней и большой мощности, так как при ресурсных испытаниях гидравлическая машина должна выработать свой ресурс, а, следовательно, на эти испытания затрачивается энергия, которую данная машина, в частности гидравлический цилиндр, потребляет за весь срок своей эксплуатации.

Важное условие проведения ресурсных испытаний гидравлических цилиндров является обеспечение максимально возможного соответствия между режимами нагружения испытуемых гидравлического цилиндра при испытаниях и условиями их работы в процессе реальной эксплуатации. Современные требования по длительности эксплуатации и мощности гидроцилиндров делают неприемлемыми обычные стендовые ресурсные испытания гидроцилиндров [1, 2]. При ресурсных испытаниях как поршневых, так и плунжерных гидроцилиндров возникает ряд проблем, связанных с тем, что применение в качестве нагрузки общепринятых средств (таких, как дросселирование рабочей жидкости, использование фрикционных тормозных устройств и пр.) приводит к выделению большого количества тепла и значительному расходу энергии.

Наиболее перспективным направлением развития испытательной техники, особенно при ресурсных испытаниях гидромашин значительной мощности, является создание испытательных стендов с применением эффекта рекуперации энергии при испытании гидромашин.

Рекуперация (от латинского *recuperatio* – обратное получение) – возвращение части материалов или энергии для повторного использования в том же технологическом процессе. Известен способ рекуперацией энергии при испытания объемных гидравлических машин вращательного действия. В этом случае нагрузкой для одной испытуемой гидромашины (например, для гидронасоса) служит другая испытуемая гидромашина (гидромотор), и наоборот. Этот способ значительно уменьшает габариты и упрощает схему испытательного стенда, так как отсутствуют специальные системы нагружения. Данный метод повышает КПД системы испытаний и, как следствие, снижает энергозатраты. В работах [3–5] предлагается схема

стенда для испытания гидромашин с различными рабочими объёмами, согласование работы которых осуществляется путем введения механической передачи, а гидравлическая магистраль является напорной с регулируемой нагрузкой.

В настоящей работе предлагается использовать напорную магистраль схемы [5] для ресурсных испытаний плунжерных гидроцилиндров. Принципиальная гидравлическая схема стенда для испытания плунжерных гидроцилиндров представлена на рисунке.

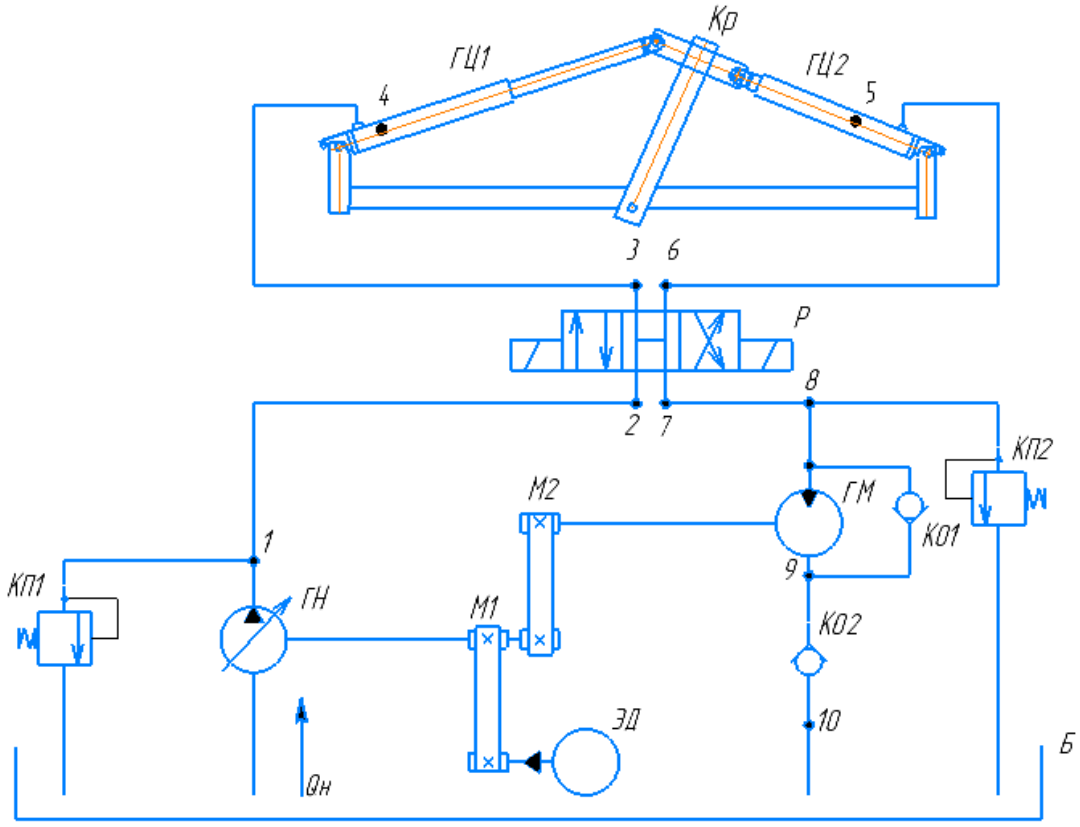


Рис. 1. Принципиальная гидравлическая схема стенда для ресурсных испытаний плунжерных гидроцилиндров с рекуперацией энергии

Работа стенда заключается в следующем. Электрический двигатель (ЭД) приводит во вращение вал регулируемого гидронасоса (ГН). Механическая энергия, поступившая с вала электродвигателя, преобразуется гидравлическим насосом ГН в гидравлическую энергию рабочей жидкости.

Рассмотрим процесс работы стенда в период движения штоков испытуемых гидроцилиндров из крайнего левого в крайнее правое положение. Рабочая жидкость по магистрали 1–2 попадает на вход гидравлического распределителя Р, который по магистрали 3–4 направляет её в рабочую полость плунжерного гидроцилиндра ГЦ1. Гидравлическая энергия рабочей жидкости благодаря работе гидроцилиндра ГЦ1 преобразуется

в механическую энергию перемещения его плунжера, который механически связан со штоком второго испытуемого гидроцилиндра ГЦ2. Механическая энергия перемещения плунжера ГЦ2 преобразуется в гидравлическую энергию рабочей жидкости, вытесняемой из его рабочей полости. Через магистраль *5–6*–Р–*7–8* жидкость поступает на вход гидравлического мотора ГМ. В гидромоторе осуществляется преобразование гидравлической энергии рабочей жидкости в механическую энергию вращения вала, которая с вала гидромотора посредством механической передачи М1–М2 передается на вал гидронасоса ГН, где суммируется с энергией вращения вала электродвигателя и вновь преобразуется гидронасосом в энергию рабочей жидкости. Работа стенда при движении гидроцилиндров из крайнего правого в крайнее левое положение аналогична, а осуществляется изменение направления движения плунжеров испытываемых гидроциндров за счёт смены позиции распределителя Р.

Следует отметить, что второй гидроцилиндр ГЦ2 вытесняет на вход гидромотора ГМ столько же жидкости сколько первый гидроцилиндрГЦ1 получает от гидронасоса ГН, однако, механическая передача М1–М2 создает условие, при котором подача гидронасоса ГН будет несколько превосходить потребный расход гидромотора ГМ, что приведет к росту давления в магистрали, связывающей насос с гидромотором, а, следовательно и давления в рабочих полостях испытуемых гидроцилиндров. Излишки рабочей жидкости будут сбрасываться из этой магистрали в гидробак через предохранительный клапан КП2. Таким образом, регулируя настройку предохранительного клапана КП2, можно изменять давление в напорной магистрали, тем самым регулировать величину нагружения испытуемых гидроцилиндров. Обратный клапан ОК1 предназначен для шунтирования гидромотора в процессе разгона и торможения гидроцилиндров, при переключении позиции гидрораспределителя Р.

Первичный анализ работы предлагаемого стенда для ресурсных испытаний плунжерных гидроцилиндров с рекуперацией энергии [6–9] выявляет их технические преимущества перед схемами, используемыми на настоящее время.

В предлагаемой схеме основным элементом, служащим для распределения гидравлической энергии рабочей жидкости, является гидрораспределитель, причем его сливные магистрали работают под нагрузкой, которая передается на гидромотор. Данное обстоятельство в значительной степени может сказаться на ресурсе работы гидрораспределителя, вследствие воздействия знакопеременных нагрузок. Также данным нагрузкам

при работе стенда будут подвергнуты все элементы гидромеханической системы. Вследствие этого для более детальной оценки их работоспособности, ресурса работы и подбора оптимальных конструктивных параметров элементов, а также повышения точности регулирования [10], ведется работа над созданием математических моделей динамических процессов в стендах, что позволит также анализировать поведение систем при испытании гидроцилиндров широкого номенклатурного ряда.

Источники

1. Никитин О.Ф. Надежность, диагностика и эксплуатация гидропривода мобильных объектов. М.: Изд-во МГГУ им. Н.Э. Баумана, 2007. 312 с.

2. Павлов А.И., Тарбеев А.А., Вдовин С.Л. Надежность, диагностика и защита гидроприводов транспортно-технологических машин: монография / под общ. ред. проф. А.И. Павлова; Минобрнауки России; ФГБОУ ВО «ПГТУ». Йошкар-Ола: ПГТУ, 2017. 374 с.

3. Рыбак А.Т., Жаров В.П., Устьянцев М.В., Ефименко А.Г. Исследование рекуперативной гидромеханической системы стенда испытаний объёмных гидромашин // Вестник Донского государственного технического университета. 2011. Т. 11, № 9(60). С. 1651–1661.

4. Рыбак А.Т., Устьянцев М.В. Результаты теоретического исследования рекуперативной системы привода стенда испытаний объёмных гидравлических машин. // Транспорт – 2012: сб. тр. Всерос. науч.-практ. конф.: в 3 ч. / Ростовский государственный университет путей сообщения. Р.н/Д., 2012. С. 374–376.

5. Устьянцев М.В. Повышение эффективности привода стенда испытаний гидромашин вращательного действия: автореф. дис. … канд. техн. наук. Р.н/Д., 2012. 18 с.

6. Фреинт С.А., Рыбак А.Т. Математическое моделирование гидросистемы стенда с улучшенными характеристиками // Системный анализ, управление и обработка информации: тр. VII Междунар. сем. Р.н/Д., 2016. С. 57–61.

7. Рыбак А.Т., Фреинт С.А., Мазнев Д.С. Моделирование и расчёт стенда для испытаний плунжерных гидравлических цилиндров // Состояние и перспективы развития сельскохозяйственного машиностроения: тр. 10 Междунар. науч.-практ. конф. Р.н/Д.: Дон. гос. техн. ун-т, 2017. С. 692–695.

8. Фреинт, С.А., Рыбак А.Т. Математическое моделирование гидросистемы стенда с улучшенными характеристиками // Системный анализ, управление и обработка информации: тр. VII Междунар. сем. Р.н/Д., 2016. С. 57–61.

9. Рыбак А.Т., Фреинт С.А., Пелипенко А.Ю. Моделирование гидромеханической системы испытательного стенда с рекуперацией энергии // Механика, оборудование, материалы и технологии: сб. тр. Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 100-летию ФГБОУ ВО «КубГТУ». Краснодар, 2018. С. 163–169.

10. Tsybriy I.K., Ignatenko V.I. Analysis of the influence of positive feedback on the quality of the control system // MATEC Web of Conferences. 2017. Vol. 132. URL: https://www.matec-conferences.org/articles/matecconf/pdf/2017/46/matecconf_dts2017_02011.pdf (дата обращения: 05.06.18).

УДК 621.313

АВТОМАТИЗАЦИЯ РЕЗЕРВНОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ РЕГИОНАЛЬНОЙ СЛУЖБЫ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ СУДОВ КЕРЧЕНСКОГО ПРОЛИВА

Александр Геннадьевич Рыбин[1], Александр Евгеньевич Савенко[2]

ФГБОУ ВО «КГМТУ», г. Керчь

[1]a.g.rybyn.rosmorport@mail.ru, [2]savenko-70@mail.ru

В работе предложен путь повышения автоматизации и надёжности гарантированного электроснабжения региональной службы управления движением судов Керченского пролива от резервных источников питания с внедрением автоматического и дистанционного управления, мониторинга, автоматического выбора резерва дизель-генераторных электростанций. Учтены вопросы надежности, быстрой замены неисправных компонентов, взаимозаменяемости, простоты в обслуживании и снижении человеческого фактора к минимуму за счет автоматизации большинства процессов.

Ключевые слова: автоматическое управление, панель оператора, дизель-генераторная электростанция, автоматизация запуска, панель управления, логика выбора режима работы, программируемый логический контроллер.

AUTOMATION OF BACKUP POWER SUPPLY FOR THE REGIONAL TRAFFIC CONTROL SERVICE OF THE KERCH STRAIT

Alexander Gennadievich Rybin, Alexander Evgenievich Savenko

The paper proposes a way to improve the automation and reliability of guaranteed power supply to the regional traffic control service of the Kerch Strait ships from backup power sources with the introduction of automatic and remote control, monitoring,

and automatic selection of a reserve of diesel generator power plants. The issues of reliability, quick replacement of defective components, interchangeability, ease of maintenance and reducing the human factor to a minimum by automating most processes are taken into account.

Key words: automatic control, operator panel, diesel generator power station, launch automation, control panel, operating mode selection logic, programmable logic controller.

Региональная система управления движения судов (РСУДС) Керченского пролива предоставляет судам топливно-энергетического комплекса, нефтегазовой, рыбодобывающей отрасли, а также сухогрузным судам заходы в порты Таманского полуострова и проход по акватории Керченского пролива. Система образована на основе информационной интеграции и координационной деятельности. В состав РСУДС Керченского пролива входят: центр РСУДС порта Кавказ, автоматизированные радиотехнические посты «Тузла», «Лада-Геленджик-Транс», «Ахиллеон», «Зеленского», «Фонталовская», «ЭФКО Пищевые ингредиенты», «маяк Темрюкский», «Темрюк». Служба создана в целях повышения уровня безопасности мореплавания и эффективности судоходства, охраны жизни на море, защиты морской среды и побережья от загрязнений, защиты береговых сооружений. При оказании помощи в судовождении в зоне действия РСУДС Керченского пролива обеспечивается радиолокационное автосопровождение целей с погрешностью не более:

1) ±0,3° при определении направления на цель;

2) ±2° при определении параметров цели по курсу и ±0,5 узла по скорости;

3) 0,4° при определении направления на цель по углу и 10 м по расстоянию.

В зоне действия РСУДС Керченского пролива в морском порту Кавказ осуществляется гарантированное обнаружение и устойчивое сопровождение судов, имеющих эффективную отражающую поверхность 100 кв. м и более, а также обеспечивается надежная ультракоротковолновая (УКВ) и особо высокочастотная (ОВЧ) радиотелефонная связь с судами и радиолокационный контроль. Рабочая зона береговых станций автоматической идентификационной системы (АИС) полностью покрывает зону действия РСУДС Керченского пролива в морском порту Кавказ. Основным требованием к радиолокационным системам управления движением судов, объектам инфраструктуры морского порта, необходимым для функционирования глобальной морской системы, связи при бедствии и для обеспечения безопасности, объектам и средствам автоматической

информационной системы, службе контроля судоходства и управления судоходством является круглосуточная и бесперебойная работа с полным резервированием основного оборудования и бесперебойное снабжение электроэнергией.

На сегодняшний день автоматический выбор резерва (АВР) дизель-генераторной электростанции (ДЭС) состоит из следующих компонентов:

1. Трех дизель-генераторных электростанций «Wilson» контейнерного исполнения.

2. Щита автоматического включения резерва (ЩАВР) ДЭС.

3. Блока выбора ДЭС.

В момент токовой паузы за время запуска ДЭС питание основного оборудования РСУДС в здании радиоцентра обеспечивает источник бесперебойного питания Liberti 15 kVa.

После выхода нового приказа существующая схема АВР ДЭС не соответствует новой редакции требований к системам РСУДС (п. 3, п. 4, п. 5 приказа Министерства транспорта РФ от 23 июля 2015 г. № 226 «Требования к радиолокационным системам управления движением судов, объектам инфраструктуры морского порта, необходимым для функционирования глобальной морской системы связи при бедствии и для обеспечения безопасности, объектам и средствам автоматической информационной системы, службе контроля судоходства и управления судоходством»). Схема запуска АВР ДЭС использует последовательную собранную цепочку нормально замкнутых контактов реле KSV1 и KSV2, которые установлены на основном и резервном вводе от 2БКТП (рис. 1).

При наличии напряжения на обоих вводах реле включены и контакты разомкнуты, а при отсутствии реле отключается и контакты замыкаются, происходит запуск выбранного ДГУ. Данная реализация запуска имеет ряд недостатков.

1. В случае отказа запуска одной из дизель-генераторных электростанций требуется вмешательство оперативного персонала для подготовки и запуска другой.

2. Если после запуска электростанции в силу каких-то причин напряжение на здание радиоцентра не поступило, подачу напряжения без устранения неисправности силами оперативного персонала не решить.

3. Отсутствие удаленного мониторинга состояния дизель-генераторной электростанции.

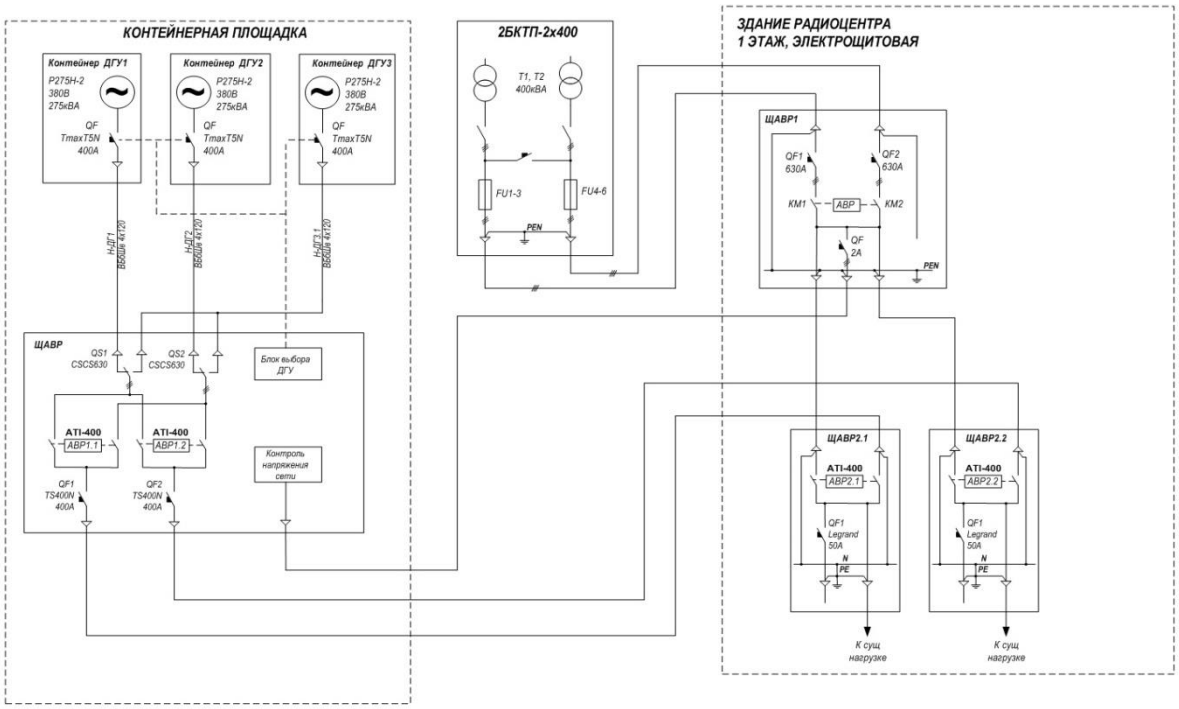


Рис. 1. Существующая однолинейная схема электроснабжения РСУДС Керченского пролива

В целях обеспечения надежности, автоматического управления, задания приоритета работы, возможности мониторинга, ведения технических и аварийных журналов разрабатываем функциональную схему электроснабжения [3]. Одного сигнала контроля наличия напряжения сети для поставленных задач недостаточно, так как после запуска ведущего, даже если он исправен и прошел удачный запуск, необходимо проконтролировать поступление напряжения в здание радиоцентра. На время отсутствия напряжения сети для питания АСУ ДЭС установим источник бесперебойного питания высокой надежности с онлайн-контролем. В здании радиоцентра установим панель оператора. После всех изменений и установки дополнительного оборудования схема автозапуска ДЭС должна выглядеть, как на рис. 2.

Для организации логики автоматического управления применим программируемый логический контроллер (ПЛК), используя необходимые цепи для подключения внешнего управления, мониторинга и сигнализации ДЭС, фирмы Wilson контейнерного исполнения. Согласно документации по ДЭС туда выведены следующие входные дискретные сигналы:

- авария ДЭС;
- аварийный останов ДЭС;
- неисправность ДЭС;
- работа ДЭС;

• верхний уровень топлива основного топливного бака;
• средний уровень топлива основного топливного бака;
• нижний уровень топлива основного топливного бака;
• верхний уровень топлива дополнительного топливного бака;
• средний уровень топлива дополнительного топливного бака;
• нижний уровень топлива дополнительного топливного бака.

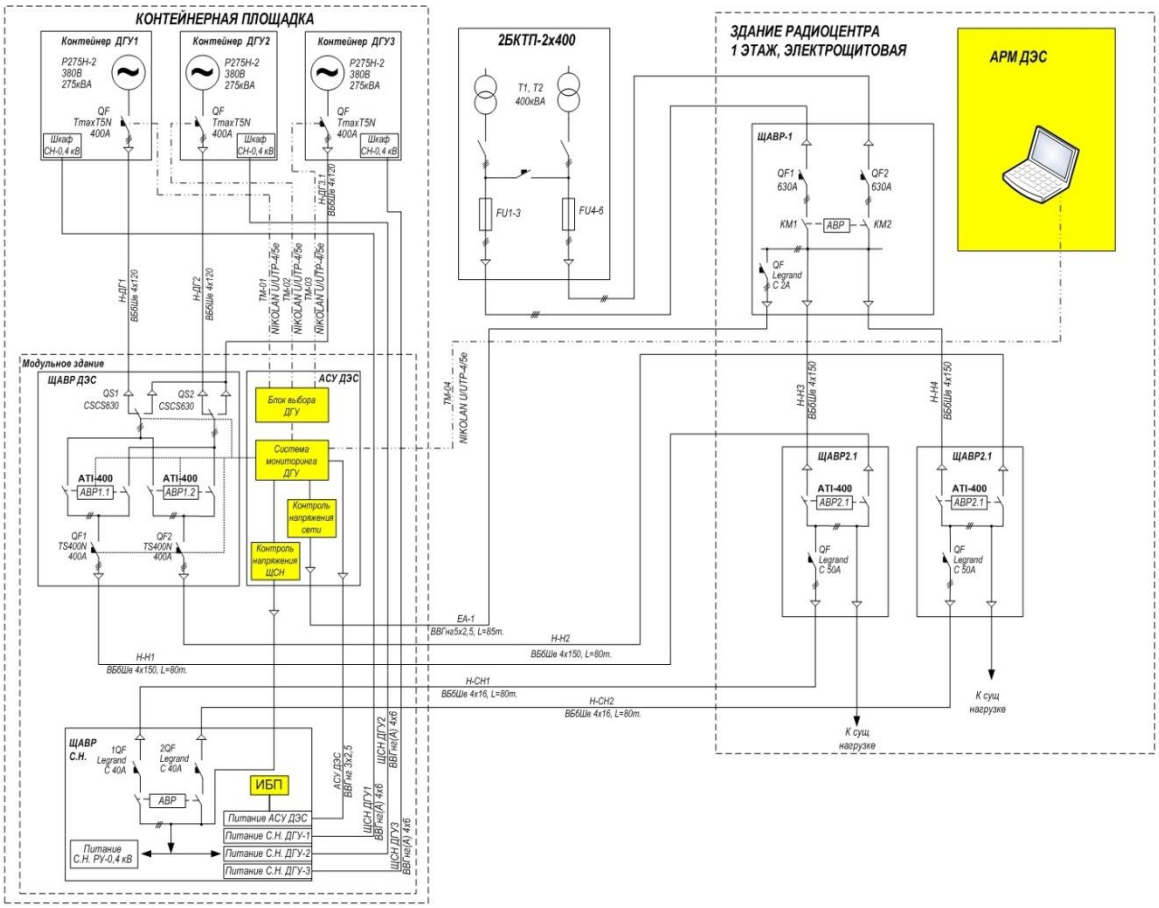


Рис. 2. Предлагаемая схема автоматизации гарантированного электроснабжения и автоматического выбора резерва

Выходные дискретные сигналы обеспечивают пуск ДЭС, аварийный стоп, а также телеизмерения по RS485 в протоколе Modbus следующих параметров:

• мощности активная и реактивная;
• давление масла;
• температура двигателя;
• уровень заряда аккумуляторной батареи (АБ);
• фазные напряжение и нагрузка;
• уровень топлива от датчиков основного (ОТБ) и дополнительного топливного баков (ДТБ).

Так как объект относится к группе потребителей повышенной ответственности и требует постоянного бесперебойного снабжения электроэнергией [4], необходимо подобрать оборудование качественных и надежных производителей. А в случае срочного гарантийного ремонта время поставки запасных компонентов системы должно быть минимально возможным. Программируемый логический контроллер (ПЛК) должен иметь:

- возможность работы с промышленным протоколом Modbus;
- режим работы магистрали в качестве Master или Slave;
- гибкую настройку и создание собственной карты Modbus;
- в своем составе порты RS485;
- энергонезависимые часы реального времени;
- входы и выходы дискретных сигналов.

Следуя инструкциям руководства пользователя, создаем операторский интерфейс для нашей системы. Настройка производится в графическом меню конфигуратора, к каждому свойству графического элемента доступно описание в встроенной справочной системе. Конфигуратор имеет встроенную систему эмуляции. Эмулятор позволяет проверить работу программы с внешними связями по интерфейсам (Modbus RTU/ASCII/TCP). Особенностью является возможность сохранения эмуляции проекта и открытия на другом компьютере без установленной среды. Определимся с основными компонентами автоматики для трех ДЭС [5], каждая из которых состоит из силовой установки (дизель), электрогенератор, датчиков уровня топлива ОТБ и ДТБ и может находиться в одном из трех состояний:

- «ведущий»;
- «ведомый»;
- «резерв».

Каждая электростанция формирует 4 сигнала:

- авария;
- аварийный стоп;
- неисправность;
- работа.

На главном экране панели оператора, кроме ДЭС, отображаем однолинейную схему щита автоматического выбора резерва для визуального контроля правильности заданного режима. Вся информация на главном экране не может быть предоставлена в полном объеме, поэтому разместим основные компоненты автоматики в главном окне, а для подробного просмотра каждой ДЭС предусмотрим вспомогательные окна. Для навигации между окнами на главном экране поместим кнопки перехода. Журналы

также разместим на дополнительных окнах, а на главном экране поместим кнопки перехода к ним. Для анализа состояния статуса всей автоматики и энергоснабжения здания радиоцентра на главном экране должна быть сигнализация состояния Сети. Для разработки логики управления и привязки к панели оператора воспользуемся программой SMLogix.

Для задания режима работы электростанции «ведущий», «ведомый», «резерв») установим ключ на 6 позиций. Создадим макрос «Выбор режима», где привяжем входные сигналы ключа к ПЛК и создадим логику выбора режима. На выходе макроса сформируем сигналы. Для передачи телеинформации от логического контроллера к панели оператора необходимо создать карту Modbus в ПЛК и привязать необходимые сигналы к ней. Связь панели оператора с логическим контроллером будет осуществляться через COM-2 RS485 на скорости 9600 кб\с. Для передачи телеинформации от ДЭС к ПЛК создадим карту Modbus в ПЛК и привяжем необходимые сигналы к ней.

После конфигурирования ПЛК и привязки к оборудованию логика работы АВР ДЭС выглядит следующим образом. При поступлении дискретного сигнала отсутствия электроснабжения радиоцентра произойдет запуск ведущего дизеля [5]. Если на момент пуска ведущего дизеля у него есть активные сигналы аварии или неисправности, то запуск ведущего осуществлен не будет, а будет осуществлен сразу запуск ведомого. Все возможные варианты развития событий отображаются на экране панели оператора и выводятся в виде окон с сообщениями. При восстановлении нормального электроснабжения после автоматического снятия нагрузки ДЭС выходит на холостой ход (охлаждение) в течение 2 минут, только после этого происходит её остановка. При выборе режимов работы ДЭС оперативным персоналом может возникнуть ситуация, когда первичная схема на щите автоматического выбора резерва не будет соответствовать выбранному режиму. При возникновении данной ситуации на панель оператора будут выведены соответствующие предупреждения.

Разработанная схема автоматической системы управления запуском ДЭС значительно повышает надежность электроснабжения при аварии, или снабжении электроэнергией штатно из городской сети. Возможность удаленного мониторинга основных технических и эксплуатационных параметров оборудования ДЭС даёт возможность обнаружить и устранить неисправность на ранних стадиях. Автоматический анализ системы позволяет избежать ошибочных действий оперативного персонала при переключениях и смене режимов.

Источники

1. Тютиков В.В., Воронин А.И. Методика синтеза регуляторов для независимого формирования статических и динамических показателей нелинейных объектов // Известия ЮФУ. Технические науки. 2015. № 3(164). С. 154–164.

2. Мещеряков В.Н., Байков Д.В. Математический анализ и моделирование преобразователя частоты матричного типа с непосредственным управлением по методу пространственно-векторной модуляции // Вестник Южно-Уральского государственного университета. 2015. Т.15. № 1. С. 21–33.

3. Федоров О.В., Сарваров А.С., Шевырев Ю.В. Ресурсное обеспечение новых технологических укладов в промышленности. М.: Кнорус, 2016. 142 с.

4. Хватов О.С., Дарьенков А.Б. Электростанция на базе дизель-генератора переменной частоты вращения // Электротехника. 2014. № 3. С. 28–32.

5. Савенко А.Е., Голубев А.Н. Обменные колебания мощности в судовых электротехнических комплексах. Иваново: Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина, 2016. 172 с.

УДК 621.313

ВЫБОР ТИПА И СХЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ГЕНЕРАТОРА ДЛЯ НАДЕЖНОЙ РАБОТЫ ВЕТРОЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

Александр Евгеньевич Савенко[1], Энвер Шевхийевич Османов[2]

ФГБОУ ВО «КГМТУ», г. Керчь

[1]savenko-70@mail.ru, [2]enver_1984@mail.ru

С развитием ветроэнергетики и существенным ростом ее мощности были разработаны различные концепции ветроустановок. Система преобразования ветровой энергии должна быть более конкурентоспособной, поэтому сравнение различных генераторов, применимых для ветроустановок, необходимо. Выбор типа генератора и схемы регулирования является главным вопросом комплектации ветроустановок. В настоящий момент, независимо от мощности и типа крыльчатки, почти всегда в них устанавливают асинхронные генераторы. Расширение диапазона мощностей ветроэнергетических установок требует определения вида генератора с учетом этих параметров. В статье представлена схема включения статорных и роторных обмоток трехфазного асинхронного генератора с фазным ротором и полупроводниковым преобразователем в цепи роторной обмотки.

Ключевые слова: асинхронный генератор, ветроэнергетические установки, трансформатор, электростанция, возобновляемые источники энергии.

SELECTION OF THE TYPE AND DIAGRAM OF THE REGULATION OF ELECTRIC GENERATOR FOR RELIABLE WORK OF WIND ELECTRIC INSTALLATIONS

Alexander Evgenievich Savenko, Enver Shevhiyevich Osmanov

With the development of wind power and a significant increase in its capacity, various concepts of wind turbines have been developed. The wind energy conversion system must be more competitive, therefore a comparison of different generators applicable for wind turbines is necessary. The choice of the type of generator and the regulation scheme is the main issue for wind turbines. At the moment, regardless of the power and type of impeller, they almost always install asynchronous generators in them. Expansion of the power range of wind power plants requires determining the type of generator taking into account these parameters. The article presents the connection circuit of the stator and rotor windings of a three-phase asynchronous generator with a phase rotor and a semiconductor converter in the rotor winding circuit.

Key words: asynchronous generator, wind power plants, transformer, power plant, renewable energy sources.

Использование энергии ветра – одно из перспективных направлений современной энергетики. Последние годы наблюдается массовое увеличение размеров и количества ветропарков во всех развитых странах мира. Ветроэлектроустановки (ВЭУ) становятся выше, а их лопасти длиннее и легче, что позволяет им работать даже при небольшой силе ветра. Сооружения устанавливаются повсеместно: в лесах, полях, на побережьях, в прибрежных водах морей и океанов (оффшорные парки). Даже в густонаселенных мегаполисах архитекторы внедряют ветрогенераторы в конструкции небоскребов, переведя их на частичное самообеспечение.

Промышленное развитие в мире определяется развитием производства электроэнергии. Согласно современным прогнозам в период с 2007 по 2035 гг. объем производства электроэнергии в мире будет расти в среднем на 2,3 % в год. Причем производство электроэнергии растет быстрее, чем других видов энергоносителей – жидкого топлива, природного газа и угля [1].

В настоящее время крупнейшие ветропарки России расположены в Крыму (общей мощностью около 60 МВт), в Калининградской области (5 МВт), на Чукотке и в Башкортостане (по 2,2 МВт). В различной степени готовности находятся проекты ветроэлектростанций мощностью от 30 до 70 МВт в Ленинградской, Калининградской областях, в Краснодарском крае, в Карелии, на Алтае и Камчатке.

ВЭУ представляет комплекс взаимосвязанного оборудования и сооружений, предназначенный для преобразования энергии ветра в электрическую с помощью системы генерирования электроэнергии для подключения к потребителю со стандартными параметрами электроэнергии [2].

Сегодня никто не сомневается, что ветроэнергетика – один из наиболее перспективных видов получения «чистой», «зеленой» энергии. Помимо сокращения выбросов углекислого газа, который является обязательным атрибутом «традиционных» ТЭС и ТЭЦ, использование ВЭУ позволяет добиться значительного снижения электроэнергии для потребителя, а период окупаемости оборудования составляет 7–8 лет [1].

ООО «Ветряной парк Керченский» – крупнейшая и пока единственная частная компания в России, специализирующаяся на ветровой энергетике. В ее активе – действующая «Останинская» ветровая электростанция (ВЭС) с установленной мощностью 25 мегаватт (рис. 1). В планах строительство еще четырех станций суммарной мощностью 420 мегаватт. ВЭС «Степная» установленной мощностью 282,5 мегаватта в Первомайском районе должна стать самой крупной в Крыму и России. Кроме нее предполагается строительство «Восточной» ВЭС мощностью 100 МВт в Ленинском районе, «Присивашской» ВЭС мощностью 25 МВт в Советском районе и «Зольненской» ВЭС мощностью 12,5 МВт в Сакском районе. Подготовка к их возведению уже началась.



Рис. 1. Ветроэлектростанция «Останинская»

Внутренняя электрическая сеть ВЭС состоит из десятков и сотен ВЭУ, мощность которых за последние годы возросла с 0,5 до 10, МВт и выше. Высота башни ВЭУ находится в пределах от 20 м до 150 м, диаметр ротора ветроколеса (ВТ) достигает 150 м. ВЭУ размещаются на площадке ВЭС на расстоянии 500–1000 м друг от друга для исключения взаимного затенения скорости ветра [3].

Широкое применение находят ВЭУ, в которых используются традиционное быстроходное ветроколесо с автоматическим регулированием скорости вращения и асинхронный генератор. Традиционный центробежный механизм автоматического регулирования скорости ветроколеса является уязвимым звеном ВЭУ и снижает ее надежность. Что касается асинхронного генератора, то одним из его недостатков является зависимость процесса самовозбуждения от потока остаточного магнетизма, значение которого имеет случайный характер. По изложенным причинам остается актуальной проблема разработки ветроэлектрических установок, отличающихся при прочих равных условиях простотой и высокой надежностью.

Для ВЭУ в качестве генератора принят трехфазный асинхронный генератор (АСГ), в цепи роторной обмотки которого включен полупроводниковый преобразователь (ПП), содержащий управляемый выпрямитель (УВ), дроссель (ДР), инвертор и согласующий трансформатор (ТР) (рис. 2).

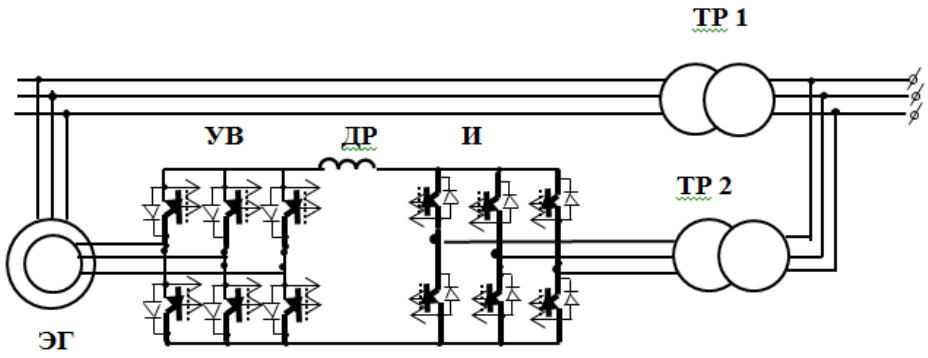


Рис. 2. Схема включения статорных и роторных обмоток трехфазного асинхронного генератора с фазным ротором и полупроводниковым преобразователем в цепи роторной обмотки: ЭГ – генератор; УВ – управляемый выпрямитель; ДР – дроссель фильтра; И – инвертор; ТР1 – трансформатор в цепи статорной обмотки; ТР2 – трансформатор в цепи роторной обмотки

На рис. 3 представлена вторая электрическая схема цепей генерации ВЭУ с АСГ, в которую входят два трансформатора – согласующий ТР1 на выходе ПП и общий ТР2, в котором объединяется мощность генерации АСГ.

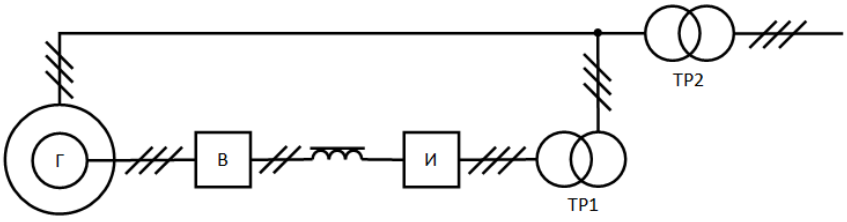


Рис. 3. Электрическая схема цепей генерации ВЭУ с общим выходным трансформатором

В качестве АСГ выбран трехфазный АСГ мощностью 2,0 МВт, параметры которого, необходимые для выполнения расчета, известны.

К ним относятся: частота тока сети f; частота тока статорной обмотки (СО) f_1; номинальное фазное напряжение сети $U_Ф$; синхронная частота вращения генератора Ω_0; номинальное напряжение одной фазы СО $U_{1Ф}$; номинальное напряжение одной фазы роторной обмотки (РО) $U_{2Ф0}$ при неподвижном роторе (S=1); номинальная величина скольжения ($-s_{ном}$) при короткозамкнутой РО; допустимая величина частоты вращения генератора ω_{max};

В АСГ (рис. 2) мощность генератора расщепляется на два потока – электромагнитная мощность $P_{СТ}$, снимаемая в сеть с зажимов статорной обмотки, и мощность скольжения P_S, передаваемая в сеть с обмотки ротора через ПП. Величина мощности $P_{СТ}$ не зависит от частоты вращения вала АСГ – $\omega_{ЭГ}$. Величина мощности P_S зависит от $\omega_{ЭГ}$, что позволяет регулировать за счет управления ПП величину скольжения S и, следовательно, частоту вращения $\omega_{ЭГ}$ в широком диапазоне.

Обычно диапазон регулирования S составляет от 0 (холостой ход при включении АСГ) до ($-s_{max}$), а рабочая частота вращения АСГ при этом изменяется от ω_0 до ω_{max}. Такое значительное расширение диапазона рабочей частоты вращения АСГ значительно облегчает задачу регулирования частоты вращения ВТ при изменении скорости ветра, поскольку в диапазоне частоты вращения ВТ, соответствующем значениям от ω_0 до ω_{max} ВТ работает без регулирования угла β поворота лопастей ВТ. Стабилизация $\omega_{ВТ}$ и регулирование угла β требуется на меньшем участке характеристики ограничения номинального момента ВТ, в диапазоне скоростей ветра от $V_{НОМ}$ до V_{max}, что значительно повышает надежность эксплуатации ВЭУ [7].

В процессе передачи мощности P_S в ПП (рис. 2) происходит двойное преобразования мощности переменного тока I_{2S} РО с частотой $f_2 = sf_1$ в постоянный ток $I_В$ и затем в переменный ток $I_{ТР1}$ первичной обмотки согласующего ТР с частотой сети f_1 = 50 Гц.

Для получения выходного фазного напряжения $U_{2ТРФ}$ вторичной обмотки согласующего ТР равного фазному напряжению сети $U_Ф$, производится выбор соответствующей величины коэффициента трансформации $K_{ТР}$.

Определяем величину максимального скольжения ($-s_{max}$) при передаче мощности P_S с РО.

$$s_{MAX} = \frac{\omega_{MAX} - \omega_0}{\omega_0}; \quad (1)$$

Определяем максимальную частоту тока РО f_{2S} при передаче мощности P_S с РО.

$$f_{2sX} = f_1 s_{MAX}. \quad (2)$$

Принимаем диапазон регулирования скольжения s (0,1 – 0,3) при передаче мощности P_S с РО и определяем значения частоты f_{2Si} в цепи РО при s = 0,1; 0,2; 0,3:

$$f_{2s1} = 0{,}1 f_1; \quad f_{2s2} = 0{,}2 f_1; \quad f_{2s3} = 0{,}3 f_{1s}. \quad (3)$$

Определяем величины напряжения в одной фазе РО $U_{2\Phi Si}$ при значениях f_{2Si}.

$$U_{2\Phi s_i} = U_{2\Phi_0} f_{2s_i}. \quad (4)$$

Выбираем алгоритм регулирования элементов ПП – управляемого выпрямителя (УВ) и инвертора инвертора. Параметры как УВ, так и инвертора можно регулировать в широком диапазоне при изменении угла управления α для УВ и угла управления β для инвертора [8, 9].

Основной частью ПП является трехфазный мостовой преобразователь (ТМП) (рис. 2, 3, 4) с выходным согласующим ТР.

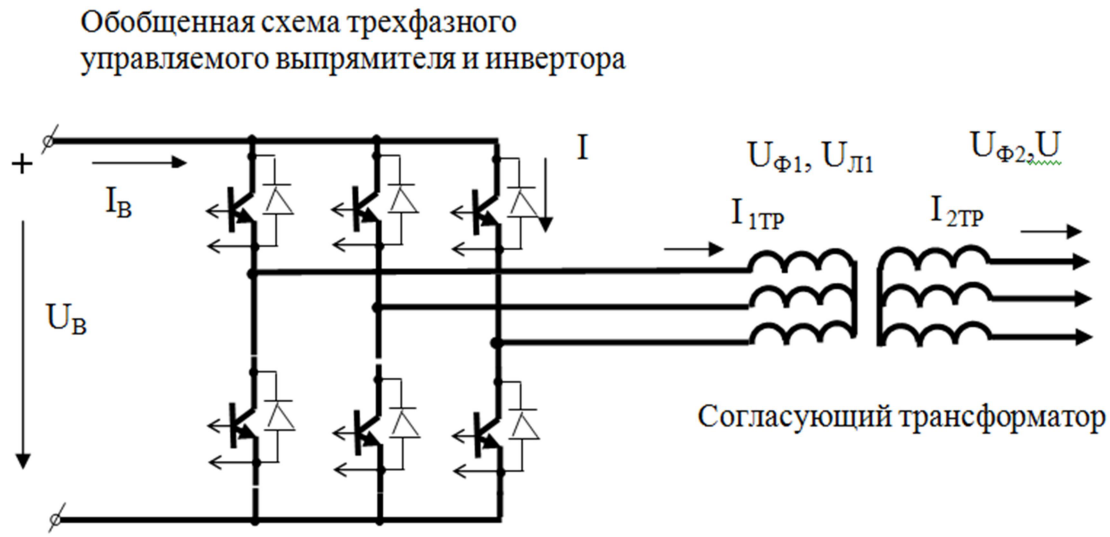


Рис. 4. Электрическая схема одного трехфазного мостового преобразователя с выходным согласующим трансформатором

Для УВ угол управления α отсчитывается вправо от точки естественной коммутации, для инвертора угол управления β отсчитывается влево от точки естественной коммутации – рис. 5.

В составе ТМП применяются полностью управляемые полупроводниковые элементы – *IGBT*-модули. Для ТМП соотношение между средним значением входного напряжения постоянного тока $U_{\text{В}}$ и действующим значением входного фазного напряжения $U_{2\Phi Si}$ РО в режиме работы УВ равно [8, 9]:

$$U_{\text{В}} = 2{,}34\,U_{2\Phi Si}\text{Cos}\alpha - \Delta U_{\gamma}(I_{\text{В}}) - \Delta U_{IGBT}. \qquad (5)$$

Соотношение между средним значением входного напряжения постоянного тока $U_{\text{В}}$ и действующим значением выходного фазного напряжения инвертора – $U_{1\text{ТР}\Phi}$ равно:

$$U_{\text{В}} = 2{,}34U_{1\text{ТР}\Phi} \cdot \text{Cos}\beta + \Delta U_{\gamma}(I_{\text{И}}) + \Delta U_{IGBT}. \qquad (6)$$

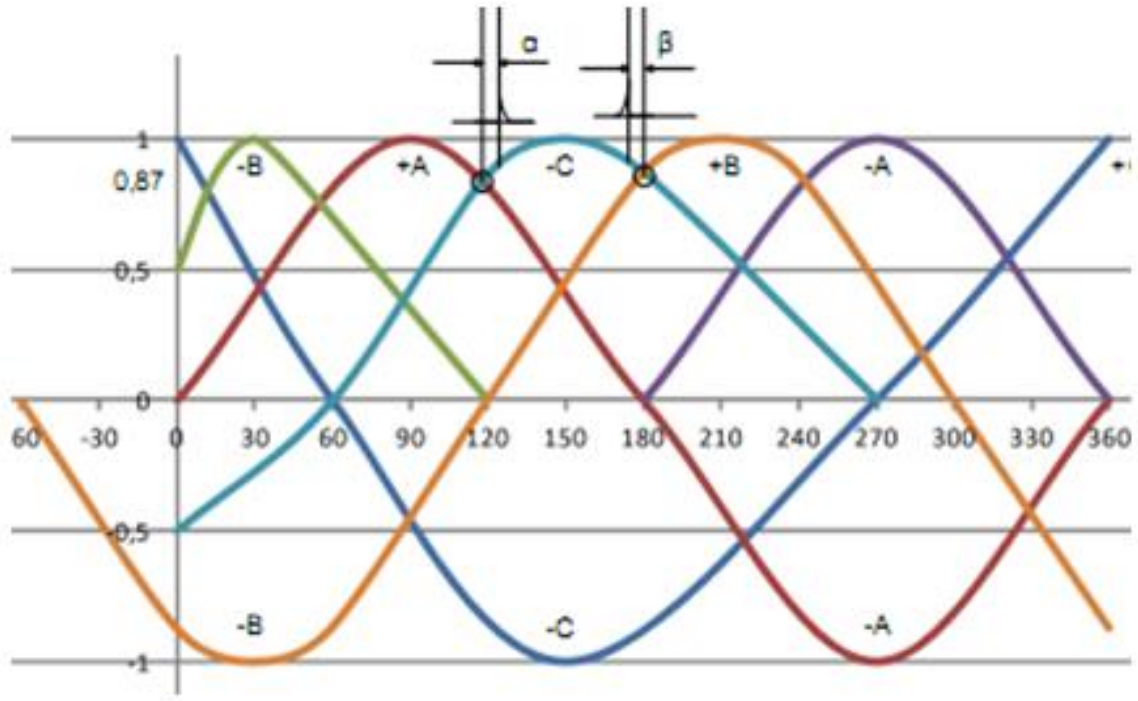


Рис. 5. Схема отсчета углов управления α и β трехфазного управляемого преобразователя: α – угол включения IGBT-модулей УВ; β – угол включения IGBT-модулей инвертора; γ – угол коммутации IGBT-модулей; $I_{\text{В}}$ – среднее значение постоянного тока; ΔU_{IGBT} – падение напряжения на IGBT-модулях за счет процесса коммутации тока $I_{\text{В}}$

При коммутации тока значения угла γ сравнительно невелики из-за малой индуктивности цепи коммутации, поэтому для предварительных расчетов можно принимать величины $\Delta U_{\gamma}(I_B) = 0$, $\Delta U_{\gamma}(I_И) = 0$.

Величина ΔU_{IGBT} для схемы ТМП составляет при номинальном токе 3...4 В, поэтому величиной ΔU_{IGBT} при средней реализуемой мощности ТМП можно пренебречь, приняв $\Delta U_{IGBT} = 0$.

Для учета потерь напряжения при работе УВ и инвертора при последовательном преобразовании рода тока принята общая потеря напряжения равной 10 %.

Учитывая изменение в достаточно широком диапазоне величины напряжения в одной фазе РО $U_{2\Phi Si}$, принимаем в данном случае алгоритм регулирования угла α УВ с целью поддержания неизменной величины выпрямленного напряжения $U_{\text{В}}$ на выходе УВ при различных значениях f_{2Si}.

В этом случае при постоянной величине напряжения $U_{\text{В}}$ величина угла β регулирования режима работы инвертора меняется незначительно, что предпочтительно с точки зрения высших гармоник в составе выходного напряжения инвертора.

Увеличение угла α регулирования режима работы выпрямителя ведет к росту пульсаций напряжения $U_{\text{В}}$, для снижения которых применяется дроссель (рис. 1).

Определяем величину $U_{\text{В}}$ при минимальном значении $U_{2\Phi\text{Si}}$ при $f_{2\text{Sнач}}$, принимая в этом случае α = 0 [9]:

$$U_{\text{В}} = 2,34 U_{2\Phi Si}\text{Cos}\alpha - \Delta U_{\text{В}}, \qquad (7)$$

где $\Delta U_{\text{В}}$ – суммарная потеря напряжения УВ.

Определяем значения углов α_i при изменении скольжения s_i согласно (3) и величины напряжения в одной фазе РО $U_{2\Phi Si}$ согласно (4), принимая $U_{\text{В}}$ по (7) неизменным:

$$\text{Cos}\alpha_i = \frac{U_{\text{В}} + \Delta U_{\text{В}}}{2,34 U_{2\Phi Si}}. \qquad (8)$$

Определяем напряжение на первичной обмотке $U_{1\text{ТР}\Phi}$ согласующего ТР (рис. 2, 3), которое является выходным напряжением инвертора (без учета падения напряжения в инверторе) [9]:

$$U_{1\text{ТР}\Phi} = \frac{U_{\text{В}}}{2,34\text{Cos}\beta}, \qquad (9)$$

где β – угол управления инвертором.

Инвертор работает на частоте тока сети f = 50 Гц.

Принимаем вторичное (выходное) напряжение одной фазы согласующего ТР $U_{2\text{ТРФ}}$ равным номинальному напряжению одной фазы (СО) $U_{1\Phi}$ (рис. 2, 3) и определяем коэффициент трансформации $K_{\text{ТР}}$ согласующего ТР:

$$K_{\text{ТР}} = \frac{U_{2\text{ТРФ}}}{U_{1\text{ТРФ}}}. \tag{10}$$

Определяем параметры элементов, входящих в состав УВ и инвертора по соотношения приведенным в [10, 11].

По величине мощности P_{S} и значению $U_{\text{В}}$ определяются параметры тока на входе в инвертора: $I_{\text{В}}$, среднее значение тока *IGBT*-модулей – I_{IGBT}, максимальное обратное напряжение для *IGBT*- модулей – $U_{\text{ОБР }IGBT}$:

$$I_{\text{В}} = \frac{P_S}{U_{\text{В}}}; \tag{11}$$

$$I_{IGBT} = \frac{I_{\text{В}}}{m}; \tag{12}$$

$$U_{\text{ОБР }IGBT} = 1{,}045 \cdot U_{\text{В}}; \tag{13}$$

$$I_{\Phi} = 0{,}817\, I_{\text{В}}, \tag{14}$$

где P_{S} – мощность снимаемая по цепи РО.

Определяем полную мощность $S_{\text{ТР1}}$ для расчета согласующего ТР.

$$S_{\text{ТР1}} = \frac{P_S\ \eta_{\text{ТМП}}}{1{,}2\cos\varphi_1}, \tag{15}$$

где $\eta_{\text{ТМП}}$ – суммарный КПД ТМП; $\cos\varphi_1$ – коэффициент мощности входной цепи трансформатора; 1,2 – коэффициент, учитывающий снижение фактически реализуемой величины мощности P_S при работе ВЭУ.

Определяем действующее значение тока $I_{\text{ТР1}}$, $I_{\text{ТР2}}$, в обмотках согласующего ТР:

$$I_{\text{ТР1}} = \frac{S_{\text{ТР1}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{Л1}}}; \tag{16}$$

$$I_{\text{ТР2}} = \frac{S_{\text{ТР1}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{Л2}}}. \tag{17}$$

Методика расчёта и расчётные соотношения составлены с учётом выбранной электрической схемы.

Данная схема применима для АЭГ с фазным ротором мощностью 2 МВА и напряжением на статорной обмотке 0,69 кВ.

В расчётных соотношениях учитывается диапазон регулирования скольжения с помощью ПП преобразователя и особенности изоляции между ТР с масляным и сухим охлаждением.

Источники

1. Современная ветроэнергетика: кто есть кто. Опыт интеграции ветропарков значительной мощности в энергосистему // ГК «Юрэнерго»: сайт. URL: http://urenergo.ru/group/publications/2017/1397/ (дата обращения: 12.08.18).

2. ГОСТ Р 51237-98. Нетрадиционная энергетика – ветроэнергетика. М.: Изд. стандартов, 1999. 14 с.

3. Безруких П.П. Ветроэнергетика: справ. метод. пособие. М., 2010. 320 с.

4. Кривцов В.С., Олейников А.М., Яковлев А.И. Неисчерпаемая энергия: учебник. Кн. 1. Ветрогенераторы. Харьков: Нац. Аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», Севастопоь: Севаст. нац. нехн. ун-т, 2003. 400 с.

5. Вольдек А.И. Электрические машины: учебник для студентов высш. техн. учеб. заведений. 3-е изд., перераб. Л.: Энергия, 1978. 832 с.

6. Вольдек А.И., Попов В.В. Электрические машины переменного тока: учебник для вуза. СПб.: Питер, 2010. 350 с.

7. Бекиров Э.А., Даниленко А.И. Оценка показателей надежности эксплуатации ветроэлектрического оборудования промышленной ветровой электростанции // Возобновляемая энергетика: пути повышения энергетической и экономической эффективности: матер. III Междунар. форума. 2015. С. 69–80.

8. Тихомиров П.М. Расчёт трансформаторов. М.: Энергоатомиздат, 1986. 528 с.

9. Толстов Ю.Г. Автономные инверторы тока. М.: Энергия, 1978. 208 с.

10. Гельман М.В., Дудкин М.М. Преобразовательная техника: учеб. пособие. Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2009. 425 с.

УДК 621.311

ПОДХОД К ОПТИМИЗАЦИИ ПОТЕРЬ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ НИЗКОГО НАПРЯЖЕНИЯ ПРИ ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ НЕПРИВЯЗАННОСТИ ПРИЕМНИКОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Александр Евгеньевич Сидоров[1], Михаил Сергеевич Литвиненко[2], Елена Владимировна Трутнева[3]

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

[1]asidorini@rambler.ru, [2]26121963@ukr.net, [3]e_trutneva11@bk.ru

В работе рассматриваются методы проектирования и формирование оптимальных схем электроснабжения с целью установления общих закономерностей решения проблемы географической непривязанности электроприемников в распределительных сетях низкого напряжения.

Исходными данными в рассматриваемой задаче являются координаты и энергетические параметры потребителей электроэнергии, а также координаты мест, допустимых по генеральному плану для размещения источников питания, и принятая номенклатура самих источников.

Ключевые слова: схемы электроснабжения, радиальная схема, магистральная схема, оптимизация потерь в сетях, моделирование, методы проектирования.

APPROACH TO OPTIMIZATION OF LOSSES IN THE DISTRIBUTIVE NETWORKS OF LOW VOLTAGE UNDER GEOGRAPHIC NON-ASSOCIATION OF ELECTRIC ENERGY RECEIVERS

Alexander Evgenievich Sidorov, Mikhail Sergeevich Litvinenko, Elena Vladimirovna Trutneva

The paper discusses the design methods and the formation of optimal power supply schemes in order to establish common patterns of solving the problem of geographical non-attachment of power consumers in low voltage distribution networks.

The initial data in the task in question are the coordinates and energy parameters of the electricity consumers, as well as the coordinates of the locations allowed by the master plan for locating the power sources and the accepted nomenclature of the sources themselves.

Key words: power supply circuits, radial circuit, trunk circuit, optimization of losses in networks, modeling, design methods.

При традиционных методах проектирования принятие проектного решения осуществляется на основе технико-экономического сравнения вариантов, степень приближения которых к оптимальному определяется квалификацией и опытом специалистов, предложивших варианты. Достаточная трудоемкость процесса обуславливает необходимость поиска

и разработки методов, позволяющих находить с использованием автоматизированных систем такие проектные решения, которые не могли бы быть улучшены специалистами самой высокой квалификации.

Поэтому постановка задачи создания автоматической системы проектирования, роль специалистов в которой сводится лишь к подготовке исходных данных, очевидно, преждевременна. Однако возможно и необходимо создание системы автоматизированного проектирования, позволяющей получать проектные решения при условии, что специалистами предварительно осуществляется анализ исходных данных с точки зрения количественно не оцениваемых критериев, и на основе этого анализа производится селективный ввод данных в систему с целью исключения возможности получения нежелательных результатов. Так, например, при формировании схемы электроснабжения на напряжении 10 кВ необходимо предварительно определить тип шкафов комплектных распределительных устройств, что равносильно исключению для данного проекта из каталога электрооборудования шкафов всех других типов.

Использование автоматизированной системы для оптимизации проектных решений возможно только при условии, что осуществлена формализация проектной задачи и имеется ее математическое описание, отражающее наиболее существенные взаимосвязи параметров проектируемой системы между собой. В общем случае для каждого конкретного объекта можно разработать несколько математических моделей, отличающихся степенью адекватности реальной системе, и в этой связи необходимо решение вопроса об условиях корректности создания математической модели системы электроснабжения изолированно от общей задачи оптимального проектирования генерального плана города, промышленного узла или предприятия с учетом оптимизации других инженерных сетей, транспортных коммуникаций и требований архитектурной эстетики. Необходимо отметить, что даже при принципиальной возможности создания математической модели такой комплексной задачи это неизбежно значительно увеличит ее размерность и приведет к модели большой системы, оптимизация которой в целом без декомпозиции на подсистемы современными вычислительными средствами неосуществима.

Теоретические основы формирования оптимальных схем электроснабжения рассматриваются на достаточно длительном промежутке времени, причем цель исследований состояла в установлении общих закономерностей решения проблемы. Последнее обуславливало ряд допущений, основными из которых являлись замена дискретных величин гладкими непрерывными функциями и детерминированность мощности

источников питания. Сформулированный на основании методов теории подобия важный теоретический вывод о наличии области устойчивости решения задачи формирования систем электроснабжения по существу является основой для использования итерационного процесса уточнения решений локальных подзадач при декомпозиции общей задачи формирования схемы электроснабжения. Областью применения других выводов и рекомендаций являются те стадии проектирования, когда объем располагаемой исходной информации минимален (предпроектные проработки, связанные с планированием оптимальных параметров систем, технические проекты).

В дальнейшем на стадии рабочего проектирования появляется возможность создания математических моделей, обладающих большей степенью адекватности существу проблемы формирования систем электроснабжения.

Условиями допустимости локальной оптимизации схемы электроснабжения, повышающими «уровень внешнего правдоподобия модели», является удовлетворение этих требований, что обуславливает необходимость размещения источников питания и трассировки электрических сетей только в местах, допустимых по генеральному плану, и рассмотрения множества потребителей электроэнергии, связанных непрерывностью технологии, как единого целого. Наличие целочисленных переменных в целевой функции модели формирования систем электроснабжения при таком подходе наряду со значительной размерностью ее матрицы для практических задач характеризует формулируемую проблему как большую систему и диктует необходимость ее дальнейшей декомпозиции на подсистемы.

При этом целесообразно использование основных положений кибернетического моделирования, согласно которым каждой подсистеме соответствует некоторая функциональная характеристика, причем, если функциональные характеристики подсистем математически идентичны, то в системе автоматизированного проектирования становится возможным иметь единый оптимизирующий программный модуль, решающий в зависимости от характера исходных данных ту или иную проектную задачу. В качестве функциональной характеристики подсистем принимаются параметры (тип, мощность и место размещения) источников питания, а также список потребителей электроэнергии, снабжение которых осуществляется от каждого источника. Формирование схемы электроснабжения от каждого источника первоначально осуществляется в предположении радиальной сети, поскольку, если

целесообразно снабжение некоторой группы потребителей от данного источника по радиальной схеме, то это же тем более справедливо и при использовании магистралей. Последнее является следствием меньших приведенных затрат на магистральные схемы.

Таким образом, характер внутренних взаимосвязей каждой подсистемы в рассматриваемой проблеме (схема распределения электроэнергии в подсистеме) не влияет на функциональную характеристику.

Исходными данными в рассматриваемой задаче являются координаты и энергетические параметры потребителей электроэнергии, а также координаты мест, допустимых по генеральному плану для размещения источников питания, и принятая номенклатура самих источников.

Источники

1. Герасименко А.А., Федин В.Т. Передача и распределение электрической энергии: учеб. пособие. Р.н/Д.: Феникс; Красноярск: Издательские проекты, 2006. 720 с.

2. Поспелов Г.Е., Федин В.Т., Лычев П.В. Электрические системы и сети. Минск, УП «Технопринт», 2004. 710 с.

3. Бартоломей П.И., Панковская Т.Ю. Оптимизация режимов энергосистем. Екатеринбург, УГУ-УПИ, 2008. 163 с.

4. Анализ развития крупных системных аварий / А.Н. Беляев [и др.]. СПб.: СПбГПУ, 2005. 57 с.

5. Идельчик В.И. Электрические системы и сети. М.: Энергоатомиздат, 1989. 592 с.

УДК 62-503.51

РАЗРАБОТКА МАЛОВЕНТИЛЬНОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Сергей Николаевич Сидоров[1], Ярослава Константиновна Старостина[2], Игорь Николаевич Ширманов[3]

ФГБОУ ВО «УлГТУ», г. Ульяновск

[1,2,3]igorbjj73@mail.ru

Статья посвящена разработке маловентильного асинхронного электропривода, работающего в четырех квадрантах, при этом регулирование которого возможно как в двигательном, так и в тормозном режимах при вращении двигателя в обоих направлениях. Разработанная силовая схема выполнена с применением минимального количества полупроводниковых ключей, сохраняя при этом качества напряжений и токов как в цепях питания статорных обмоток двигателя, так и на сетевом входе электропривода.

Ключевые слова: маловентильный преобразователь, широтно-импульсное регулирование, управляющий сигнал, силовой транзистор, обмотки трансформатора, четырехквадрантный электропривод.

DEVELOPMENT OF SMALL VENTILATED ASYNCHRONOUS ELECTRIC DRIVE

Sergey Nikolaevich Sidorov, Yaroslava Konstantinovna Starostina,
Igor Nikolaevich Shirmanov

The article is devoted to the development of a low-ventilating asynchronous electric drive operating in four quadrants, the regulation of which is possible both in the motor and in the braking modes when the engine rotates in both directions. The developed power circuit is made using the minimum number of semiconductor switches, while maintaining the quality of voltages and currents in the power supply circuits of the stator windings of the engine, and at the network input of the electric drive.

Key words: low-voltage converter, pulse-width regulation, control signal, power transistor, transformer windings, four-quadrant electric drive.

Во многих производственных механизмах различных отраслей промышленности и энергообъектов, в том числе топливно-энергетическом комплексе, используются разнообразные типы асинхронных электроприводов. Массовое применение электроприводов стимулирует развитие сравнительно дешевых маловентильных преобразователей для регулирования асинхронных двигателей по принципу высокочастотной, изменяемой широтно-импульсным способом вольтодобавки.

Одно из решений, ведущих к минимизации числа полупроводниковых ключей в схемах регулируемого асинхронного электропривода, состоит в применении так называемых маловентильных трехфазных схем, главным элементом которого служит единственный транзисторный ключ *VT*1, который может быть установлен в общей для всех трех фаз цепи источника питания, импульсного регулятора или нагрузки. Недостаток данного решения состоит в ограниченных функциональных свойствах электропривода, не позволяющих работать данному устройству во всех квадрантах механических характеристик.

Технический результат предлагаемого изобретения – расширение функциональных возможностей за счет придания этому устройству свойств реверсивного четырехквадрантного электропривода, регулирование которого было бы возможным как в двигательном, так и тормозном режимах при вращении двигателя в обоих направлениях.

Для этого достаточно включить второй трехфазный вольтодобавочный трансформатор, первичные обмотки которого, соединенные также по схеме звезды, своими первыми выводами подключены к обратно чередующимся фазам указанного сетевого источника, а вторичные обмотки, включенные согласно-последовательно со статорными обмотками двигателя, присоединить к тем же фазам сетевого источника для создания согласного напряжения вольтодобавки, при этом нулевая точка в цепях соединения первичных обмоток второго вольтодобавочного трансформатора по схеме звезды должна быть образована присоединением их вторых выводов к зажимам переменного тока второго трехфазного диодного моста *VD*2, между зажимами постоянного тока которого в проводящем направлении включить второй силовой транзисторный ключ *VT*2, параллельно которому посредством разделительного диода присоединена аналогичная «RC»-цепь защиты от коммутационных перенапряжений.

С целью возможности регулирования асинхронного двигателя во всех четырех квадрантах механических характеристик $\omega(M)$ при изменении частоты вращения $\omega=0\pm\omega_0$ и электромагнитного момента $M = 0 \pm M_{\max}$ предлагается суммировать результирующее трехфазное напряжение в статорных обмотках двигателя с приложенным в согласном направлении обратно чередующимся напряжением в обмотках второго трехфазного вольтодобавочного трансформатора, причем для работы в первом квад-ранте при $\omega \geq 0$; $M \geq 0$ или четвертом квадранте при $\omega \leq 0$; $M \geq 0$ напряжение в обмотках первого трансформатора следует регулировать, а напряжение в обмотках второго трансформатора сохранять на нулевом уровне в то время, как для работы во втором квадранте при $\omega \geq 0$; $M \leq 0$ или третьем квадранте при $\omega \leq 0$; $M \leq 0$ напряжение в обмотках первого трансформатора сохранять на постоянном уровне, равном напряжению питающей сети, а напряжение в обмотках второго трансформатора регулировать.

На рис. 1 приведена схема маловентильного четырехквадрантного электропривода переменного тока. Схема содержит асинхронный короткозамкнутый двигатель *1*, статорные обмотки которого присоединены к источнику трехфазного сетевого напряжения *2* посредством последовательно встречно включенных вторичных обмоток первого трехфазного вольтодобавочного трансформатора *3* и последовательно согласно включенных вторичных обмоток аналогично выполненному второму вольтодобавочному трансформатору *4*. Первичные обмотки трансформатора *3*

соединены по схеме звезды, для чего их первые выводы присоединены к прямо чередующимся фазам сетевого источника *2*, а вторые выводы объединены в нулевую точку звезды посредством первого коммутирующего устройства *5*. Первичные обмотки трансформатора *4* также соединены по схеме звезды, однако их первые выводы присоединены к обратно чередующимся фазам общего сетевого источника, а вторые выводы объединены в нулевую точку звезды посредством второго коммутирующего устройства *6*. В обоих случаях роль коммутирующих устройств выполняет трехфазный диодный мост, между зажимами постоянного тока которого в проводящем направлении включен силовой транзисторный ключ, зашунтированный «RC»-цепью для защиты от коммутационных перенапряжений. Управление транзисторными ключами осуществляется с помощью устройств широтно-импульсного регулирования ($ШИР_1$, $ШИР_2$) *7*. Полагается, что выработка отпирающих импульсов на выходах последних происходит традиционным способом в результате сравнения управляющих сигналов $x_{уп1}$, $x_{уп2}$ и высокочастотного опорного сигнала $x_{оп}$ пилообразной формы. При этом изменение управляющих сигналов по уровню изменяет длительность включенного состояния транзисторов, приводя тем самым к пропорциональному изменению действующего значения напряжения вольтодобавки во вторичной обмотке трансформатора.

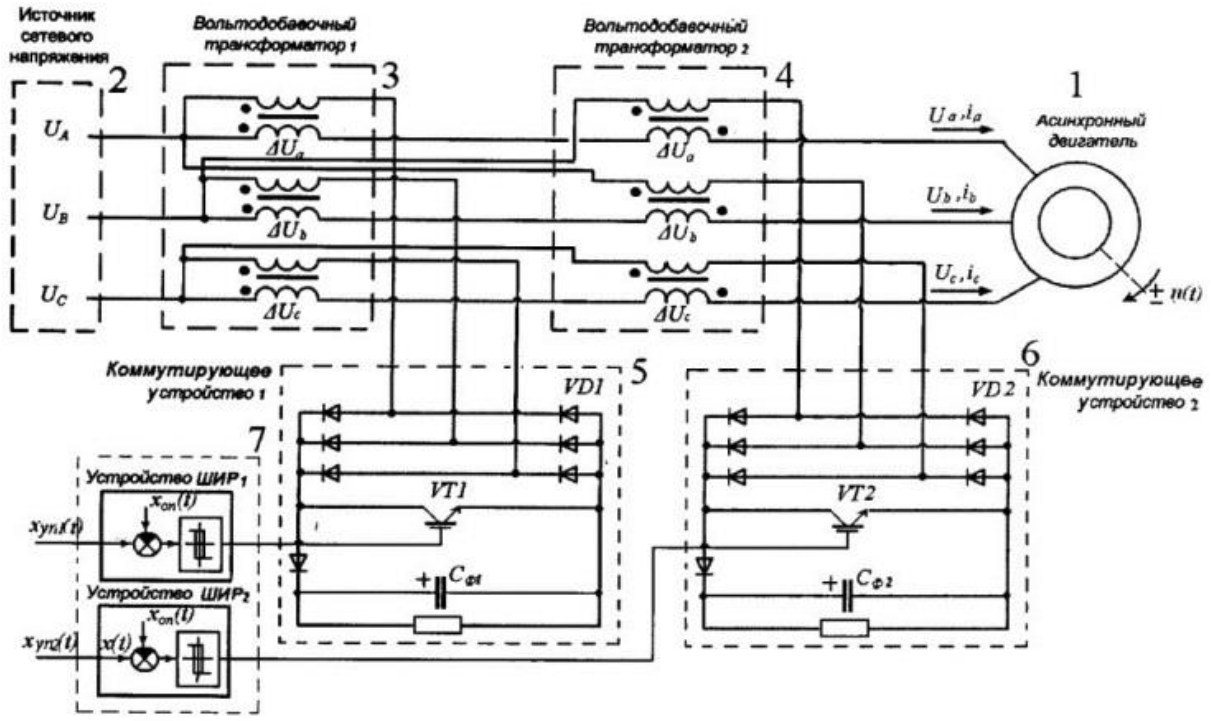


Рис. 1. Схема импульсного регулятора напряжения в цепях четырехквадрантного асинхронного привода

Для иллюстрации функциональных возможностей предлагаемого привода на рис. 2 приведены его механические характеристики во всех четырех квадрантах.

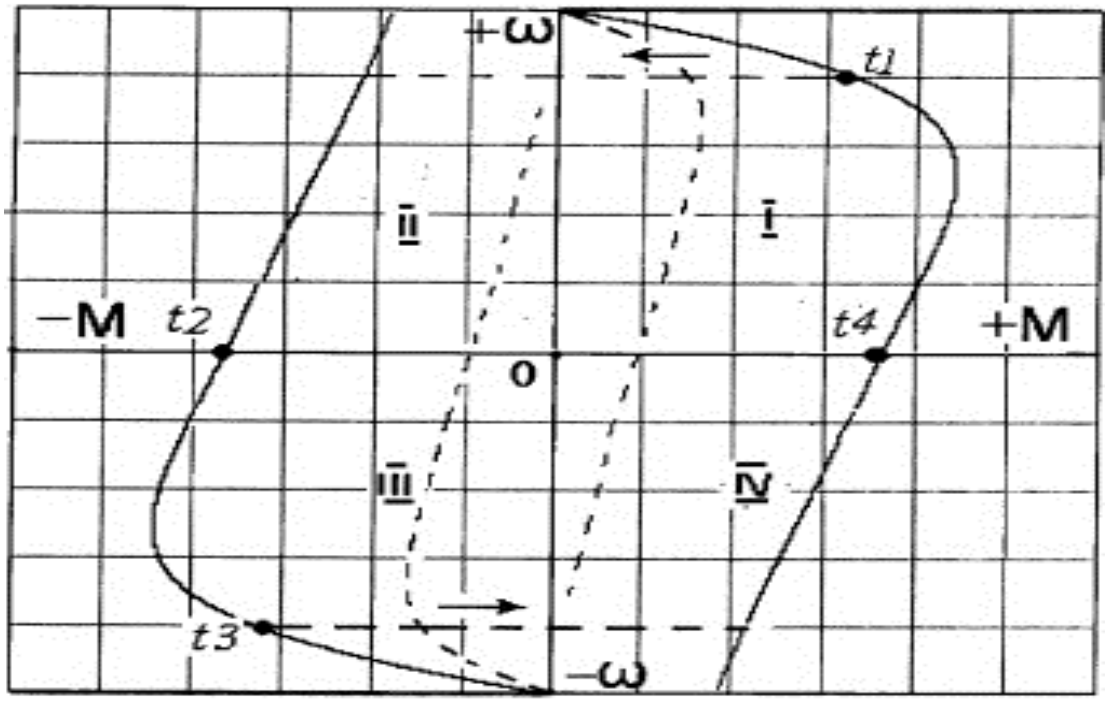


Рис. 2. Механические характеристики разрабатываемого маловентильного асинхронного привода во всех четырех квадрантах

Принцип действия электропривода рассмотрим вначале на примере работы в первом квадранте механических характеристик при $\omega \geq 0$; $M \geq 0$. Согласно предлагаемому способу, напряжение в обмотках второго трансформатора в этом случае должно оставаться нулевым, что достигается установкой управляющего сигнала на входе ШИР$_2$ $x_{уп2}$=0, в то время как напряжение в обмотках первого трансформатора подлежит регулированию, для чего необходимо изменять управляющий сигнал на входе ШИР$_1$ $x_{уп1}$=0-x_{onmax}. Соответствующие изменения встречного напряжения вольтодобавочного трансформатора 3 будут приводить к обратным изменениям результирующего напряжения в статорных обмотках двигателя. При этом установка $x_{уп1} = 0$ способна обеспечить работу двигателя при полном напряжении сети на естественной механической характеристике (точка t_1), а в случае $x_{уп1} \rightarrow x_{onmax}$ на искусственной характеристике при пониженном напряжении, что необходимо, например, для осуществления плавного пуска асинхронного двигателя.

Результаты испытаний данного устройства методом компьютерного моделирования приведены на рис. 3.

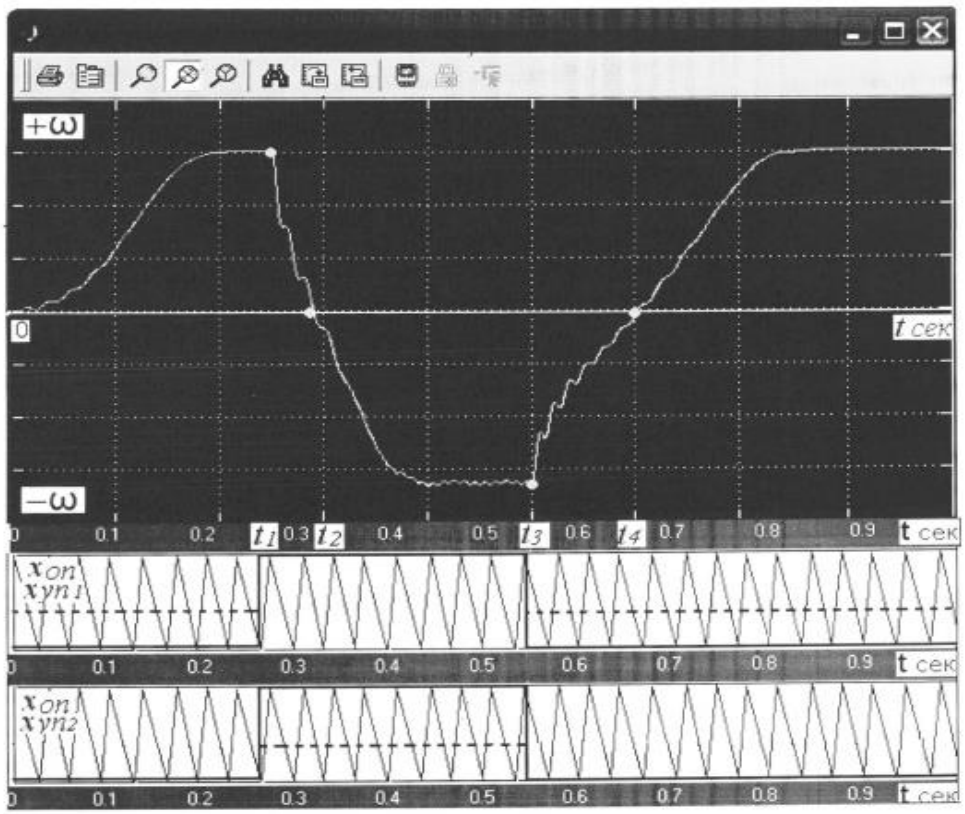


Рис. 3. Результаты компьютерного моделирования асинхронного маловентильного электропривода в режиме межквадрантных переходов

Для перехода двигателя в режим торможения противовключением и последующего реверса необходимо изменить порядок чередования трехфазного напряжения питания. В предлагаемом автоматизированном электроприводе указанные функции выполняются бесконтактным способом, для чего достаточно установить управляющие сигналы $x_{уп1} = x_{onmax}$; $x_{уп2} > 0$. Согласно предлагаемому способу, это приведет к появлению во вторичной обмотке трансформатора *3* максимального встречного напряжения, в результате чего в составе результирующего статорного напряжения сетевая составляющая с прямым чередованием фаз будет скомпенсирована, то есть равна нулю. Зато в соответствии с $x_{уп2} > 0$ в составе этого напряжения появится составляющая с обратным чередованием фаз, что приведет к изменению направления вращения электромагнитного поля двигателя. Вращение электромагнитного поля и вала двигателя в разных направлениях вызовет переход рабочей точки из первого во второй квадрант механических характеристик с координатами $\omega \geq 0$; $M \leq 0$, то есть в режим торможения противовключением. Последующее снижение скорости вала до нуля при сохранении управляющих сигналов $x_{уп1} = x_{onmax}$; $x_{уп2} > 0$ приведет к разгону двигателя в обратном

направлении вплоть до установившегося состояния в точке t_3 при $\omega \leq 0$; $M \leq 0$. Возвращение рабочей точки в первый квадрант потребует установки исходных значений управляющих воздействий на входах блока *7* $x_{уп1}$=0, $x_{уп2}$ = 0. Согласно предлагаемому способу управления это приведет к обнулению напряжений во вторичных обмотках обоих трансформаторов, в связи с чем результирующее напряжение в статорных обмотках двигателя будет равно напряжению сетевого источника. Изменившееся под воздействием этого напряжения направление вращения электромагнитного поля вызовет переход рабочей точки из третьего в четвертый квадрант с координатами $\omega \leq 0$; $M \geq 0$, означающий замену двигательного режима на режим торможения противовключением с последующим разгоном двигателя в прямом направлении.

Представленные на рис. 3 результаты компьютерного моделирования подтверждают работоспособность предлагаемого электропривода. В отличие от известных решений его силовая схема выполнена с применением минимального количества полупроводниковых ключей, что тем не менее не повлекло к заметному ухудшению качества напряжений и токов как в цепях питания статорных обмоток двигателя, так и на сетевом входе электропривода.

Источники

1. Сидоров С.Н., Старостина Я.К. Пуско-регулирующие устройства для асинхронного электропривода на диодно-транзисторных модулях // Известия вузов. Электромеханика. 2015. Вып. 4(540). С. 42–50.

2. Пуско-регулирующее устройство для асинхронного двигателя: пат. 2596218 Рос. Федерация № 2015117744/07; заявл. 12.05.15; опубл. 10.09.16, Бюл. № 25.

УДК 621.316.9

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ЗАЩИТЫ АВТОТРАНСФОРМАТОРА С УЧЕТОМ БЛИЖНЕГО РЕЗЕРВИРОВАНИЯ

Фарит Рамилевич Сиразутдинов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

SirazutdinovFR@yandex.ru

При междуфазных коротких замыканиях на стороне низкого напряжения (НН) автотрансформатора установленная на сторонах высокого и среднего напряжения резервная защита в ряде случаев не обладает достаточной чувствительностью.

Для повышения надежности защиты автотрансформатора появилась необходимость организации защит ближнего резервирования (ЗБР) на стороне НН автотрансформаторов. Реализовать защиту возможно с помощью установки дополнительной защиты (ДЗ) в нейтральные вывода автотрансформатора, совершенствование логики работы защит и применений технологий цифровых подстанций.

Ключевые слова: повышение надежности релейной защиты; резервные защиты автотрансформатора; ближнее резервирование.

IMPROVING THE RELIABILITY OF AUTOMATIC TRANSFORMER PROTECTION TAKING INTO CLOSE RESERVATION

Farit Ramilevich Sirazutdinov

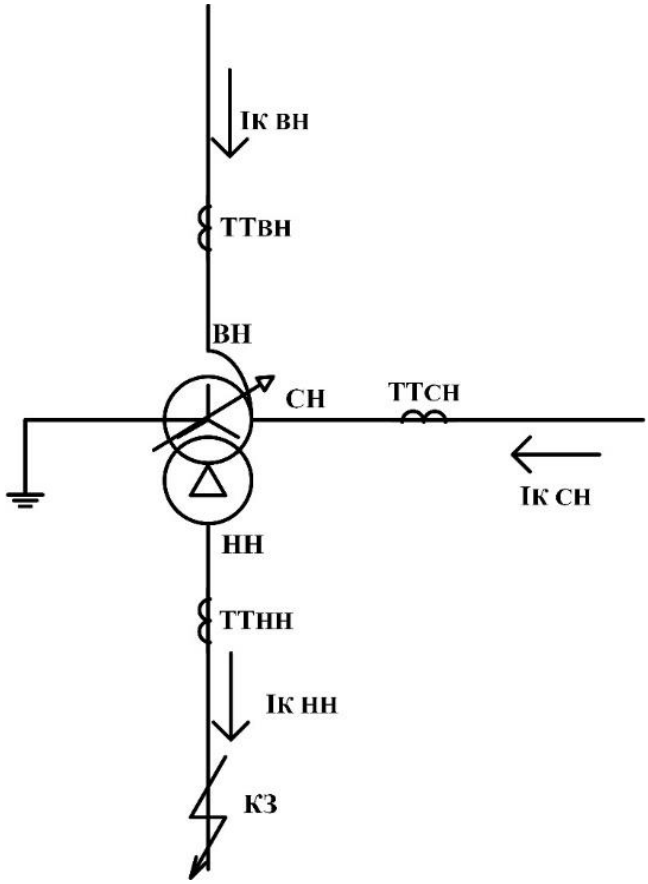
With interphase short circuits on the low voltage side (LV) autotransformer mounted on the sides of high and medium voltage backup protection in some cases does not have sufficient sensitivity. To increase the reliability of the protection of the autotransformer, a need arose organization of protection of near backup (ZBR) on the side of NN autotransform o-moat. It is possible to implement protection by installing additional protection (DZ) to the neutral output of the autotransformer, improving the logic of the protection and digital substation technology applications.

Key words: increasing the reliability of relay protection; backup protection autotransformer; short-range reservation.

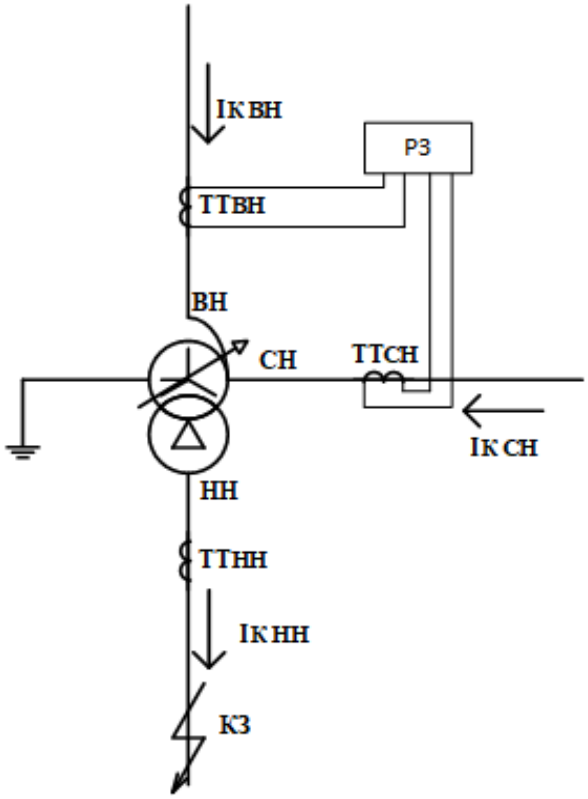
Отказ релейной защиты в отключении оборудования при коротких замыканиях является наиболее опасным нарушением, приводящим к обесточиванию потребителей, повреждению силового оборудования и устройств вторичной коммутации. Избежать или значительно уменьшить последствия подобных событий позволяют системы дальнего и ближнего резервирования релейной защиты.

Накопленный опыт эксплуатации, расчетов уставок и обслуживания микропроцессорных защит автотрансформаторов (МТЗ) дает понять, что система дальнего резервирования междуфазных (КЗ) на стороне НН автотрансформатора 220–500 кВ, действующей релейной защиты (РЗ) в голове питающих линий неэффективна, а также позволяет выделить проблему, которая возникает при выборе параметров настроек резервных защит автотрансформаторов и требует решения.

Эта проблема заключается в сложности обеспечения чувствительности защит ближнего резервирования автотрансформаторов при междуфазных КЗ на стороне низкого напряжения автотрансформатора.



а



б

Рис. 1. Автотрансформатор: *а* – КЗ на НН АТ; *б* – включение защит на сумму токов

Согласно рис. 1, *а* ликвидация междуфазных КЗ на стороне НН или на вводах НН автотрансформатора происходит только в каскаде (а в некоторых случаях вторая ступень ДЗ не чувствительна к междуфазным КЗ), что при неисправности или выводе из работы основной защиты может привести к серьезным повреждениям автотрансформатора.

Как известно, основным условием выбора уставок МТЗ и второй ступени ДЗ автотрансформатора является обеспечение чувствительности к междуфазным КЗ в автотрансформаторах и на шинах смежного напряжения.

Однако, при выборе уставок по условию чувствительности к междуфазным КЗ на стороне НН автотрансформатора уставки по току или сопротивлению срабатывания невозможно отстроить от нагрузочного режима в сети смежного напряжения.

Решить данную проблему можно подключив защиты на сумму токов как показано на рис.1 *б*.

Однако, реализация такого рода защиты в большинстве случаев невозможна. Это объясняется отсутствием свободных кернов, встроенных во ввода автотрансформаторов на действующих объектах, которые можно было бы подключить на сумму токов, а также тем, что большинство резервных защит автотрансформатора не имеют возможности подключения дополнительных токовых цепей.

В таком случае решением организации защит ближнего резервирования на стороне низкого напряжения автотрансформаторов может стать установка дополнительного комплекта защит. Это ненаправленная одноступенчатая или двухступенчатая токовая защита от междуфазных КЗ на стороне НН автотрансформаторов АТ-220 кВ (500 кВ) с двумя выдержками времени: на отключение ввода НН и на отключение всего автотрансформатора. Данная защита включена на трансформаторы тока общих (нейтральных) выводов обмоток автотрансформатора (косвенно на сумму токов сторон высокого напряжения (ВН) и среднего напряжения (СН), рис. 2. Защита является резервной к МТЗ на стороне НН автотрансформатора и к дифференциальной защите автотрансформатора при КЗ на стороне НН (элемент ближнего резервирования).

Основными условиями выбора уставки по току должна быть надёжная отстройка защиты ближнего резервирования от тока нагрузки, а также обеспечение необходимой чувствительности в зоне резервирования к междуфазным КЗ на стороне НН автотрансформатора в минимальном режиме.

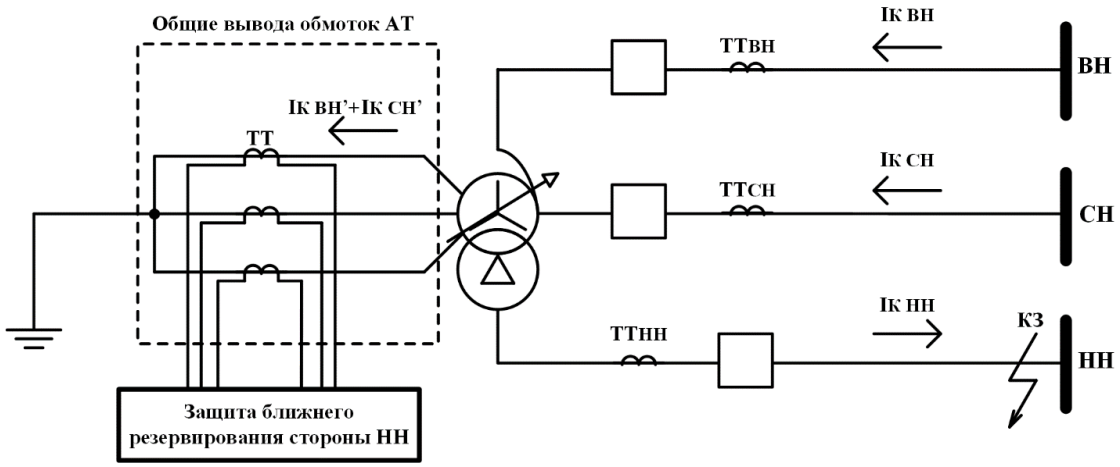


Рис. 2. Защита ближнего резервирования

Также методом для повышения эффективности защиты в условиях отказа или вывода из работы дифференциальной защиты автотрансформатора одним из решений может стать совершенствование работы микропроцессорной релейной защиты производства ООО НПП «ЭКРА», установленной на большинстве объектах операционной зоны РДУ Татарстана, путем разработки новых алгоритмов работы релейной защиты и изменения ее логики (рис. 3). В качестве резервной защиты для автотрансформатора с высшим напряжением 220 кВ служит шкаф ШЭ2607 072 (071). Данный шкаф устанавливается на сторонах высшего и среднего напряжения автотрансформатора.

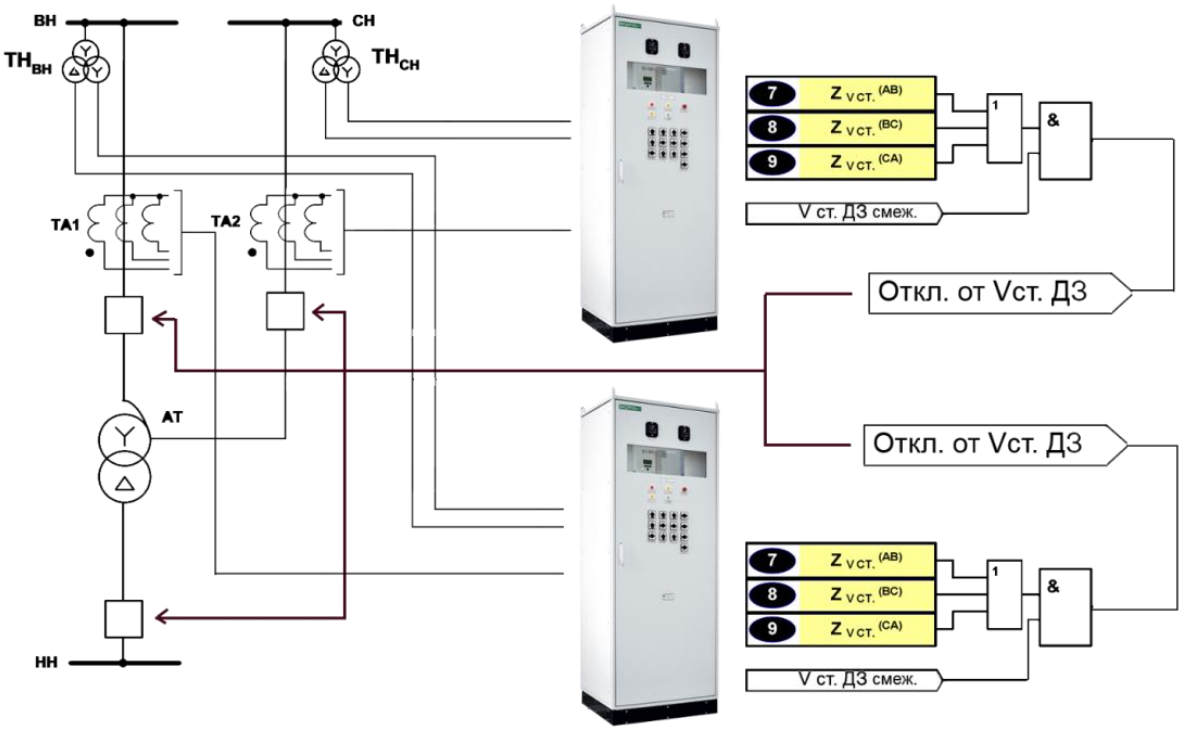


Рис. 3. Логика работы 5-й ступени ДЗ

Для обеспечения быстрого отключения КЗ на стороне НН предлагается использовать 5 ступеней ДЗ (либо выделить дополнительные 6 ступеней) с большими уставками по сопротивлению и выдержками времени, с включением на фазные токи и фазные напряжения с направлением их в АТ и действием на отключение АТ без выдержки времени или с t = 0,2 с в случае КЗ на стороне НН или в автотрансформаторе. При срабатывании реле сопротивления (РС) данной ступени и одновременном срабатывании РС 5(6-й) ступени ДЗ резервной защиты автотрансформатора смежной стороны или отключенного состояния выключателя смежной стороны (таким образом определяется факт КЗ в автотрансформаторе или в сети НН автотрансформатора) защита действует на отключение. При пуске МТЗ НН, сигнал которой приходит на дискретные входы шкафов резервной защиты автотрансформатора стороны ВН и СН, защита ближнего резервирования действует с 1-й выдержкой времени на отключение выключателя НН автотрансформатора и далее со 2-й выдержкой времени на отключение всего автотрансформатора с запретом автоматического повторного выключения (АПВ), то есть резервирует действие МТЗ НН. При этом время срабатывания ЗБР согласовываются с временем срабатывания МТЗ НН. Если пуска МТЗ НН не было или защита отсутствует (автотрансформатор не ошинован по стороне НН), то защита ближнего резервирования действует на отключение всего автотрансформатора с запретом АПВ с минимальной выдержкой времени t = 0,2 с – ЗБР с ускорением.

Также одним из решений данных проблем может стать применение элементов цифровых подстанций (рис. 4).

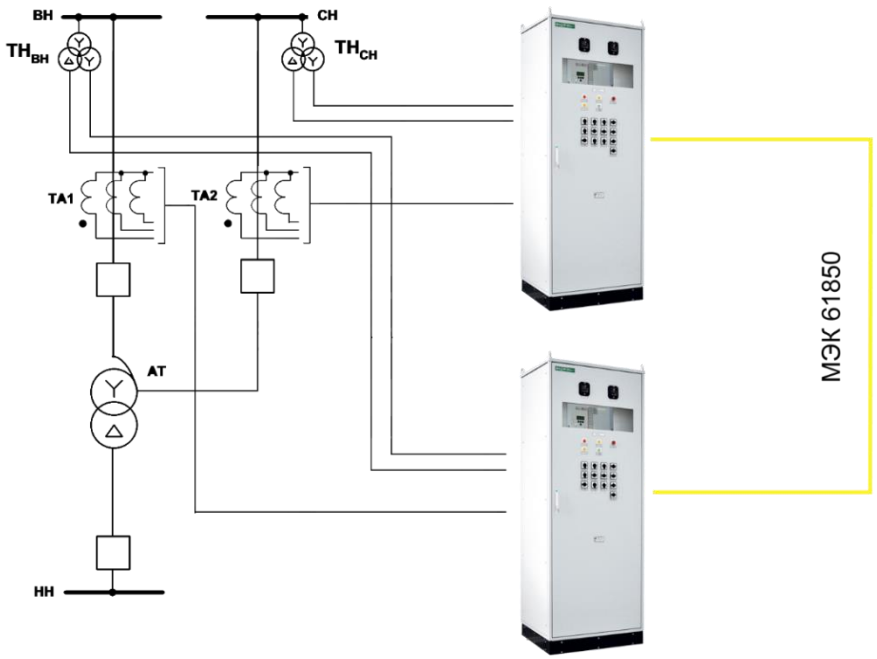


Рис. 4. Организация ЗБР по протоколу МЭК 61850-9.2 и МЭК 61850-8.1

В данном случае информация в виде значений токов и напряжений, дискретных сигналов будет передаваться от одного терминала по протоколу МЭК 61850-9.2 и МЭК 61850-8.1. В таком случае есть возможность реализовать два предложенных выше варианта совершенствования защит ближнего резервирования АТ.

Установка дополнительного комплекта ЗБР и изменение логики МТЗ позволяют обеспечить надежную защиту автотрансформатора резервными защитами, а также существенно уменьшить время ликвидации короткого замыкания на стороне низкого напряжения автотрансформатора в условиях отказа на срабатывание основных защит автотрансформатора и повысить чувствительность защит ближнего резервирования.

Источники

1. Сиразутдинов Ф.Р. Повышение надежности защиты автотрансформатора с учетом ближнего и дальнего резервирования // Тинчуринские чтения: матер. докл. XII Междунар. молодеж. науч. конф: в 3 т. Казань, 2017. Т. 1. С. 335–336.

2. Руководящие указания по релейной защите. Вып. 13А. Релейная защита понижающих трансформаторов и автотрансформаторов 110–500 кВ: схемы. М.: Энергоатомиздат, 1985. 112 с.

УДК 621.316.728

СОЗДАНИЕ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА БАЗЕ АСИНХРОННЫХ МАШИН

Ирина Алексеевна Соколова

ФГБОУ ВО «УлГТУ», г. Ульяновск

irinasokolova242@gmail.com

В работе представлена модель параметрического управления асинхронным двигателем за счет разделения обмоток статора на две независимые группы обмоток. Приведен расчет механических характеристик в предельных режимах работы. Сформулированы выводы относительно целесообразности использования подобных систем.

Ключевые слова: автоматизация, асинхронный двигатель, механические характеристики, статорные обмотки.

CREATION OF MULTIFUNCTIONAL ELECTROMECHANICAL SYSTEMS ON THE BASIS OF ASYNCHRONOUS MACHINES

Sokolova Irina Alekseevna

The paper presents a model of parametric control of an asynchronous motor due to the separation of stator windings into two independent groups of windings. The calculation of the mechanical characteristics in the limiting modes of operation. Conclusions regarding the feasibility of using such systems are formulated.

Key words: automation, asynchronous motor, mechanical characteristics, stator windings.

В промышленности двухскоростные асинхронные двигатели (ДСАД) используются в основном для работы на двух механических характеристиках. Изменение режима работы достигается переключением секций фазных обмоток [1–3]. За счет этого изменяется скорость ДСАД. При этом практически не используются силовые электронные устройства: преобразователи частоты или регуляторы напряжения (РН).

В то же время возникает необходимость регулирования частоты вращения ДСАД в ограниченном диапазоне в области основных механических характеристик. Анализ работы ДСАД показывает возможность эффективного управления двигателем за счет разделения обмоток статора на две независимые обмотки (рис. 1).

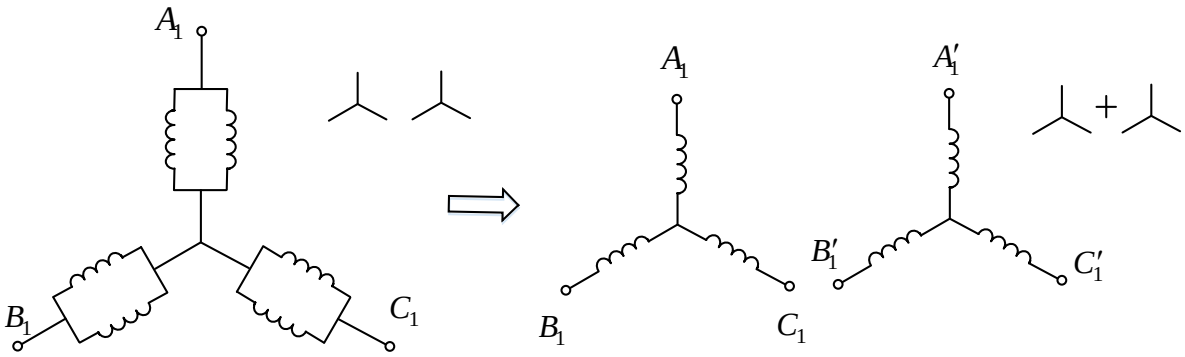


Рис. 1. Изменение схемы включения обмоток ДСАД

В этом случае питание подается на одну группу обмоток статора (A_1, B_1, C_1). Вторая группа обмоток (A_1', B_1', C_1') может быть использована для регулирования скорости. Для анализа работы двигателя составим схему замещения. Для построения схемы замещения ДСАД можно воспользоваться методом комплексных амплитуд [4–7]. Уравнения, связывающие напряжения, токи и потокосцепления в комплексной форме принимают вид:

$$\left.\begin{aligned}
&\dot{U}_{1.1} = R_{1.1}\dot{I}_{1.1} + j\omega_0\dot{\Psi}_{1.1}\\
&\dot{U}_{1.2} = R_{1.2}\dot{I}_{1.2} + j\omega_0\dot{\Psi}_{1.2} = Z\dot{I}_{1.2}\\
&\dot{U}_2 = 0 = R_2\dot{I}_2 / S + j\omega_0\dot{\Psi}_2\\
&\dot{\Psi}_{1.1} = (L_M + L_{1.1\sigma})\dot{I}_{1.1} + L_M(\dot{I}_{1.2} + \dot{I}_2)\\
&\dot{\Psi}_{1.2} = (L_M + L_{1.2\sigma})\dot{I}_{1.2} + L_M(\dot{I}_{1.1} + \dot{I}_2)\\
&\dot{\Psi}_2 = (L_M + L_{2\sigma})\dot{I}_2 + L_M(\dot{I}_{1.1} + \dot{I}_{1.2})
\end{aligned}\right\}, \qquad (1)$$

где $\dot{U}_{1.1}$, $\dot{U}_{1.2}$, $\dot{U}_2$, $\dot{I}_{1.1}$, $\dot{I}_{1.2}$, $\dot{I}_2$, $\dot{\Psi}_{1.1}$, $\dot{\Psi}_{1.2}$, $\dot{\Psi}_2$ – векторы напряжения, тока, потокосцепления первой и второй групп обмоток статора и обмотки ротора соответственно; S – скольжение; ω_0 – угловая скорость поля статора; Z – внешняя нагрузка на вторую группу обмоток статора.

Преобразуем систему уравнений (1), исключая из рассмотрения потокосцепления и учитывая равенство параметров первой и второй групп обмоток статора ($R_{1.1} = R_{1.2}, L_{1.1\sigma} = L_{1.2\sigma}$), и в результате получаем выражения:

$$\left.\begin{aligned}
&\dot{U}_{1.1} = (R_1 + jX_{1\sigma})\dot{I}_{1.1} + jX_M(\dot{I}_{1.1} + \dot{I}_{1.2} + \dot{I}_2)\\
&\dot{U}_{1.2} = (R_1 + jX_{1\sigma})\dot{I}_{1.2} + jX_M(\dot{I}_{1.1} + \dot{I}_{1.2} + \dot{I}_2) = Z\dot{I}_{1.2}\\
&\dot{U}_2 = 0 = (R_2 / S + jX_{2\sigma})\dot{I}_2 + jX_M(\dot{I}_{1.1} + \dot{I}_{1.2} + \dot{I}_2)
\end{aligned}\right\}, \qquad (2)$$

где $X_M = \omega_0 L_M$ – индуктивное сопротивление намагничивающего контура; $X_{1\sigma} = \omega_0 L_{1\sigma}$ – индуктивное сопротивление рассеивания фазы статора; $X_{2\sigma} = \omega_0 L_{2\sigma}$ – индуктивное сопротивление рассеивания фазы ротора.

На основании системы уравнений (2) можно построить схему замещения ДСАД.

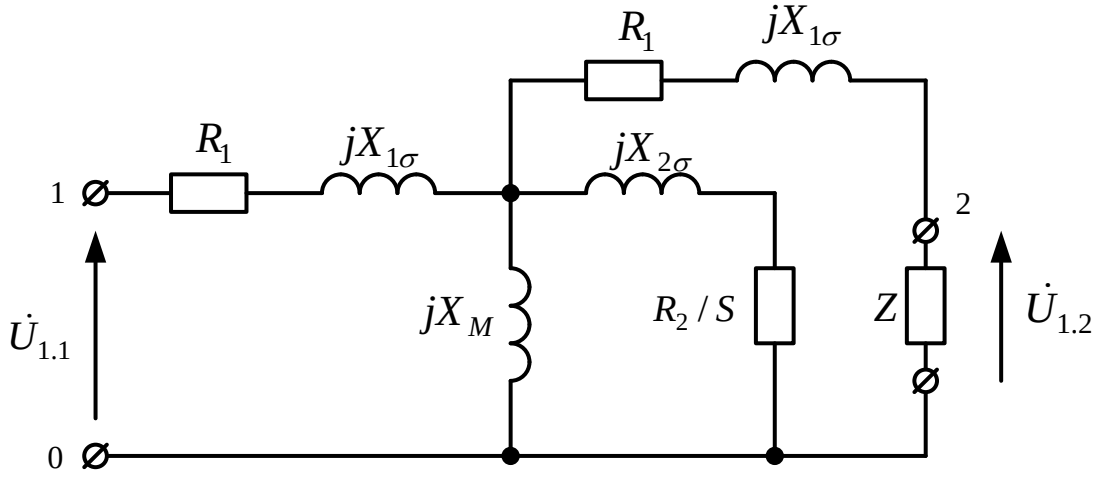


Рис. 2. Схема замещения ДСАД

Рассмотрим подробнее уравнения, характеризующие вторую группу обмоток статора. При отсутствии нагрузки $\dot{I}_{1.2} = 0$. В этом случае из системы уравнений (2) получим:

$$\dot{\Psi}_{1.2} = L_M (\dot{I}_{1.1} + \dot{I}_2); \; \dot{U}_{1.2} \Rightarrow \dot{E}_{1.2} = j\omega_0 \dot{\Psi}_{1.2}. \qquad (3)$$

Исходя из уравнений (3) и с учетом формул (2) получаем:

1) в режиме холостого хода ($S \approx 0$) электродвижущая сила (ЭДС) второй группы обмоток статора определяется выражением:

$$E_{1.2XX} = \dot{U}_{1.1} \frac{jX_M}{R_1 + j(X_M + X_{1\sigma})};$$

2) в заторможенном режиме двигателя $S = 1$, тогда выражение для ЭДС принимает вид:

$$\dot{E}_{1.2\text{КЗ}} = \dot{U}_{1.1} \frac{jX_M X_{2\sigma}}{(R_1 + jX_{1\sigma})(X_M + X_{2\sigma}) + jX_M X_{2\sigma}}.$$

Экспериментальные исследования на двигателе показали, что $E_{1.2XX} \approx 0{,}5U_{1.1}$; $E_{1.2\text{КЗ}} \approx 0{,}05U_{1.1}$. В этом случае функция $E_{1.2} = f(n)$ принимает вид:

$$E_{1.2} = (0{,}05 + 0{,}45(1 - S))U_{1.1}. \qquad (4)$$

Из схемы замещения (рис. 2) видно, что имеются следующие возможности регулирования ДСАД по второй группе обмоток статора:

1) параметрическим способом, изменяя сопротивление Z;

2) регулируя подаваемое напряжение на эту группу обмоток.

Для расчета и анализа статических характеристик асинхронных двигателей используют упрощенную схему замещения [8–10], в которой пренебрегают цепью намагничения. При работе двигателя к его ротору вращающимся магнитным полем передается электромагнитная мощность $P_{\text{ЭМ}} = M\,\omega_0$. Она расходуется на электрические потери в роторе $\Delta P_{\text{ЭЛ2}} = 3I_2^2 R_2$ и создание механической мощности $P_M = M\omega$ [8]. Преобразуя последние выражения, можно получить формулу

$$M = \frac{3I_2 R_2}{\omega_0 S}. \qquad (5)$$

В соответствии с упрощенной схемой двигателя (без учета второй группы обмоток статора) получаем:

$$I_2 = \frac{U_1}{\sqrt{(R_1 + R_2/S)^2 + (X_{1\sigma} + X_{2\sigma})^2}}. \qquad (6)$$

Из выражений (5) и (6) находится формула [8] для момента асинхронного двигателя:

$$M = \frac{3U_1^2 R_2 / S}{\omega_0 \left[(R_1 + R_2 / S)^2 + (X_{1\sigma} + X_{2\sigma})^2 \right]}. \quad (7)$$

Аналогичным путем и с учетом выражения (4) получим уравнения статических механических характеристик для ДСАД. Возможны два предельных режима включения второй группы обмоток статора (рис. 2).

1. Точка (2) соединяется с точкой (1), сопротивление Z отсутствует. Такое соединение соответствует включению «двойная звезда».

2. Точка (2) соединяется с точкой (0). Такое соединение соответствует режиму «подтормаживание».

Для режимов 1 и 2 уравнения механических характеристик имеют вид:

$$M_1 = \frac{3U_1^2 R_2 / S}{\omega_0 \left[(R_1 / 2 + R_2 / S)^2 + (X_{1\sigma} / 2 + X_{2\sigma})^2 \right]}, \quad (8)$$

$$M_2 = \frac{3U_1^2 R_2 / S}{\omega_0 \left[(R_1 + (2 - S) R_2 / S)^2 + (X_{1\sigma} + (2 - S) X_{2\sigma})^2 \right]}. \quad (9)$$

По уравнениям (7)–(9) построены графики механических характеристик (рис. 3).

Анализ графиков (рис. 3) показывает, что при включении по схеме «двойная звезда» пусковой и критический моменты будут наибольшими; при включении по схеме «звезда» без использования второй группы обмоток статора пусковой и критический моменты будут в 1,5 раза меньше, критическое скольжение так же меньше приблизительно в 3 раза; в режиме подтормаживания пусковой момент соответствует режиму «звезда». Это объясняется тем, что при скорости, равной нулю ЭДС обмотки близко к нулю, поэтому тормозной момент не создается.

Рассмотренный режим соответствует активной нагрузке на вторую группу обмоток статора $(Z = R)$. В то же время возможно использование реактивной нагрузки, в частности емкостной $Z = -j / \omega_0 C$. Включение емкости последовательно с обмоткой двигателя позволяет изменять режим работы и его характеристики. Анализ этого режима позволил получить приближенное выражение для механических характеристик ДСАД. В расчетах принималось условие $\omega_0 L_{1\sigma} = 1 / \omega_0 C$. Для случая, когда вторая группа обмоток статора подключается к сети через емкости, выражение механической характеристики принимает следующий вид:

$$M_{1C} \approx \frac{3U_1^2 R_2 / S}{\omega_0 \left[(R_1 / 2 + R_2 / S)^2 + X_{2\sigma}{}^2 \right]}. \quad (10)$$

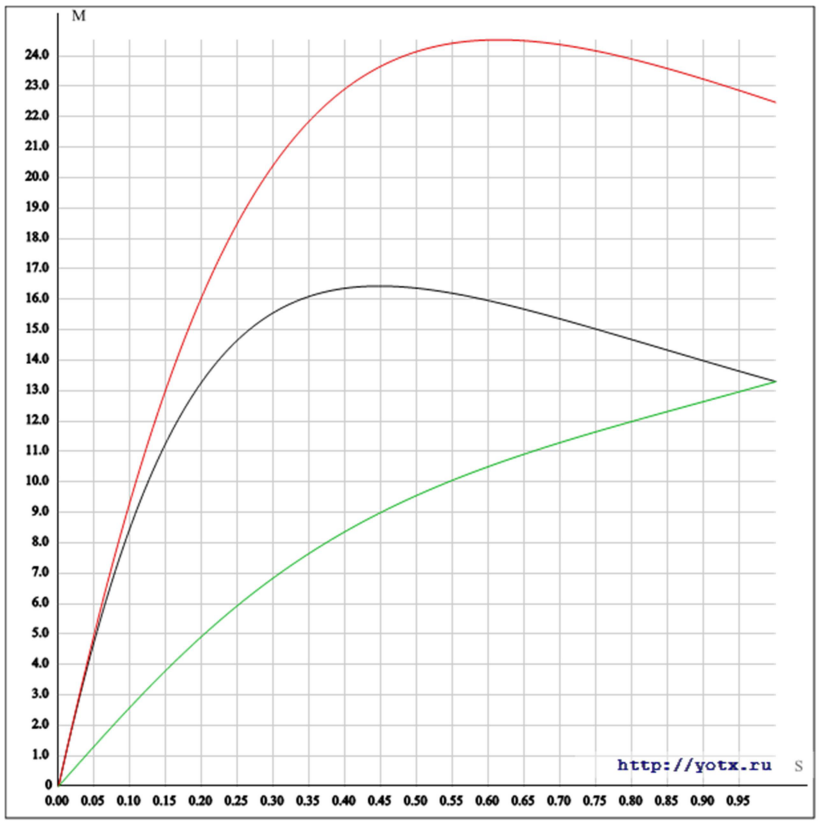


Рис. 3. Механические характеристики ДСАД в предельных режимах:
а – двойная звезда; *в* – звезда; *с* – подтормаживание

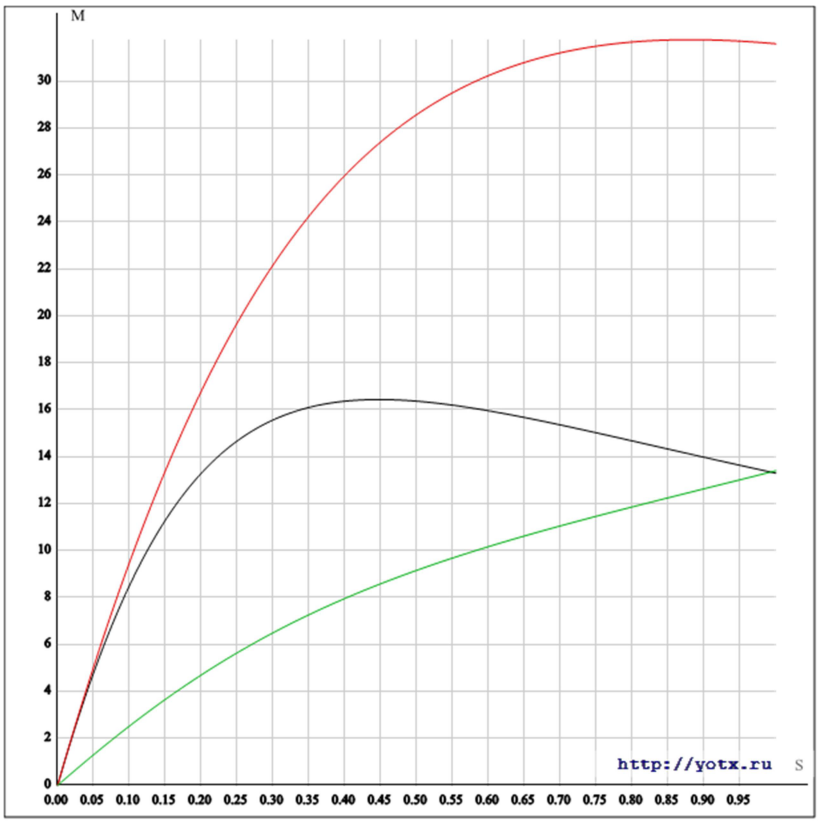


Рис. 4. Механические характеристики ДСАД в предельных режимах при $Z = -j / \omega_0 C$:
а – двойная звезда; *в* – звезда; *с* – подтормаживание

Для режима подтормаживания с использованием емкостей уравнение механической характеристики принимает вид:

$$M_{2C} \approx \frac{3U_1^2 R_2 / S}{\omega_0 \left[(1{,}5R_1 + (2-S)R_2 / S)^2 + ((2{,}5-S)X_{2\sigma})^2 \right]}. \qquad (11)$$

По выражениям (7), (10), (11) построены графики механических характеристик (рис. 4). Анализ графиков (рис. 4) показывает, что при включении по схеме «двойная звезда» с конденсаторами в цепи второй группы обмоток статора пусковой момент в 2,5 раза выше по отношению к схеме «звезда»; при закорачивании второй группы обмоток статора через конденсаторы пусковой момент сохраняется таким же, как в схеме «звезда».

В результате проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

• разделение обмоток статора ДСАД на две группы позволяет создать автоматизированную параметрическую систему управления с более широкими функциональными возможностями;

• применение конденсаторов во второй группе обмоток статора позволяет увеличить пусковой момент на 25–30% (рис. 3, 4);

• режимы подтормаживания сохраняют пусковой момент схемы «звезда».

В результате проведенных исследований можно сделать вывод, что разделение обмоток статора ДСАД на две группы позволяет создать автоматизированную параметрическую систему управления с более широкими функциональными возможностями, а полученная схема замещения позволяет анализировать различные режимы работы предлагаемой системы. Кроме того, сравнение с другими схемами параметрического управления асинхронных двигателей (машина с фазным ротором, включение сопротивлений в обмотки статора и др.) показывает преимущества предлагаемой схемы.

Источники

1. Иванов-Смоленский А.В. Электрические машины. В 2 т. М.: Изд-во МЭИ, 2004. 532 с.

2. Ключев В.И. Теория электропривода. М.: Энергоатомиздат, 2001. 704 с.

3. Электропривод и средства автоматизированного управления поточно-транспортными линиями в сельском хозяйстве. М.: Информэлектро, 1983. 59 с.

4. Соколовский Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным управлением. М.: ACADEMA, 2006. 272 с.

5. Браславский И.Я. Энергосберегающий асинхронный электропривод. М.: ACADEMA, 2004. 256 с.

6. Волков Н.И., Миловзоров В.П. Электромашинные устройства автоматики. М.: Высшая школа, 1986. 335 с.

7. Takahashi I., Nogushi T. New Quick-Response and High-Efficiency Control Strategy of Induction Motor // Trans. Industry Application. 1986. Vol. 1A-22. P. 820–827.

8. Масандилов Л.Б., Сергиевский Ю.Н., Козырев С.К. Машиностроение: энциклопедия. В 40 т. Том IV-2. В 2-х кн. Кн. 1: Электропривод / ред. совет: К.В. Фролов [и др.]. М.: Машиностроение, 2012. 520 с.

9. Ludtke I. The Direct Control of Induction Motor: thesis. Department of Electronics and Information Technology. University of Glamorgan. May 1998.

10. Leonard W. Control of Electrical Drives. Berlin: Springer, 1996. 420 p.

УДК 621

МОДЕРНИЗАЦИЯ ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Светлана Игоревна Соловьева[1], Александр Юрьевич Корольков[2], Павел Павлович Павлов[3]

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

[1,2,3]svetamaillist@gmail.com

В данной статье рассматривается совершенствование вспомогательного электропривода высокоскоростного электроподвижного состава с помощью применения частотного регулирования для асинхронного электропривода. С помощью разработанной компьютерной модели регулятора возможен расчет переходных процессов в системе автоматического управления вспомогательного электропривода высокоскоростного электроподвижного состава. Результаты исследований могут быть использованы при проектировании новых и модернизации существующих систем автоматического управления вспомогательного электропривода с улучшенными показателями качества регулирования.

Ключевые слова: высокоскоростной электрический подвижной состав, вспомогательный асинхронный привод, частотное регулирование, регулятор с нечеткой логикой, компьютерная модель.

MODERNIZATION OF THE AUXILIARY ELECTRIC DRIVE

Svetlana Igorevna Solovieva, Alexander Yuryevich Korolkov, Pavel Pavlovich Pavlov

This article discusses the improvement of auxiliary electrical drive high-speed electric rolling stock using frequency regulation for an asynchronous electric drive. Using the developed computer model of the regulator, it is possible to calculate transients in the automatic control system of the auxiliary electric drive of high-speed electric rolling stock. The research results can be used in the design of new and modernization of existing automatic systems control of the auxiliary electric drive with improved indicators of the quality of regulation.

Key words: high-speed electric rolling stock, auxiliary positive asynchronous drive, frequency regulation, fuzzy logic controller, computer model.

На сегодняшний день задачи энергосбережения на железнодорожном транспорте приобретают первостепенную важность, особенно при эксплуатации электроподвижного состава на высоких скоростях.

Для того чтобы получить высокое качество управления электроприводом, широко используется система, которая основана на векторном управлении асинхронным двигателем, позволяющая оперативно с высокой точностью управлять электромагнитным моментом двигателя.

Электромагнитный момент асинхронного электродвигателя зависит от фазы и величины двух составляющих: магнитного потока и тока. Для получения требуемого электромагнитного момента в асинхронном электродвигателе используют единственно доступные для измерения фазных токов статора, которые в системе управления программно преобразуются в обобщенный вектор тока и разделяются на две координатные составляющие, обеспечивающие формирование магнитного потока и электромагнитного момента. В этом случае система управления построена во вращающихся координатных осях, ориентированных по результирующему вектору потокосцепления ротора. Модуль вектора потокосцепления ротора двигателя определяется проекцией вектора тока статора на ось системы координат, совмещенной с вектором потокосцепления ротора, а электромагнитный момент двигателя – произведением модуля потокосцепления ротора двигателя на вторую (ортогональную) составляющую вектора тока статора. Вследствие чего можно построить двухканальную систему регулирования с независимым управлением потокосцеплением и электромагнитным моментом асинхронного двигателя.

Для работы электропривода с изменяющейся нагрузкой результативно использование систем автоматического управления с помощью регуляторов на основе нечеткой логики, для которых производится непрерывная перенастройка параметров на основе анализа изменения ошибки регулирования.

Нечеткие логические регуляторы (НЛР) систем управления оказались достаточно простым и эффективным инструментом для автоматизации многих практических задач. НЛР основываются на теории нечеткой логики и нечетких множеств, которые являются расширением классической теории множеств и классической логики. НЛР является экспертной системой, в которой знания представлены в виде базы правил.

В качестве выходной переменной НЛР могут выступать коэффициенты регулирования классического пропорционально-интегрально-дифференцирующего (ПИД) регулятора. В результате получается структура так называемого нечеткого супервизора. Идея нечеткого супервизора заключается в организации двухуровневой системы, в которой на нижнем уровне располагается классический ПИД-регулятор, а на верхнем уровне – нечеткий. НЛР автоматически изменяет коэффициенты ПИД-регулятора на различных этапах переходного процесса.

Именно такой нечеткий супервизор предлагается применить для совершенствования вспомогательного асинхронного тягового привода электроподвижного состава.

На его вход подаются два сигнала: сигнал рассогласования по скорости и его производная, а на выходе формируются три сигнала, которые представляют собой коэффициенты усиления ПИД-регулятора.

При ступенчатом изменении момента сопротивления на валу двигателя в первом случае происходит длительный переходный процесс по стабилизации электромагнитного момента, а во втором система управления практически мгновенно реагирует на изменение момента. Уменьшаются пульсации электромагнитного момента в установившемся режиме.

Следовательно, применение частотного регулирования асинхронного двигателя вспомогательного электропривода высокоскоростного электроподвижного состава позволяет улучшить его энергетические и эксплуатационные показатели за счет стабилизации режимов работы.

Использование НЛР, в которых производится непрерывная перенастройка параметров на основе анализа изменения ошибки регулирования, приводит к совершенствованию системы автоматического регулирования электропривода, работающего в условиях постоянно меняющейся нагрузки. Применение в системе автоматического управления НЛР дает возможность значительно уменьшить динамические ошибки регулирования при ступенчатых изменениях нагрузки электропривода.

Внедрение энергоэффективных технологий и конструкторских решений позволяет существенно экономить энергоресурсы. Повысить надежность высокоскоростного транспорта и снизить энергопотребление возможно с помощью совершенствования системы вспомогательного привода. Для этого процесса перспективным направлением является применение для асинхронных электродвигателей частотного регулирования.

Источники

1. Гостев В.И. Проектирование нечетких регуляторов для систем автоматического управления СПб.: БХВ-Петербург, 2011. 416 с.

2. Корольков А.Ю., Соловьева С.И., Павлов П.П. Интеллектуальный электропривод в электромеханических системах // Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве: матер. докл. II Поволж. науч.-техн. конф. Казань, 2016. С. 107–108.

3. Чиликин М.Г., Сандлер А.С. Общий курс электропривода: учебник для вузов. 6-е изд., доп. и перераб. М.: Энергоиздат, 1981. 576 с.

4. Соколовский Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием. М.: Академия, 2006. 272 с.

5. Якушев А.Я. Автоматизированные системы управления электрическим подвижным составом: учеб. пособие. М.: Учеб.-метод. центр по образованию на ж.-д. транспорте, 2016. 302 с.

УДК 621.313

ЭЛЕКТРОПРИВОД ПОСТОЯННОГО ТОКА С ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНЫМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ

Анастасия Алексеевна Стрельцова

ФГБОУ ВО «УлГТУ», г. Казань

nastrelt95@gmail.com

Рассматриваются вопросы теории и постороения регуляторов напряжения для двигателей постоянного тока. Приводятся расчетные соотношения и результаты эксперимента, показывающие преимущества электропривода постоянного тока на основе широтно-импульсного преобразования.

Ключевые слова: двигатель постоянного тока, регулятор напряжения, силовой ключ, фильтр, широтно-импульсный регулятор, преобразователь, тиристорное управление.

DC ELECTRIC DRIVE WITH BROAD-PULSE REGULATION

Anastasia Alekseevna Streltsova

The theory and construction of voltage regulators for DC motors are considered. Calculated ratios and experimental results are presented, showing the advantages of a DC electric drive based on pulse-width conversion.

Key words: DC motor, voltage regulator, power switch, filter, pulse-width regulator, converter, thyristor control.

В настоящее время имеется множество разработок, оптимизирующих работу электропривода. Ставится множество задач для оптимизации решения проблем в производстве. Это должно приносить пользу хозяйству, строительству, транспорту и другим отраслям.

При проектировании высокоэффективных регуляторов напряжения (РН) для устройств управления различными активно-индуктивными нагрузками возникает необходимость выбора из большого числа существующих решений варианта, обеспечивающего наиболее высокие технико-экономические показатели.Объектами управления могут быть однофазные и трехфазные трансформаторы, асинхронные двигатели и др. При этом выбор может быть между фазовым управлением (тиристорный регулятор напряжения) и широтно-импульсным управлениемширотно-импульсного преобразователя (ШИП).

Регулирование напряжения на якоре двигателя постоянного тока (ДПТ) можно осуществить импульсным методом, когда двигатель периодически подключается к источнику питания и отключается от него. При этом в тот период, когда двигатель подключён к источнику питания, происходит передача энергии от источника к электроприводу, которая главным

образом передаётся через вал производственному механизму, а часть её запасается в виде кинетической и электромагнитной энергии; в период отключения электропривод продолжает работать, используя запасённую энергию.

Функционально ШИП состоит из двух частей: блока широтно-импульсного модулятора (ШИМ) и силового блока, который включает в себя выпрямитель (Вп) и силовой коммутатор (СК) (рис. 1, *а*).

ШИМ преобразует входную координату – напряжение управления во внутреннюю координату – скважность включения вентилей.

В состав ШИМ входят: генератор линейно изменяющегося напряжения (ГЛИН), схема сравнения (СС), распределитель импульсов (РИ) и усилители импульсов (У). ГЛИН вырабатывает с частотой $f = l/T_к$ напряжение $U_{глин}$, которое может быть разной формы: синусоидальной, треугольной, пилообразной и т. д.

Схема сравнения анализирует на своем входе два сигнала $U_{глин}$ и $U_у$. При $U_{глин} - U_у \le 0$ сигнал на выходе схемы сравнения $U_{с.с}$ (рис. 1, *б*) положительный максимального уровня, при $U_{глин} - U_у > 0$ сигнал $U_{с.с}$ отрицательный максимального уровня. РИ распределяет импульсы управления по силовым ключам коммутатора.

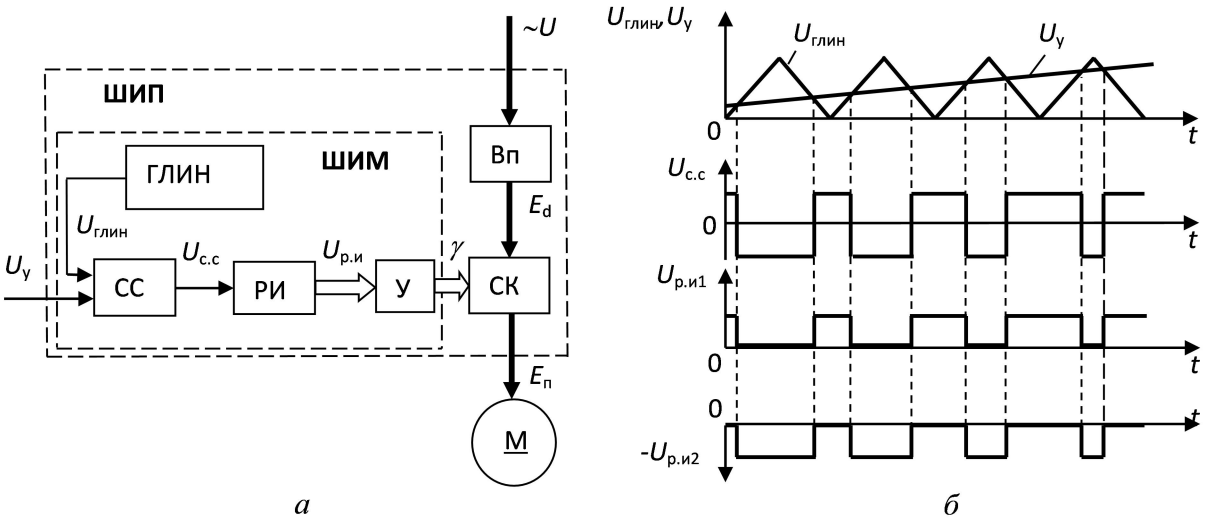


Рис. 1. Система ШИП-Д: *а* – обобщённая функциональная схема; *б* – временные диаграммы напряжений в схеме для линейно нарастающего напряжения управления

Силовой коммутатор реализует посредством включения и отключения силовых ключей заданную с помощью ШИМ скважность в виде выходной электродвижущей силы (ЭДС) ШИП.

Силовой коммутатор в схеме (рис. 1, *а*) не позволяет изменять полярность выходного напряжения, в связи с чем такую схему называют нереверсивной. Нереверсивная схема формирует однополярные импульсы выходной ЭДС.

Силовой коммутатор может быть реализован также и по реверсивной (мостовой) схеме (рис. 2, *б*). В этом случае выбор направления вращения осуществляется за счёт парного включения транзисторов *VT*1, *VT*4 или *VT*2, *VT*3 либо более сложной комбинацией переключения силовых ключей.

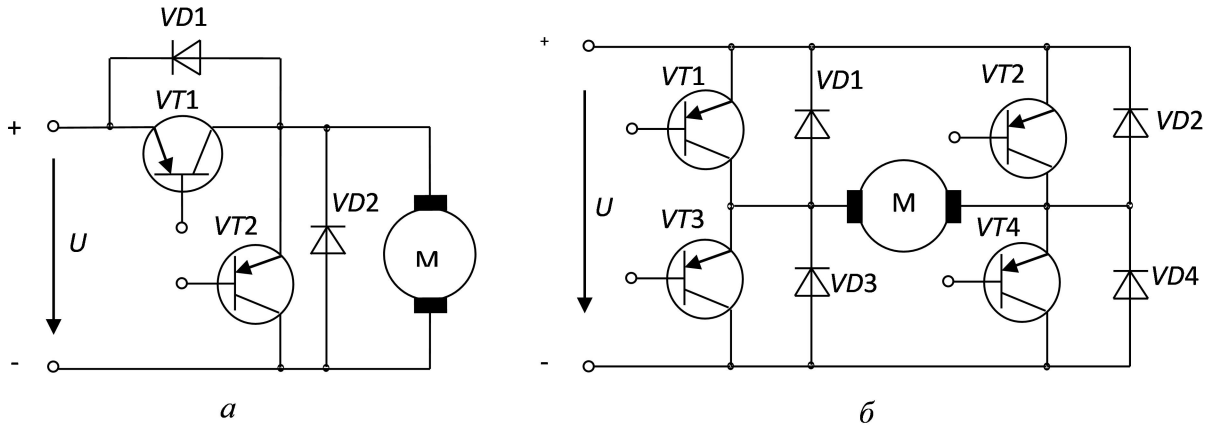


Рис. 2. Схемы силовой части ШИП: *а* – с возможностью реверса тока якоря; *б* – мостовая

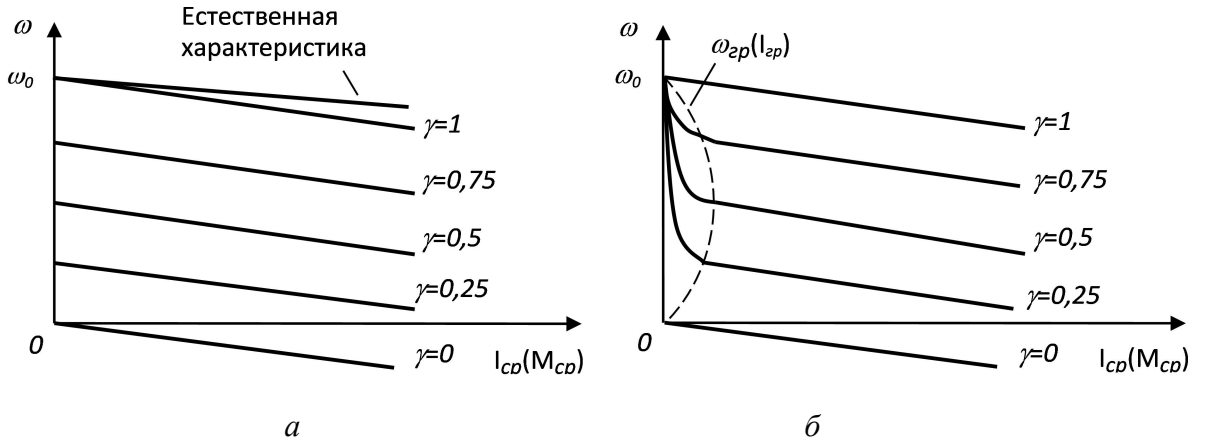


Рис. 3. Электромеханические (механические) характеристики системы ШИП-Д, выполненной по схеме, представленной на рис. 1, *а*: *а* – идеализированные; *б* – реальные

Свойства вариантов формирования выходного напряжения рассматриваются относительно различных параметров управления: в первом (параметр фазового управления) это угол включения тиристора α, а во втором (ШИР) – коэффициент заполнения импульса *D*. Однако желательно при принятии решения характеристики устройств рассматривать относительно общего параметра. При формировании сигнала управления тиристором момент включения может быть задан в результате сравнения опорного пилообразного напряжения $U_{\text{оп}}$ с напряжением управления $U_{\text{у}}$.

Сравнение этих двух способов регулирования напряжения по изменению спектрального состава при изменении коэффициента регулирования $К_р$ от 0 до 1 приведено в работе [4].

Форма выходного напряжения при фазовом управлении удовлетворяет условию $f(x) = -f(x+\pi)$ и на основном периоде описывается следующей функцией:

$$f(x) = \begin{cases} 0, x \in \left(0, \left(1 - К_р\right)\pi\right); \\ \sin x, x \in \left(\left(1 - К_р\right)\pi, \pi\right). \end{cases} \tag{3}$$

Эту функцию можно разложить в ряд Фурье на гармонические составляющие с коэффициентами, которые определяются по формулам:

$$a_q = \begin{cases} -\frac{1}{\pi}\sin^2 \pi K_p, q = 1; \\ -\frac{1}{\pi}\left[\frac{1-\cos(1-q)\pi K_p}{1-q} - \frac{1-\cos(1+q)\pi K_p}{1-q}\right], q \neq 1. \end{cases} \tag{4}$$

$$b_q = \begin{cases} \frac{1}{\pi}\left[\pi K_p + \frac{\sin 2\pi K_p}{2}\right], q \neq 1; \\ \frac{1}{\pi}\left[\frac{1-\sin(1-q)\pi K_p}{1-q} - \frac{\sin(1+q)\pi K_p}{1+q}\right], q \neq 1. \end{cases} \tag{5}$$

где $T = 2\pi$; $q = 1,3\ldots 2n-1$.

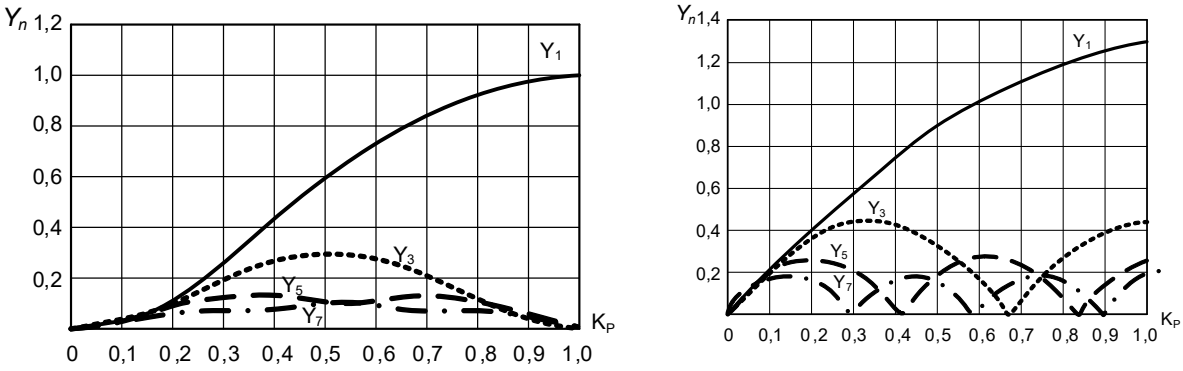
Зависимости амплитуд гармоник для фазового управления находятся в соответствии с выражением

$$Y_q = \sqrt{a_q^2 + b_q^2}\ , \tag{6}$$

а для широтно-импульсного управления – в соответствии известным соотношением:

$$Y_q = \frac{4}{\pi q}\sin\left(\frac{\pi q}{2}K_p\right). \tag{7}$$

Применение в качестве регулирующего параметра коэффициента регулирования позволяет сравнить между собой изменения спектрального состава при различных формах опорного напряжения.



а *б*

Рис. 4. Амплитудный спектр *а* – фазового управления;
б – широтно-импульсного управления

Необходимо учитывать, что при фазовом управлении частота первой гармоники составляет 50 Гц, а при ШИП она гораздо выше – 1–10 кГц. Поэтому для фильтрации (сглаживания) высших гармоник в ШИП можно использовать фильтры с меньшими весогабаритными показателями.

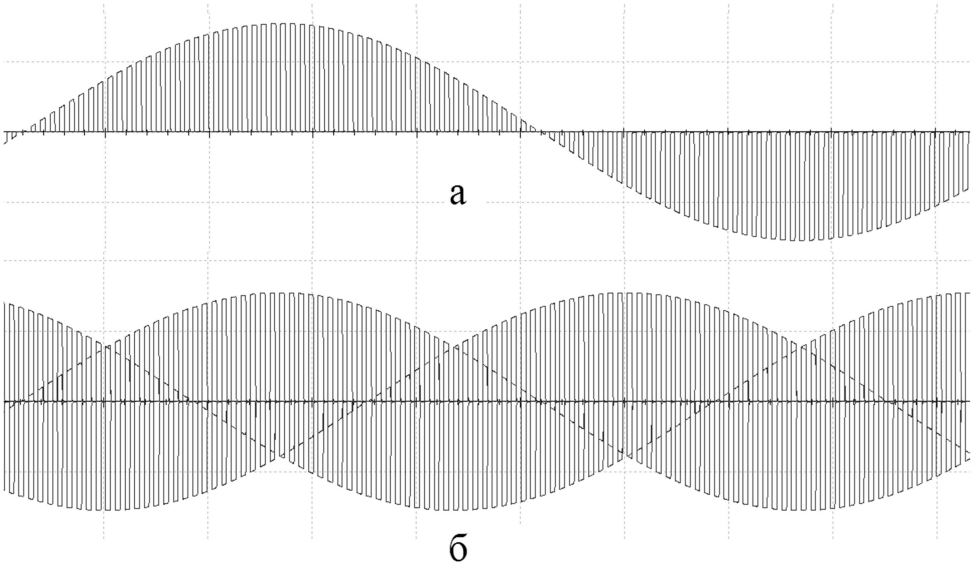


Рис. 5. Форма выходного напряжения регулятора напряжения: *а* – однофазное; *б* – трехфазное

Известно, что прямой пуск двигателя постоянного тока (ДПТ) сопровождается броском тока в якорной обмотке, который превышает максимально допустимое значение. Это создает значительные трудности в эксплуатации ДПТ. Наиболее простой в реализации способ ограничения тока предполагает ограничение скорости нарастания напряжения якорной обмотки во время разгона двигателя. Реализация регулирования скорости осуществляется чаще всего с помощью тиристорного преобразователя, выполняемого на 6 или 12 тиристорах. Недостатком данного решения является то, что при фазовом управлении высок уровень высших гармоник и тиристор выключается естественным образом.

Общим признаком прототипа и предлагаемого решения является наличие в силовых цепях схемы трехфазного моста, полярные выводы которого через силовые ключи подключены к одному из концов якорной обмотки двигателя, а другой конец – к нулевой точке питающей сети.

Техническим результатом предлагаемого устройства является снижение напряжения на транзисторах и коммутационных перенапряжений, возникающих в процессе работы, кроме этого обеспечивается возможность реализации режима реверса и динамического торможения. Для этого регулятор предлагается выполнить в виде трехфазного выпрямительного моста, полярные выходы которого через транзисторы подключены к якорной обмотке ДПТ, а другой конец – к нулевой точке. Точки подключения сети к трехфазному выпрямительному мосту подключены также к нулевому проводу через RC-цепи (рис. 6).

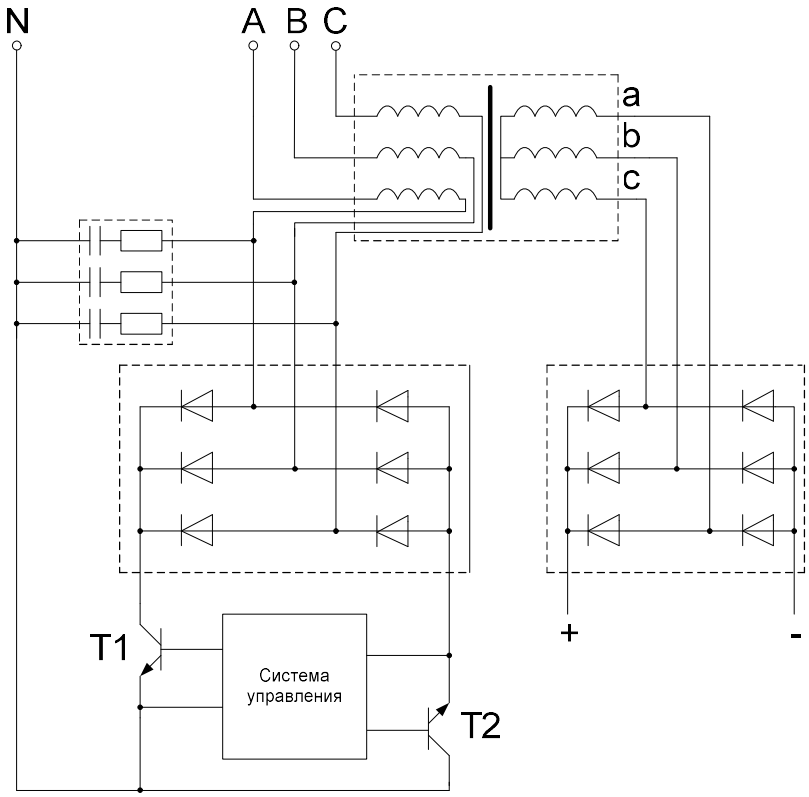


Рис. 6. Принципиальная схема разработанного регулятора напряжения для двигателя постоянного тока

Источники

1. Доманов В.И., Доманов А.В., Муллин И.Ю. Регулятор переменного напряжения // Вестник УлГТУ. 2009. № 2(46). С. 32–35.

2. Доманов В.И., Доманов А.В., Муллин И.Ю. Анализ чувствительности системы управления трехфазного регулятора напряжения // Промышленные АСУ и контроллеры. 2010. № 6. С. 24–27.

3. Реверсивный электропривод постоянного тока: пат. 2472282 Рос. Федерация № 2011143923/07; заявл. 28.10.11; опубл. 10.01.13, Бюл. № 1.

4. Коваленко С.Н. Электропривод с широтно-импульсным преобразователем: метод. указания. Хабаровск: Изд-во тихоокеанского гос. ун-та, 2007. 24 с.

УДК 621.31

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СЕТЕЙ НИЗШЕГО НАПРЯЖЕНИЯ МОРСКИХ И РЕЧНЫХ ПОРТОВ

Ольга Михайловна Толокнова[1], Александр Васильевич Саушев[2],
Владимир Александрович Шошмин[3]

ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова», г. Санкт-Петербург

[1]olga_toloknova@mail.ru, [2]saushev@bk.ru

Исследуются основные типы схем сетей низшего напряжения и особенности распределения электроэнергии в морских и речных портах. Рассматриваются способы электроснабжения передвижных приемников.

Ключевые слова: портальный кран, электрическая колонка, шинопровод, перегрузочная машина, передача электроэнергии.

FEATURES OF DESIGN OF NETWORKS OF THE LOWEST TENSION OF SEA AND RIVER PORTS

Olga Mikhailovna Toloknova, Alexander Vasilievich Saushev,
Vladimir Alexandrovich Shoshmin

The main types of schemes of networks of the lowest tension and feature of distribution of the electric power in sea and river ports are investigated. Ways of power supply of mobile receivers are considered.

Key words: portal crane, electric column, busline, reloading car, power transmission..

Порты, по сравнению с промышленными предприятиями, характеризуются рядом особенностей как по составу электроприемников, так и по условиям формирования систем электроснабжения [1]. Внутренние сети низшего напряжения производственных и служебных зданий портов практически не отличаются от таких же сетей промышленных предприятий и в данной работе не рассматриваются.

Основными потребителями морских и речных портов являются портальные краны и перегрузочные машины; суда и плавучие краны во время их стоянки у причалов; сварочное и другое электрооборудование, получающее электропитание по наружным сетям низшего напряжения (до 1000 В). Размещение основных потребителей электроэнергии на узкой

протяженной полосе открытой территории причального фронта создает предпосылки для применения магистральных схем и использования таких прогрессивных способов канализации энергии как шинопроводы и троллейное питание. Надежность магистральных схем может быть существенно повышена за счет использования двустороннего питания. Для этого используются специальные перемычки между крайними электрическими колонками, питающимися от разных подстанций. Сети низшего напряжения в портах выполняют в основном кабелями. В зоне действия перегрузочных передвижных машин прокладка воздушных сетей практически исключается. Воздушные сети применяют лишь на некоторых участках тыловой портовой территории для питания отдельных производственных и служебных помещений, а также наружного освещения по периметру портовой территории.

Кабельные сети прокладываются в земляных траншеях, либо в каналах в зависимости от конструкции причала, однако применение усовершенствованных покрытий из крупногабаритных бетонных или железобетонных плит затрудняет прокладку кабелей в траншеях, их последующий ремонт или замену. Для таких случаев предлагается прокладывать кабели в каналах, в туннелях (совместно с другими инженерными сетями), либо в специальной кабельной канализации. Устройство каналов и туннелей создает благоприятные условия для применения вместо кабельных линий шинных магистралей – шинопроводов. В докладе рассматриваются область использования и основные преимущества использования шинопроводов.

Наиболее распространенный способ подключения передвижных перегрузочных машин с помощью гибких шланговых кабелей к стационарно установленным электрическим колонкам имеет ряд неудобств эксплуатационного характера [2]. Электрические колонки загромождают территорию причалов, а гибкие кабели требуют довольно частой замены из-за быстрого износа и повреждений, являющихся причиной аварийных отключений. Этих недостатков можно избежать при устройстве троллейного способа питания для троллейных кранов и других перегрузочных машин.

Анализ показал, что все рассмотренные способы питания потребителей электрической энергии на причалах имеют свою область применения. В докладе приводятся основные факторы, определяющие выбор способа электроснабжения причалов. Отмечается, что выбор наилучшего варианта следует осуществлять на основе функционально-стоимостного анализа.

Источники

1. Шошмин В.А. Энергосбережение – идеология, меры и приложения на примере морских и речных портов // Электрика. 2010. № 5. С. 20–24.

2. Певзнер Е.М. Электрооборудование грузоподъемных кранов. М.: Россельхозакадемия, 2009. 360 с.

УДК 004.4:64

ПРИКЛАДНЫЕ IT-РЕШЕНИЯ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ СЕКТОРЕ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ПОДГОТОВКУ IT-СПЕЦИАЛИСТОВ

Юлия Владимировна Торкунова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

torkynova@mail.ru

Цифровизация энергетики, появление интеллектуальных систем учета и распределения электроэнергии предъявляют новые требования к подготовке специалистов IT-сферы. Дан обзор основных актуальных IT-направлений в электроэнергетике, а также обоснована необходимость использования в учебном процессе лаборатории интернет-сервисов.

Ключевые слова: интернет-сервисы**,** EnergyNet, подготовка IT-специалистов.

APPLIED IT SOLUTIONS IN THE ENERGY SECTOR AND THEIR INFLUENCE ON THE PREPARATION OF IT-SPECIALISTS

Julia Vladimirovna Torkunova

The digitalization of the energy sector, the emergence of intelligent metering and distribution systems for electricity pose new demands on the training of IT specialists. An overview of the main current IT areas in the electric power industry is given, and the need to use Internet services in the educational process of the laboratory is also justified.

Key words: Internet services, EnergyNet, training of IT-specialists.

Электроэнергетика является одной из приоритетных отраслей экономики, поскольку уровень ее развития влияет на надежность и качество обеспечения условий жизни всего населения страны.

В современном мире идет бурная цифровизация этой отрасли. Так, в рамках программы «Национальная технологическая инициатива» не так давно была утверждена дорожная карта EnergyNet, посвященная развитию рынка «умной» энергетики. Реализация мероприятий, заложенных в дорожной карте, позволит к 2035 г. создать в России рынок объемом

$40 млрд, а российские ИТ- и телекоммуникационные компании смогут занять достойное место на мировом рынке. Документ создавался под руководством первого заместителя министра энергетики Алексея Текслера и управляющего партнера Bright Capital Бориса Рябова. Под EnergyNet авторы документа понимают рынок оборудования, программное обеспечение, инжиниринговых и сервисных услуг для разномасштабных комплексных систем и сервисов интеллектуальной энергетики. «Лучшей метафорой для описания рынка является интернет энергии – экосистема производителей и потребителей энергии, которые беспрепятственно интегрируются в общую инфраструктуру и обмениваются энергией», – говорится в описании дорожной карты [1].

На сегодняшний день актуальными технологическими инновационными решениями в электроэнергетике являются:

• интернет-сервисы по мониторингу данных и показания приборов учета, IT-системы управления энергоданными, биллинг;

• автоматизированные системы диспетчерского управления.

• информационно-аналитические системы энергоменеджмента, нацеленные на правильное использование энергоресурсов;

• создание IT-инфраструктуры: модернизация серверных платформ, компьютерных систем в видеоконференцсвязи;

• эксплуатация информационных и телекоммуникационных систем, применение «необслуживаемого» энергоэффективного оборудования;

• управление техническим обслуживанием и ремонтами, материально-техническим обеспечением;

• создание систем, направленных на работу с клиентами электроэнергетических предприятий (CRM-системы) [2].

Очевидно, что подготовить специалистов, владеющих компетенциями в перечисленных областях, без достаточного оборудования и специализированного программного обеспечения практически невозможно.

Начальный уровень таких компетенций формируют следующие дисциплины: «Сети и телекоммуникации», «Администрирование корпоративных информационно-вычислительных сетей», «Информационные системы и сети», «Устройство и обслуживание локальных компьютерных сетей», «Установка и настройка аппаратных и программных средств доступа в сеть «Интернет», «Проектирование информационных систем», «Программные средства информационно-измерительных систем» и др.

Поэтому необходимо создание лаборатории интернет-сервисов, которая должна быть оборудована не только программным, но и аппаратным обеспечением. Хорошим примером в этом плане является лаборатория, оборудованная фирмой Danfoss, специализирующаяся в сфере автоматизации энергетических процессов лаборатория такой направленности позволяет изучать информационно-технологические системы, включая системы управления, телемеханики и связи, мониторинга и диагностики (интеллектуальные активно-адаптивные сети Smart Grid, цифровые подстанции и др.).

Источники

1. Королев И. НТИ: «Умная» энергетика – это шанс для российских ИТ- и телеком-компаний // CoNews. URL: http://www.cnews.ru/articles/2017-02-06_nti_umnaya_energetika_eto_shans_dlya_rossijskih_it_i_telekomkompanij (дата обращения: 28.07.18).

2. Цуприян В.В., Титова В.А. Применение современных информационных технологий в электроэнергетике // Студенческий научный форум – 2015: VII Междунар. студ. науч. конф. URL: https://scienceforum.ru/2015/article/2015009878 (дата обращения: 28.07.18).

УДК 621.313.333

МОДЕРНИЗИРОВАНИЕ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Альберт Камилович Фаляхов

ФГБОУ ВО «УлГТУ»

albert.falyahov@yandex.ru

Рассмотрена возможность создания энергоэффективных асинхронных двигателей без изменения поперечного сечения для регулируемых электроприводов.

Ключевые слова: асинхронные двигатели, электропривод, синтез системы, управление, модернизирование, исследования.

MODERNIZATION OF ASYNCHRONOUS MOTORS OF REGULATED ELECTRIC DRIVE

Albert Kamilovich Falyakhov

The possibility of creating energy-efficient asynchronous motors without changing the cross-section for adjustable electric drives is considered.

Key words: asynchronous motors, electric drive, system synthesis, control, modernization, research.

Несмотря на достаточно долгую историю развития железнодорожного транспорта, проблема формирования тяги остается для него ключевой. Связано это с особенностями свойств сцепления колеса с рельсовым полотном. В случае превышения моментом тяги предельного значения момента сцепления развивается процесс боксования – чрезмерного проскальзывания колес относительно рельса, что негативно сказывается на тяговых свойствах локомотива. В связи с этим конструирование регуляторов, позволяющих наиболее полно реализовать потенциальные свойства сцепления, ведет к повышению эффективности использования современных тяговых электроприводов.

Сложность указанной задачи состоит в необходимости высокоточного регулирования нелинейного тягового асинхронного электропривода (АЭП). Система «тяговый привод – колесная пара (КП)–путь» обладает единственным каналом управления угловой скоростью вращения колеса, воздействуя через который, необходимо поддерживать требуемую скорость движения состава и обеспечивать защиту от боксования. Следует учитывать, что поступательное движение состава может осуществляться только при наличии проскальзывания колеса относительно полотна рельса. Причем для поддержания режима максимальной тяги скорость скольжения необходимо держать в требуемом диапазоне, иначе в случае уменьшения величины скольжения ниже определенного значения реализовать максимальную тягу не представляется возможным, а в случае превышения критического значения развивается процесс боксования колес [1, с. 62].

Исследование скольжения колес относительно рельсового полотна подводит к необходимости учета различных внешних факторов, влияющих на качество сцепления, и детального рассмотрения процессов, происходящих в контакте «колесо-рельс». Последнему вопросу посвящено значительное количество публикаций. Тем не менее, несмотря на колоссальный объем работ, выполненных в данном направлении, вопросы наиболее эффективного формирования тяги в системе «тяговый привод–КП–путь», а также механизмы взаимодействия колеса с рельсом и их количественные характеристики остаются открытыми и занимают исследователей и в настоящее время [3, с. 58].

Большинство проводимых в этом направлении исследований посвящены определению величин коэффициента тяги конкретных типов локомотивов в зависимости от скорости движения. Эти характеристики традиционно используются при проведении тягово-эксплуатационных расчетов и рекомендуются машинистам при выборе силы тяги в различных режимах движения состава [2, с. 9]. Значительное число работ посвящено изучению коэффициента фрикционного взаимодействия колеса с рельсом: влиянию загрязнения

поверхности рельса, зависимости продольного и поперечного вращательного скольжения, свойств материалов колеса и рельса, а также влияния погодных условий на качество сцепления [4, с. 39].

Тем не менее на практике используются эмпирические зависимости силы сцепления от скорости движения состава для конкретных типов локомотивов [3, с. 46]. Значение момента тяги, которое необходимо поддерживать системой автоматического управления тягового электропривода локомотива, выбирается машинистом на основании визуальной оценки качества сцепления рельсового полотна либо автоматически, с использованием полученных ранее экспериментальных данных. Очевидно, что такой подход не позволяет реализовать режим максимальной тяги локомотива.

Для случая движения состава с постоянной скоростью наиболее распространенным способом защиты от боксования является следующая последовательность действий. Выделяются КП с наименьшей скоростью вращения, и ее частота вращения принимается за «эталонную». В случае, если скорость вращения остальных КП превышает «эталонное» значение, осуществляется сброс тяги для отдельных КП. Помимо этого отслеживают угловое ускорение КП. Если ускорение превышает обозначенную величину, подается сигнал о развитии процессов боксования, для предотвращения которых выполняется сброс тяги [2, с. 46]. Также существует возможность сравнения скорости вращения колеса и приведенного значения угловой скорости, принимаемого за эталонное и рассчитанное исходя из текущей поступательной скорости движения состава.

С другой стороны, в последние годы наблюдается интенсификация исследований, направленных на поиск путей рационального использования энергетических ресурсов и развитие соответствующих энергосберегающих технологий. Одним из массовых потребителей электрической энергии является железнодорожный транспорт. В этой связи проблема максимально эффективного потребления энергии в тяговом электроприводе локомотивов представляется весьма актуальной.

Проблема энергосбережения в железнодорожном транспорте имеет комплексное решение, то есть предполагает привлечение различных подходов, отражающих определенные аспекты функционирования электромеханических систем локомотивов в различных режимах движения. Одним из них является подход, предполагающий поиск законов (алгоритмов) для систем автоведения локомотивов, обеспечивающих оптимизацию энергетических процессов при реализации тяги подвижного состава.

В качестве тягового двигателя выбран асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором (АДКЗ), который обладает рядом преимуществ в сравнении с прочими. К ним относятся относительно низкая масса и высокий удельный КПД, простота конструкции, низкая стоимость обслуживания и ремонта и др. Тем не менее регулирование его координат представляется весьма непростой задачей, что определяется существенной нелинейностью и высокой размерностью дифференциальных уравнений его математической модели в разных режимах движения.

Распространенные в теории и практике законы управления АЭП с компенсацией нелинейностей и внутрисистемных связей основываются на принципах одноканального управления, так как один из каналов управления, например амплитуда напряжения статора, ставится в зависимость от другого (частоты питающего напряжения) [4, с. 138]. Естественно, что данный подход накладывает ограничения на реализацию таких важнейших характеристик АЭП, как диапазон регулирования, жесткость механической характеристики и т. д.

В настоящее время на первый план выдвигаются более сложные задачи анализа машины как элемента сложных замкнутых нелинейных электромеханических систем (ЭМС), оптимизируемых по тому или иному критерию. Здесь модель машины используется для поиска наиболее оптимальных режимов потребления, обеспечивающих также режимы работы для величин, контролируемых внешними воздействиями на машину. Последние превращаются из заданных в искомые функции времени и координат состояния системы, а модель – в инструмент синтеза ее управляющей части.

Для решения задачи синтеза законов векторного управления нелинейными АЭП в работе использованы принципы и методы синергетической теории управления (СТУ) [5, с. 50]. Совокупность критериев управления или набор желаний проектировщика системы в СТУ принято выражать в виде соответствующей системы инвариантов. При этом инварианты выступают как цель управления, на них обеспечивается выполнение заданной технологической задачи и (или) поддерживаются заданные энергетические (физические, химические и др.) соотношения, а процедура синергетического синтеза сводится к поиску законов управления, при которых эти заданные инварианты выполняются.

Основным методом синтеза систем управления СТУ является метод аналитического конструирования агрегированных регуляторов (АКАР) [3, с. 57]. При его использовании синтезируется закон управления, обеспечивающий перевод изображающей точки замкнутой системы из произвольного

начального состояния в окрестность вводимых притягивающих инвариантных многообразий – целевых аттракторов. Тем самым не только выполняется требуемый инвариант, но и обеспечивается асимптотическая устойчивость системы в целом.

АДКЗ при прямом пуске (без регулирования) имеют небольшой пусковой момент и значительный пусковой ток, что является существенным их недостатком. Поэтому их применяют в тех электрических приводах, где не требуются большие пусковые моменты.

С развитием силовой полупроводниковой техники получают распространение частотные преобразователи, которые позволяют плавно наращивать частоту питающего двигателя тока по мере пуска, а значит достигать большого пускового момента. Из достоинств следует отметить лёгкость в изготовлении и отсутствие электрического контакта с динамической частью машины, что гарантирует долговечность и снижает затраты на обслуживание. При специальной конструкции ротора, когда вращается в воздушном зазоре только полый цилиндр из алюминия, можно достичь малой инерционности двигателя.

Разновидностью АДКЗ, позволяющей ступенчато регулировать скорость, являются многоскоростные двигатели, в которых регулирование скорости производится изменением числа пар полюсов в статоре, для чего были разработаны специальные виды обмоток.

Именно АДКЗ из-за своих вышеперечисленных достоинств являются основным видом двигателей в промышленном электроприводе, применение остальных видов двигателей незначительно и носит узкоспециальный характер.

Источники

1. Андронов А.Л. Энергосбережение в системах водоснабжения средствами частотного регулирования электропривода // Электроэнергия и будущее цивилизации: матер. науч.-техн. конф. Томск, 2004. С. 251–253.

2. Сидельников Б.В. Перспективы развития и применения бесконтактных регулируемых электродвигателей // Энергосбережение. 2005. № 2. С. 14–20.

3. Петрушин В.С. Системный подход при проектировании регулируемых асинхронных двигателей // Электромеханика, электротехнологии и электроматериаловедение: труды 5-й междунар. конф. 2003. Ч. 1. С. 357–360.

4. ГОСТ Р 51677-2000. Машины электрические асинхронные мощностью от 1 до 400 кВт включительно. Двигатели. Показатели эффективности. М.: Изд-во стандартов, 2001. 4 с.

5. Вехтер Е.В. Выбор асинхронных двигателей повышенной мощности для обеспечения энергосбережения насосных агрегатов в ЖКХ // Современная техника и технологии: тр. 11-й Междунар. науч.-практ. конф. молодежи и студентов. Томск, 2005. Т. 1. С. 239–241.

УДК 621.398

АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ СКОРОСТИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОСТОЯННОГО ТОКА НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

Закир Исамеддин оглы Фархадов[1], Ильгама Рафик кызы Гудратли[2]

СГУ, г. Сумгаит

[1]Z.Farkhadov@gmail.com, [2]ms.ilhama77@mail.ru

Представлена нечеткая система регулирования скорости электропривода постоянного тока, учитывающая возможные нелинейности объекта. В данной статье предлагается система и алгоритм регулирования скорости электропривода постоянного тока с использованием теории нечетких множеств. Использование методов нечеткого управления позволило получить качественный переходный процесс без использования громоздких вычислительных процедур, характерных для классического метода управления.

Ключевые слова: нечеткий регулятор, система управления, электропривод постоянного тока.

AUTOMATIC REGULATION OF THE RATE OF ELECTRIC DRIVE OF CURRENT CURRENT BASED ON FUZZY LOGIC

Zakir Isameddin ogly Farhadov, Ilgam Rafik kyzy Gudratli

A fuzzy system for regulating the speed of a direct current electric drive is presented, taking into account possible nonlinearities of the object. This article proposes a system and algorithm for controlling the speed of a DC electric drive using the theory of fuzzy sets. The use of fuzzy control methods made it possible to obtain a qualitative transition process without the use of cumbersome computational procedures typical of the classical control method.

Key words: fuzzy regulator, control system, DC drive.

В настоящее время синтез и анализ нечетких регуляторов для управления технологическими процессами является актуальной задачей. До сих пор специалисты в области управления занимались лишь поиском процедуры управления объектом, когда и сам объект, и критерий управления им

были уже описаны в точных терминах. Лишь на последнем этапе развития теории автоматического управления (ТАУ) внимание специалистов переместилось на проблему идентификации объекта управления. С течением времени объекты управления развивались, становились более сложными, из-за чего типовые наработанные приемы стали неприменимы к нетрадиционным объектам управления. Нечеткое моделирование оказывается особенно удобным, когда при описании технических систем присутствуют некоторые неопределенности, которые существенно затрудняют применение точных количественных методов [1]. Появление формальной логики дало возможность работать с неопределенностями, расплывчивостью представления человеческих знаний, исключить неоднозначность. Возникла необходимость создания теории, позволяющей формально описывать нестрогие, нечеткие понятия и обеспечивающие возможность продвинуться в познании процессов рассуждений, содержащих такие понятия. Крупным шагом в этом направлении явился подход, основанный на использовании понятий нечеткого множества Л. Заде [2]. Этот подход позволяет дать строгое математическое описание в действительности расплывчатых утверждений, реализуя таким образом попытку преодолеть лингвистический барьер между человеком, суждения и оценки которого являются приближенными и нечеткими, и машинами, которые могут выполнять только четкие инструкции. На сегодняшний день системы, построенные на принципах нечеткой логики, находят свое применение во многих сферах человеческой деятельности, и области их использования постоянно расширяются. Одним из направлений развития нечетких систем является построение регулятора, использующего систему нечеткого вывода.

Рассмотрим синтез такого регулятора, объектом управления в котором является электропривод постоянного тока независимого возбуждения.

Целью работы является оценка возможности применения методов нечеткого управления для регулирования скорости электропривода постоянного тока.

Для построения нечеткой системы управления необходимо задаться критерием регулирования. В данном случае за критерий регулирования возьмем быстродействие системы, которое зависит от ошибки регулирования. Подойдем к процессу настройки регулятора как к слабо формализованной проблеме. В таком случае ошибка регулирования должна отвечать следующим требованиям.

1. Выходить на ноль в установившемся режиме.

2. Обладать высокой динамичностью, то есть время регулирования должно быть наименьшим.

3. Иметь максимально низкое перерегулирование или не обладать им вовсе.

По этим принципам и будем настраивать контроллер.

Среди систем автоматического управления скоростью двигателя постоянного тока наибольшее распространение получили системы, в которых скорость регулируется изменением напряжения на якоре двигателя за счёт управляемого электрического преобразователя. Объект регулирования представляет собой электропривод постоянного тока с независимым возбуждением. На схеме (рис. 1) представлен двигатель с независимым возбуждением, который получает питание от управляемого преобразователя, в данном случае – реверсивный тиристорный преобразователь. Согласование номинальных значений питающей сети и тока якоря двигателя обеспечивается трансформатором. При необходимости условий коммутации в сторону улучшения тока якоря двигателя за счет ограничения скорости его изменения в цепи якоря двигателя устанавливается дроссель, который кроме этого позволяет сгладить пульсации тока якоря, что, в конечном счете, способствует уменьшению вибрации и шума в двигателе.

Структурная схема автоматического регулятора скорости приведена на рис. 1, где *1* – тиристорный преобразователь, *2* –якорь двигателя постоянного тока, *3* – тахогенератор, *4* – обмотка возбуждения, *5* – сглаживающий дроссель, *6* – датчик скорости, *7* – датчик тока, 8 – вычислительный блок «динамика» и нечеткий регулятор структура технической реализации которого выделена пунктиром.

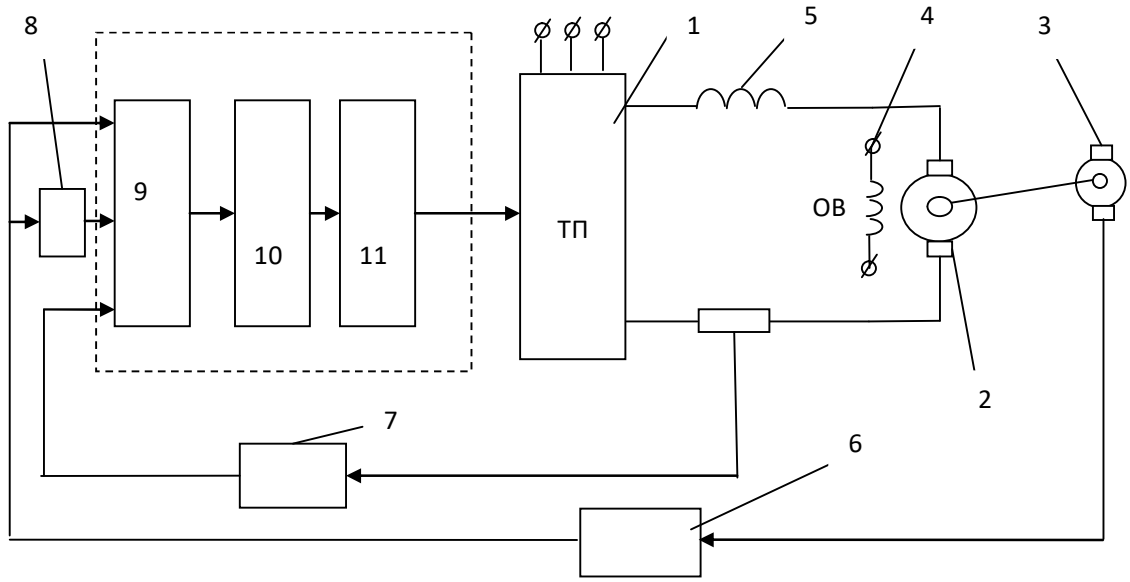


Рис. 1. Структурная схема автоматического регулятора скорости

Последний включает фаззификатор *9*, предназначенный для трансформации четких сигналов в нечеткие множества; таблицу лингвистических правил (ТЛП) *10*, совокупность нечетких правил, описывающих нечеткое отношение между входными и выходными параметрами контроллера; дефаззификатор *11*, где полученное нечеткое значение после дефаззификации в виде четкого управляющего воздействия поступает на тиристорный преобразователь. Структурная схема электропривода построена с учетом ряда допущений: регулировочная характеристика управляемого преобразователя – линейная, ток в якорной цепи непрерывный, момент инерции, приведенный к валу двигателя – постоянен, инерционность датчиков скорости и тока не учитываются.

Для работы нечёткого контроллера использовались следующие лингвистические переменные [3].

1. На входе контроллера.

Скорость двигателя постоянного тока (рис. 2).

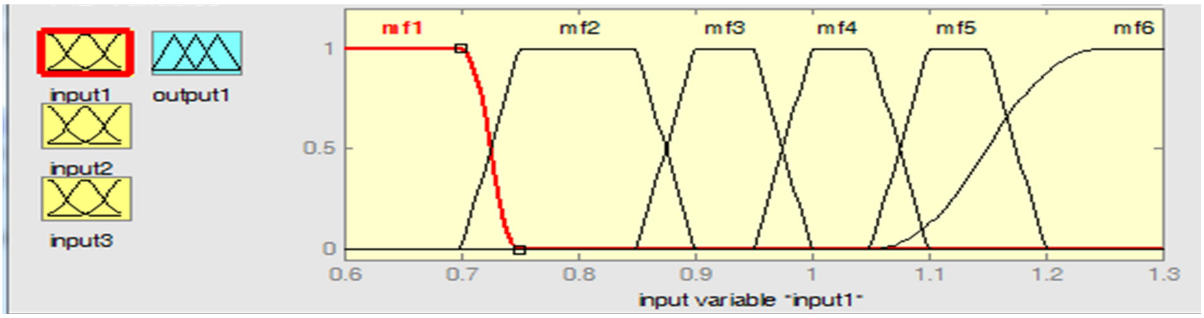


Рис. 2. Нечеткие значение переменной «Скорость»

Текущее значение тока в цепи якоря (рис. 3).

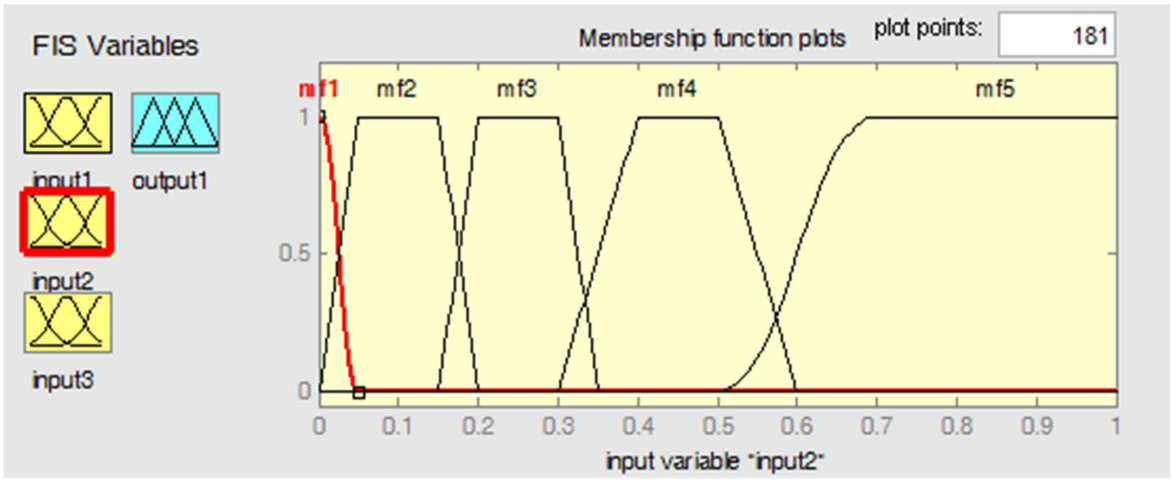


Рис. 3. Нечеткие значение переменной «Тока»

Динамика изменения скорости (производная скорости) (рис. 4).

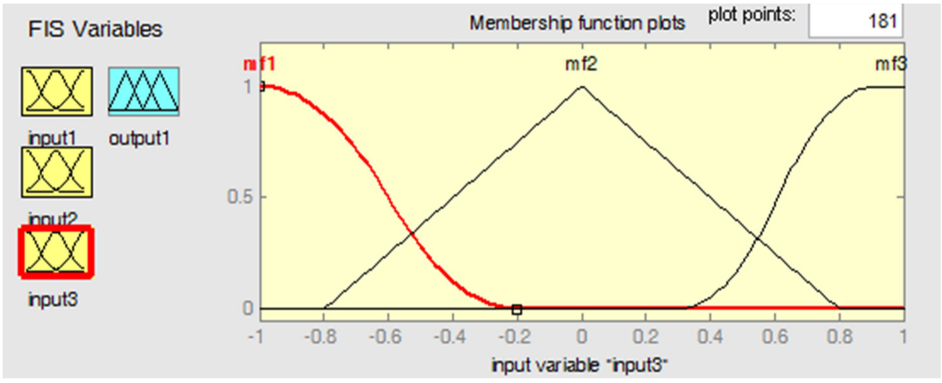


Рис. 4. Нечеткие значения переменной «Динамика»

2. С выхода контроллера снимались значения следующих лингвистических переменных (выходные переменные).

Напряжение на выходе тиристорного преобразователя (рис. 5).

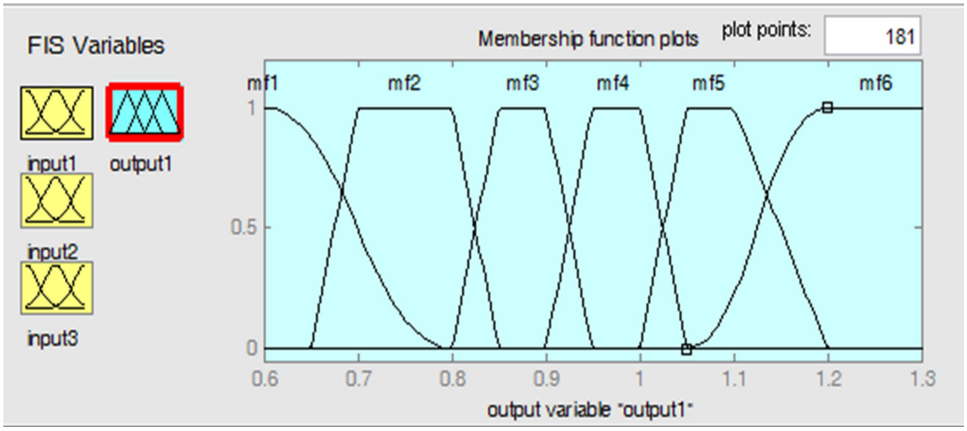


Рис. 5. Нечеткие значение переменной «Напряжение»

В процессе работы были опробованы различные варианты работы контроллера. Проверялась целесообразность применения тех или иных лингвистических переменных, в частности, переменной «Динамика» (производная изменения скорости).

По вышеприведенным переменным были составлены правила нечеткого вывода для данной системы при низкой скорости вращения двигателя («Очень низкое», «Низкое») напряжение на выходе тиристорного преобразователя должно соответствовать значению напряжения «Высокое» или «Очень высокое». В тех случаях, когда скорость примерно равна номинальному значению («Нормальное»), скорость двигателя не регулируется.

Отдельно были рассмотрены действия контроллера при аварийных ситуациях, а именно – при коротких замыканиях. В этих случаях необходимо заблокировать работу электропривода. В таких ситуациях лингвистическая переменная «Скорость» принимает значение «Аварийное» и с выхода контроллера снимается сигнал «Стоп». Ниже приведены полученные правила.

1. «Если скорость очень низкая, ток очень маленький и динамика отрицательная, напряжение очень высокое.

2. Если скорость низкая, ток маленький и динамика нулевая, тогда напряжение высокое.

3. Если скорость высокая, ток небольшой и динамика положительная, тогда напряжение очень низкое и т. д.

В процессе работы исследуемой модели были получены переходные процессы скорости моделей электропривода постоянного тока с нечеткими и классическими регуляторами (рис. 6). Анализируя результат моделирования и сравнивая его с классической системой управления электропривода, можно отметить, что система устойчива. Перерегулирование в нечеткой системе управления меньше, чем в системе с классическим управлением. Время переходного процесса сокращено до $t_{\text{п.п}} = 0{,}03$ с, а в установившемся режиме переходный процесс по скорости выходит на значение $\omega = 151{,}7$ с$^{-1}$. Таким образом, ошибка регулирования отсутствует ($\Delta_x = 0$), следовательно, нечеткий контроллер работает адекватно.

В результате исследований было получено, что нечеткий контроллер в большинстве случаев совершает меньшее количество переключений. В результате этого надежность функционирования электропривода постоянного тока повышается. В некоторых случаях при медленных изменениях нагрузки нечеткий контроллер совершает такое же количество переключений, что и классический, однако при этом скорость поддерживается лучше. Стоит также отметить, что устройства на основе нечеткой логики сравнительно легко и просто могут перепрограммироваться под текущие нужды. Процедура добавления новых функциональных возможностей проста и не сложна. Поэтому добавление новых функций в случае возникновения такой надобности не представляет сложности.

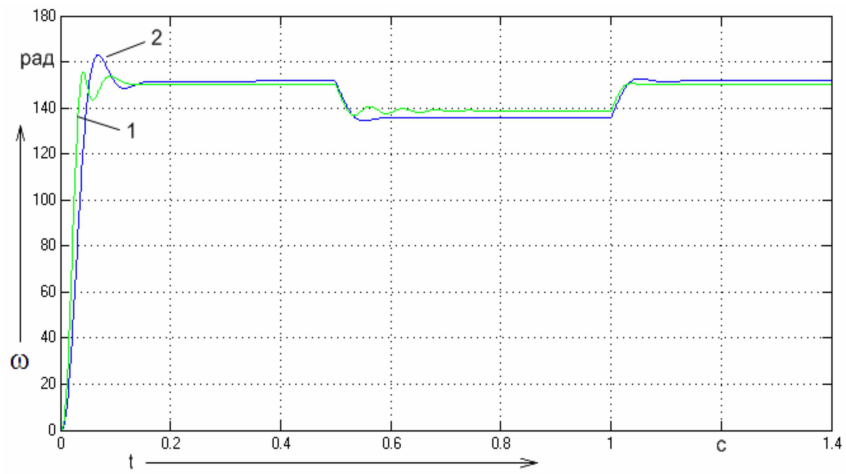


Рис. 6. Переходные процессы скорости моделей электропривода постоянного тока с нечеткими (*1*) и классическими (*2*) регуляторами

Результаты моделирования наглядно показывают правомерность применения нечетких логических регуляторов. Полученная система обладает лучшим быстродействием, чем система с классическими регуляторами. Использование методов нечеткого управления позволило получить качественный переходный процесс без использования громоздких вычислительных процедур, характерных для классического метода управления.

Источники

1. Поспелов Д.А. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта. М.: Наука, 1986. 312 с.

2. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений / пер. с англ. Н.И. Ринго; под ред. Н.Н. Моисеева и С.А. Орловского. М.: Мир, 1976. 165 с.

3. Леоненко А.В. Нечеткое моделирование в среде МАТЛАБ и fuzzyTECH. СПб.: БХВ – Петербург, 2003. 736 с.

УДК 621.316.11

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ АЛГОРИТМА РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМОВ РАБОТЫ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ

Ха Дык Нгуен[1], Ильгиз Миргалимович Валеев[2]

[1]ФГБОУ ВО «КНИТУ», [2]ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

[1]ducnguyen2018@yandex.ru, [2]ilgizvaleev@yandex.ru

В данной работе предложен усовершенствованный алгоритм реконфигурации сложнозамкнутой распределительной электрической сети (ЭС) по снижению потерь активной мощности. Полученные результаты расчетов для распределительной сети позволили составить алгоритм для составления новой реконфигурации, в сочетании с оптимизацией местоположения и мощности источника.

Ключевые слова: эвристический алгоритм, распределение потока мощности, реконфигурация потери мощности.

PERFECTION OF THE ALGORITHM OF THE CALCULATION OF THE PARAMETERS OF THE MODES OF THE DISTRIBUTIVE NETWORK

Ha Dyk Nguyen, Ilgiz Mirgalimovich Valeev

This paper proposes an improved algorithm for reconfiguring a complex-closed distribution electrical network (ES) to reduce active power losses. The results of calculations for the distribution network allowed us to create an algorithm for the compilation of a new reconfiguration, in combination with the optimization of the location and power of the source.

Key words: heuristic algorithm, power flow distribution, power loss reconfiguration.

Распределительные электрические сети обычно снабжают потребителей низкими и средними напряжениями (подключаются к высоковольтным системам передачи). Суммарная потеря мощности в линиях распределительной сети высока из-за низкого напряжения и высокого тока по сравнению с сетью высокого напряжения, что, в свою очередь, вызывает увеличение стоимости электроэнергии и низкого профиля напряжения вдоль распределителя [1].

Задача снижения потерь мощности ΔP и повышения энергоэффективности системы электроснабжения в основном идет на распределение электроэнергии [1, 2]. Сообщается, что до 13 % всей генерируемой мощности теряются в виде потерь мощности на уровне распределения [1]. Возможности радиальной распределительной схемы ограничены, поэтому необходимо рассмотреть некоторые альтернативные методы, чтобы обеспечить будущие потребности в нагрузке, обеспечивающие качество и надежность поставок.

Распределительные сети состоят из соединительных и секционных выключателей. Связующие выключатели обычно открыты, а выключатели секционирования обычно закрыты. Открывая и закрывая эти коммутаторы, распределительная сеть может быть реконфигурирована. Эта реконфигурация может быть выполнена с целью минимизации потерь, балансировки нагрузки и т. д. Чтобы получить возможные результаты, реконфигурация должна удовлетворять некоторым ограничениям, таким как законы напряжения и тока Кирхгофа, другие ограничения равенства и неравенства. Реконфигурация ретрансляционной сети является проблемой оптимизации и требует подходящего алгоритма (метода).

Рассмотрим простую сеть распределения, состоящую из одного источника и замкнутого контура на ветви *MN*, как показано на Рис .1. (или на ветви *MN* с $I_p^{MN} = 0$ и $I_q^{MN} = 0$). Необходимо определить выключатель [3], чтобы открыть (по схеме) и свести к минимуму потери мощности (открытый выключатель может включать выключатель с открыванием).

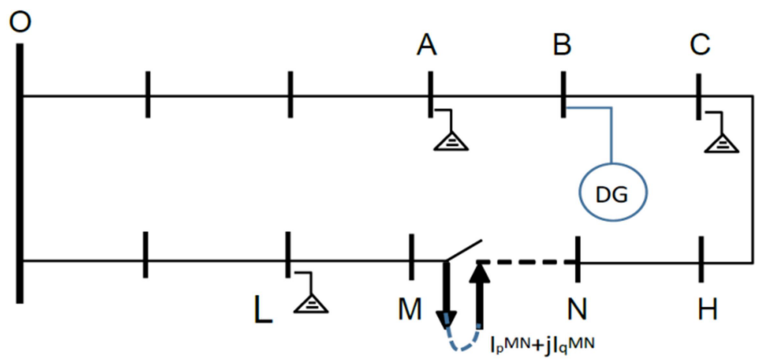


Рис. 1. Эксплуатация для открытия/закрытия распределения нагрузки

Для определения функции ΔP в зависимости от величины выдаваемой мощности или потока мощности можно использовать метод инжекции/поглощениия на открытом выключателе на ветви MN с тем же током I^{MN}.

Чтобы свести к минимуму потери мощности в сети, согласно [4], необходимо найти значения I_p и I_q в соответствии с условием:

$$\frac{\partial \Delta P}{\partial I_p^{MN}} = 0; \tag{1}$$

$$\frac{\partial \Delta P}{\partial I_q^{MN}} = 0, \tag{2}$$

или

$$I_{p,j}^{MN} = \frac{-A_{ij}\sum_{i=1}^{N} I_{p,i}R_i}{R_j^{\kappa,MN}}; \tag{3}$$

$$I_{q,j}^{MN} = \frac{-A_{ij}\sum_{i=1}^{N} I_{q,i}R_i}{R_j^{\kappa,MN}}. \tag{4}$$

В общей распределительной сети целевая функция определяется следующим образом:

$$f_{(\Delta P)} = \sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N}\frac{S_{ij}}{U_i^2}R_{i,j} \to \min. \tag{5}$$

Со следующими ограничениями, подходящими для условий оптимизации:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^{N} S_{ij} = S_j; \\ S_{ij} \le S_{ij\max}; \\ \Delta U_{ij} \le \Delta U_{ij\max}, \end{cases} \tag{6}$$

где N – количество узлов в сети; $R_j^{\kappa,MN}$ – сопротивление ветви с открытым выключателем MN на j-м контуре; A_{ij} – показатель описывает направление отношений между j-м контуром и i-й ветвью со значениями –1, 0, +1 соответственно, обратными, нереляционными и одинаковыми); S_{ij} – поток

мощности в рассматриваемом участке ij, кВА; S_j – общая потребляемая мощность j-го узла, кВА; ΔU_{ij} - падение напряжения в рассматриваемом участке ij, кВ.

Проблемой реконфигурации РС является минимизация многоточечной функции $f_{\Delta P}$ по (5), которая представляет собой задачу дискретного нелинейного планирования. Поэтому, если алгоритм недостаточно силен, решение проблемы будет ограничиваться поиском локальных минимумов. В частности, если сеть имеет несколько контуров и вложенных контуров, рассчитанный объем будет очень большим и не может найти оптимальную точку.

Чтобы решить эту проблему, необходимо построить полный алгоритм поиска, который является достаточно мощным, применимым в любой конфигурации сложной сети распределения на практике.

Положим, $G = \sum\left(\alpha_{p,j}^2 + \beta_{q,j}^2\right), j = \overline{1,K},$ где

$$\begin{cases} \alpha_{p,j} = I_{p,j}^{MN}.R_j{}^{\kappa,MN} = -A_{ij}\sum_{i=1}^{N} I_{p,i}R_i; \\ \beta_{q,j} = I_{q,j}^{MN}.R_j{}^{\kappa,MN} = -A_{ij}\sum_{i=1}^{N} I_{q,i}R_i. \end{cases} \quad (7)$$

Целевая функция по уровню увеличения потери мощности G:

$$G = \sum_{j=1}^{K}\left[(I_{p,j}^{MN}R_j^{\kappa,MN})^2 + (I_{q,\mathrm{j}}^{MN}R_j^{\kappa,MN})^2\right] = \sum_{j=1}^{K}(I^{MN}R_j^{\kappa,MN})^2 \to \min, \quad (8)$$

где «к» – количество контуров в сети.

Таким образом, операционная структура распределенной сети имеет наименьшие потери мощности, если найти значение функции G, наименьшее по распределению разомкнутой сети.

Предыдущие исследования часто были направлены на уменьшение функции $\Delta P = I^2R$ или для того, чтобы найти ветвь, имеющую наименьший ток. Функция G имеет смысл в качестве критерия сравнения, поэтому поиск конфигурации распределительной сети с увеличением ΔP по крайней мере был поставлен на проблему определения функции увеличения потерь мощности (функция G) в распределительной сети. Это позволяет алгоритму более сильным и быстрым в поиске оптимальных конфигураций с наименьшей уровню потери мощности в замкнутой электрической сети.

Методы реализации для самых маленьких значений функции G следующим образом:

В случае сложных распределительных сетей, после решения проблемы распределения потока мощности; Если наименьший ток в этом контуре не является выключателем MN (при условии, что наименьший ток протекает через любой выключатель NH), разница в точке, протекающем через MN и NH (рис. 1), является максимальным значением по сравнению с остальными замкнутыми контурами, тогда открыто выключателя дает значение ΔP с увеличением по крайней мере. Чтобы минимизировать функцию G, можем заменить значения $I_{p,j}^{MN}$ и $I_{q,j}^{MN}$ на $I_{p,j}^{NH}$ и $I_{q,j}^{NH}$ в том же контуре j со значением сопротивления контура $R_j^{\text{к}}$ в (1), тогда

$$\Delta G_j = \left(R_j^{\text{к},MN}\right)^2 \left[\left(I_j^{MN}\right)^2 - \left(I_j^{NH}\right)^2\right]. \tag{9}$$

• Из-за сложного ЭС существует множество вложенных контуров, которые должны быть рассчитаны для k независимых контуров. Первый открытый контур является имеющим наибольшим снижения ΔG по сравнению со всеми другими контурами.

• В i-м вложенным контуром (при условии, что после закрытия выключателя для образования замкнутый контур). Если выключателем протекает наименьший ток, соответствует открытому выключателю, необходимо сохранить его. Продолжайте открывать эту ветвь и вычисляйте увеличение потерь мощности.

• Процесс повторяется до тех пор, пока в распределительной сети не будет больше замкнутых контуров.

Для оптимизации режима работы распределительной сети по выбранной целевой функции (8), и (9) предлагается осуществить следующий алгоритм действий, разделен на два процесса, показана на рис. 2.

Учитывая электрическую распределительную сеть, состоит из 16 узлов и 21 ветви; 6 открытых переключателей; существует два генератора РГ, подключенных к сети, предложенные Г. Целли [3], описана на рис. 3. Номинальное напряжение сети составляет 6 кВ.

Процесс поиска реконфигурации ЭС для наименьшего ΔP (здесь предположим, что график нагрузки узлов следует за общим графиком нагрузки системы, а узлы вычисляются для максимальной нагрузки). Результаты поиска конфигурации будут сравниваться с результатом работы [3] и [5] для проверки преимущества алгоритма.

1. Исходная распределительная сеть [3] является радиальной структурой и имеющие открытые выключателей (21, 17, 18, 20, 10, 19). Исходная потерь мощности рассчитываются $\Delta P = 171{,}6$ кВт.

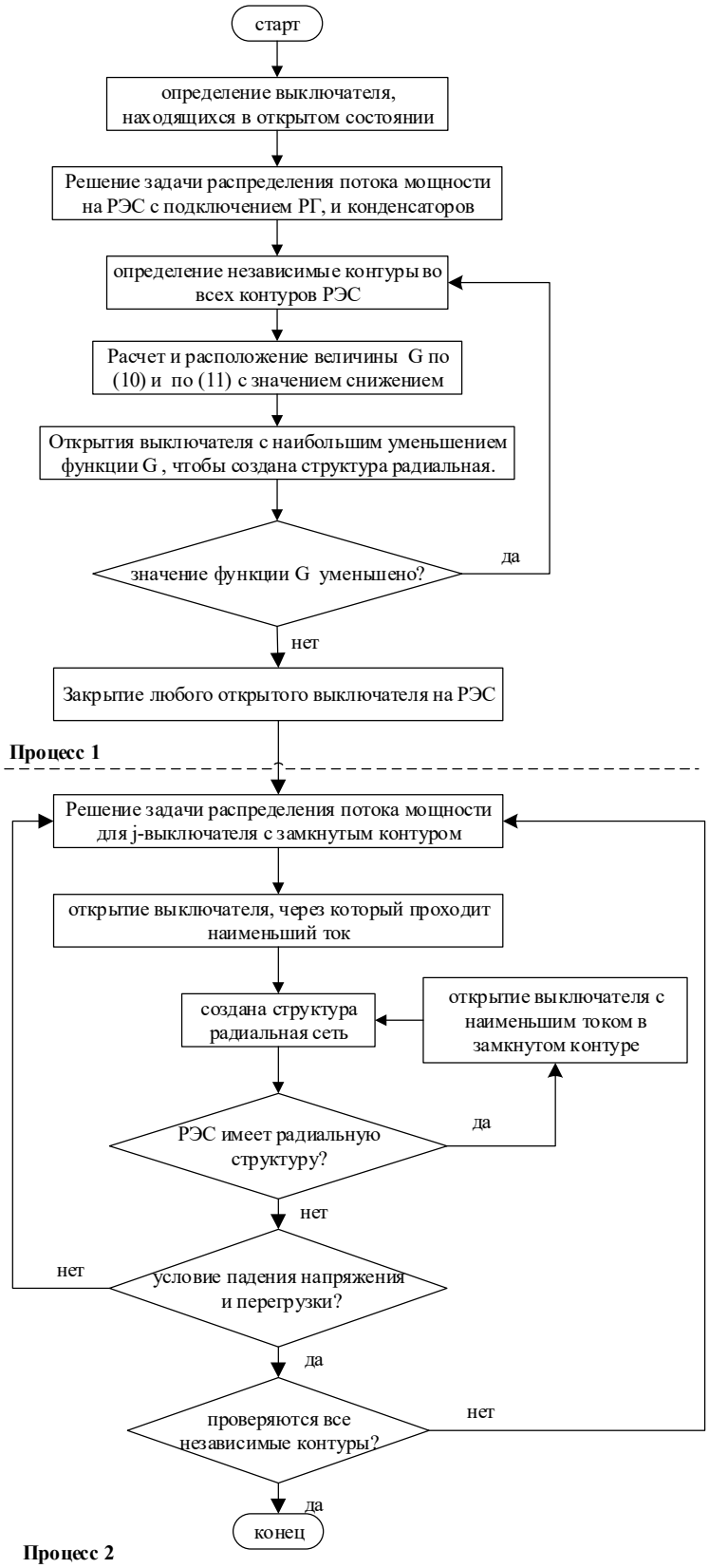


Рис. 2. Алгоритм реконфигурации ЭС

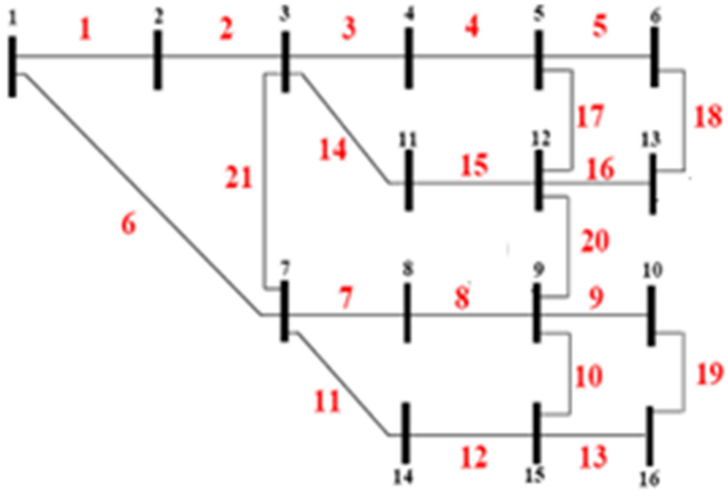


Рис. 3. ЭС – 16 узлов (IEEE) [3]

2. Выполнение закрытия всех выключателах на распределительной сети, решение задачи распределения потока мощности. Имеются 6 независимых контуров ($К_j$) на ЭС, проходящие через выключателями, включая: К1 (1, 2, 21, 6), К2 (3, 4, 17, 15, 14) , К3 (3, 4, 5, 18, 16, 15, 14), К4 (14, 15, 20, 8, 7, 21), К5 (7, 8, 10, 12, 11), К6 (7, 8, 9,19, 13, 12, 11).

3. После решения задачи распределения потока мощности в замкнутыми контурами, вычисление значения функции G и ΔG на первом процессе в соответствии с предлагаемым алгоритмом. Значение функции G изменяется ($\Delta G_1 = 18\,342$) после первого процесса при рассмотрении независимого контура К1 (закрыт В21 и открыт В2). Значение функции G продолжает изменяться на второго процесса ($\Delta G_1 = 25{,}49$) при рассмотрении контура К3 (закрыт В18 и открыт В16). Другие независимые контуры не меняются ΔG. Потери мощности на первом процессе в это время: $\Delta P_{П} = 92{,}3$ кВт.

4. В конце первого процесса открытые выключатели находятся в открытом состоянии (2, 10, 16, 17, 19, 20) (табл. 1). Выполнение второго процесса, конфигурация распределительной сети имеет открытые выключатели (2, 10, 16, 17, 19, 20). В свою очередь, решиение задачи распределения потока мощности при закрытии каждого выключателя, и открытии выключателя с протекающими наименьшими токами.

Выполнение реконфигурацию распределительной сети согласно предлагаемому алгоритму при подключении к распределенными генераторами. После моделирования на типовой ЭС и сравнения с алгоритмам в работе [5] суммированы в таблице .2. Заметит, что предлагаемый алгоритм приводит к лучшему (снижение уровня потерь мощности составляет 46,2, и 36 % по сравнению с [5]).

Таблица 1

Процесс реконфигурация ЭС – 16 узлов без подключения с РГ

Ветвь	Узел-узел	$R_j(\Omega)$	Ток на ветви в замкнутом контуре, А											
			Процесс 1						Процесс 2					
			К1	К2	К3	К4	К5	К6	К1	К2	К3	К4	К5	К6
1	1-2	0,437	69,0			69,0			69,0			69,0		
2	2-3	0,515	38,3			38,3			**38,3**			38,3		
3	3-4	0,062		55,1	55,1					55,1	55,1			
4	4-5	0,13		36,3	36,3					36,3	36,3			
5	5-6	0,156			12,9						12,9			
6	1-7	0,106	326,9			326,9			326,9			326,9		
7	7-8	0,205				97,4	97,4	97,4				97,4	97,4	97,4
8	8-9	0,52				50,7	50,7	50,7				50,7	50,7	50,7
9	9-10	0,359						10,3						10,3
10	9-15	0,307					6,6						**6,6**	
11	7-14	0,251					71,6	71,6					71,6	71,6
12	14-15	0,426					61,8	61,8					61,8	61,8
13	15-16	0,166						37,7						37,7
14	3-11	0,364		66,7	66,7	66,7				66,7	66,7	66,7		
15	11-12	0,411		42,3	42,3	42,3				42,3	42,3	42,3		
16	12-13	0,286			8,7						8,7			
17	5-12	0,198		12,2						**12,2**				
18	6-13	0,328			8,2						**8,2**			
19	10-16	0,01						5,6						5,6
20	9-12	0,374				27,3						**27,3**		
21	3-7	0,127	120,6						120,6					
Ветви в состоянии открытые			21	17	18	20	10	19	2	17	18	20	10	19
Ветви, в котором $I^{\circ}_{\min}$, А			2	17	16	20	10	19	2	17	16	20	10	19
$R^{\circ}_{j}{}^{к}(\Omega)$			1,843	1,165	1,737	2,932	1,710	1,938	1,843	1,165	1,737	2,107	1,710	1,938
Уровень снижения ΔG			18342	0	25,49	0	0	0	0	0	25,49	0	0	0
Подбор пары выключателя			21/2						Конец процесса реконфигурации ЭС					

Таблица 2

Результат реконфигурация РЭС – 16 узлов

№	Открытые выключатели	ΔP, кВт	Уровень снижения ΔP, %	Алгоритм
1	2, 8, 9, 15, 16, 20	144,17		Г. Целли [3]
2	2, 17, 16, 20, 10, 19	92,3	36 %	Предлагаемый алгоритм

Предлагаемый метод был протестирован в сетевой сети и сравнен с другими методами с тем же набором данных [5], который показал достоверные и точные результаты исследований.

Предлагаемый алгоритм подходит для онлайн-работы распределительной сети на основе сравнения отклонения с коммутационной стоимостью. Когда есть информация о прогнозе нагрузки, а также процент дополнительной промышленной нагрузки и времени перераспределения нагрузки помогут контроллеру электроэнергии решить изменить конфигурацию распределительной сети или нет.

Источники

1. Герасименко А.А., Нешатаев В.Б. Оптимальная компенсация реактивной мощности в системах распределения электрической энергии: монография. Красноярск: СФУ, 2012. 218 с.

2. Мусаев Т.А. Повышение эффективности методов управления режимом работы системы электроснабжения городского района: автореф. дис. … канд. техн. наук. Чебоксары, 2015. 20 с.

3. Celli G., Loddo M., Pilo F. and Abur A. On-line network reconfiguration for loss reduction in distribution networks with Distributed Generation // CIRED 2005: 18th International Conference and Exhibition on Electricity Distribution. Turin, Italy, 2005. P. 1–4.

4. Broadwater R.P., Khan A.H., Shaalan H.E., and Lee R.E. Time varying load analysis to reduce distribution losses through reconfiguration // IEEE Trans. Power Deliv. 1993. Vol. 8, № 1. P. 294–300.

5. Wazir A. and Arbab N. Analysis and Optimization of IEEE 33 Bus Radial Distributed System Using Optimization Algorithm // JETAE. 2016. Vol. 1, № 2. P. 2518–4059.

УДК 621.311.243

ПРИМЕНЕНИЕ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ ПРИ РЕШЕНИИ ПРОБЛЕМ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ

Азат Назипович Хуснутдинов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

khusnutdinov.an.kgeu@mail.ru

В статье рассмотрен способ энергосбережения и энергообеспечения зданий топливно-энергетического комплекса (ТЭК) и жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ) с помощью гибрида солнечного коллектора и фотоэлектрической панели.

Ключевые слова: солнечная энергия, солнечный коллектор, фотоэлектрическая панель, сбережение электроэнергии.

APPLICATION OF SOLAR ENERGY IN SOLVING THE PROBLEM OF ENERGY

Azat Nazipovich Khusnutdinov

The article describes the method of energy saving and energy supply of buildings of the fuel and energy complex (FEC) and housing and communal services (Housing and Public Utilities) using a hybrid solar collector and photovoltaic panel.

Key words: solar energy, solar collector, photovoltaic panel, energy saving.

На сегодняшний день в ТЭК и ЖКХ наиболее актуальна проблема экономии, сохранения и сбережения электроэнергии, а также переход на возобновляемые и экологически чистые источники энергии. Существует большое количество экологичных и экономичных источников энергии [1]. Рассмотрим решение проблемы энергосбережения и энергоснабжения на примере солнечного коллектора и фотоэлектрической панели.

Солнечный коллектор – устройство для сбора тепловой энергии Солнца (гелиоустановка), переносимой видимым светом и ближним инфракрасным излучением. Различают вакуумный и плоский солнечный коллектор. Он состоит из поглотителя, жидкости-теплоносителя, и пропиленгликоля (40 %), труб для переноса жидкости-теплоносителя, бойлера, теплообменника с окружающей средой.

Коллектор поглощает солнечное излучение и превращает его благодаря поглотителю в тепло. Тепло поглощается жидкостью-теплоносителем, затем насосом гонится по трубам в поглотитель, где тепло по теплообменнику передается на хозяйственные нужды. Также существует вариант гибрида солнечного коллектора и фотоэлектрической панели, что позволяет снабжать здание не только теплом, но и электричеством.

Солнечный коллектор позволяет собирать тепло в любую погоду и любое время года. Летом количество теплоты будет значительно больше, чем зимой. В зимнее время лучше использовать вакуумные коллекторы, потому что они способны поддерживать температуру до +30 °С и выше, отдавая ее в отопительную систему. Фотоэлектрические панели, имеющие коэффициент полезного действия 40–45 %, способны обеспечить электрическим током небольшие здания, частные жилые дома.

Таким образом, солнечные коллекторы в совместимости с фотоэлектрической панелью являются надежной и высокопроизводительной заменой обычным источникам тепла и электроэнергии, несмотря на высокую начальную стоимость.

Источники

1. Khusnutdinova E.M., Konakhina I.A., Khamidullina G.R. Hybrid Technologies in District Heating Systems // IOP Conference. 2016. Vol. 134, Is. 1. (Ser. “Materials Science and Engineering”).

УДК 621.3.017:681.5

АВТОМАТИЗАЦИЯ КОММЕРЧЕСКОГО УЧЕТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ КАК СРЕДСТВО СНИЖЕНИЯ КОММЕРЧЕСКИХ ПОТЕРЬ

Азат Назипович Хуснутдинов

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

khusnutdinov.an.kgeu@mail.ru

Один из главных показателей эффективной деятельности энергосистемы жилищно-коммунального хозяйства – уровень коммерческих потерь в электрических сетях. Эти потери являются прямым следствием недоучета и хищений электроэнергии. Большинство способов хищений электроэнергии базируется на несовершенстве приборов учета.

Ключевые слова: коммерческие потери, жилищно-коммунальное хозяйство, электроэнергия, система коммерческого учета.

AUTOMATION OF COMMERCIAL ACCOUNTING OF ELECTRIC ENERGY AS A MEANS OF REDUCING COMMERCIAL LOSSES

Azat Nazipovich Khusnutdinov

One of the main indicators of the efficient operation of the energy system of the housing and utilities sector is the level of commercial losses in electrical networks. These losses are a direct consequence of underreporting and theft of electricity. Most methods of electricity theft based on the imperfection of metering devices.

Key words: commercial losses, housing and communal services, electricity, commercial accounting system.

Затрудненный доступ к счетчикам для сверки показаний или для проверки их технического состояния – основная проблема предприятий электросети. Для решения данной проблемы внедряется автоматизированная информационно-измерительная система коммерческого учета электроэнергии (АИИС КУЭ) – комплекс технических, программных и организационных решений, позволяющих потребителю вести учет потребления электроэнергии в соответствии с требованиями современных нормативных документов и положений в энергетической отрасли [1]. Благодаря техническим особенностям АИИС КУЭ позволяет свести к минимуму факты хищений электроэнергии.

Одним из наиболее эффективных мероприятий является модернизация приборов учета электроэнергии, которая напрямую влияет на более качественное измерение отпущенной электроэнергии и снижение составляющей потерь. Современные приборы учета опорной установки отвечают данному требованию [2].

Автоматизированная информационно-измерительная система коммерческого учета электроэнергии позволяет существенно снизить составляющую коммерческих потерь, обнаружить потребителя, который систематически не доплачивает за потребленную электроэнергию. А также вести анализ и расчет баланса отпуска в сеть, полезного отпуска и потерь электроэнергии на расчетный день и час. Анализ работы системы учета показал, что модернизация сетей снизила коммерческие потери, потребление электроэнергии снизилось до уровня, соответствующего платежному балансу. Кроме того, снижение отпущенной в сеть электроэнергии существенно улучшило ее качество.

Источники

1. Мясоедов Ю.В. Повышение точности учета электроэнергии в сетях энергосистем и предприятий: монография. Благовещенск: АМГУ, 2003. 195 с.

2. Тимшина Д.В. Автоматизация оперативно-диспетчерской службы при внедрении автоматизированной системы коммерческого учета электроэнергии // Труд и социальные отношения. 2018. № 5. С. 140–149.

УДК 621.3.089

ПРИБОР ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ВАТТМЕТРГРАММ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Алексей Николаевич Цветков[1], Оксана Викторовна Цветкова[2],
Анастасия Алексеевна Цветкова[3]

[1,2]ФГБОУ ВО «КГЭУ», [3]СОШ34

[1,2,3]tsvetkov9@mail.ru

В статье рассмотрены вопросы объективной оценки технического состояния электрооборудования напряжением до 1000 В. Предложен прибор, позволяющий получать ваттметрграммы по всем трем фазам питания. Описан алгоритм вычисления среднеквадратичного значения напряжения и тока.

Ключевые слова: оценка технического состояния, ваттметрграмма, прибор, микроконтроллер, истинное среднеквадратичное значение.

DEVICE FOR CONSTRUCTING ATTMETRGRAMS OF ELECTRIC EQUIPMENT OF ELECTRICAL POWER SUPPLY SYSTEMS

Alexey Nikolaevich Tsvetkov, Oksana Viktorovna Tsvetkova,
Anastasia Alekseevna Tsvetkova

The article deals with the issues of an objective assessment of the technical condition of electrical equipment with a voltage of up to 1000 V. A device has been proposed that allows one to obtain wattmetergrams for all three phases of supply. An algorithm for calculating the RNS value of voltage and current is described.

Key words: technical condition assessment, wattmetergram, device, microcontroller, true RMS value.

В настоящее время существует проблема объективной оценки технического состояния различного электрооборудования без остановки и вывода в ремонт. Один из путей решения данной проблемы – это применение метода оценки состояния по ваттметрграмме.

Ваттметрграмма представляет собой набор измеренных значений мощности во времени и получается с помощью специальных приборов, подключаемых в силовой канал питания электрооборудования, формирующих набор значений потребляемой мощности.

Наибольшее применение приборы, получающие ваттметрграммы, получили в нефтедобывающей промышленности для оценки состояния станков-качалок с глубинными штанговыми насосами. Использование для балансировки станка-качалки графика изменения потребляемой мощности за цикл качания позволяет в несколько раз повысить эффективность процесса балансировки. В конечном итоге это уменьшает удельное потребление энергии на добычу нефти и снижает износ оборудования. При этом техническое обслуживание и ремонт оборудования производятся только в том случае, когда они необходимы, и объем ремонтного вмешательства соответствует степени развития дефектного состояния, т. е. ремонтируются только те узлы, которые показали максимальный износ.

На рис. 1 показаны графики ваттметрграмм для двух станков-качалок (СК) – с оптимальным значением груза и с избыточным значением груза. За один цикл качания у сбалансированного СК имеют место два примерно одинаковых колебания мощности, у несбалансированного эти колебания существенно отличаются по амплитуде. В приведенном примере при небалансе при подъеме противовеса (первая половина цикла работы СК), потребляемая мощность существенно выше, чем при опускании (вторая половина рабочего цикла), следовательно, используемый груз избыточен.

Целью данной работы является разработка прибора, формирующего ваттметрграммы электрооборудования в трехфазной системе электроснабжения.

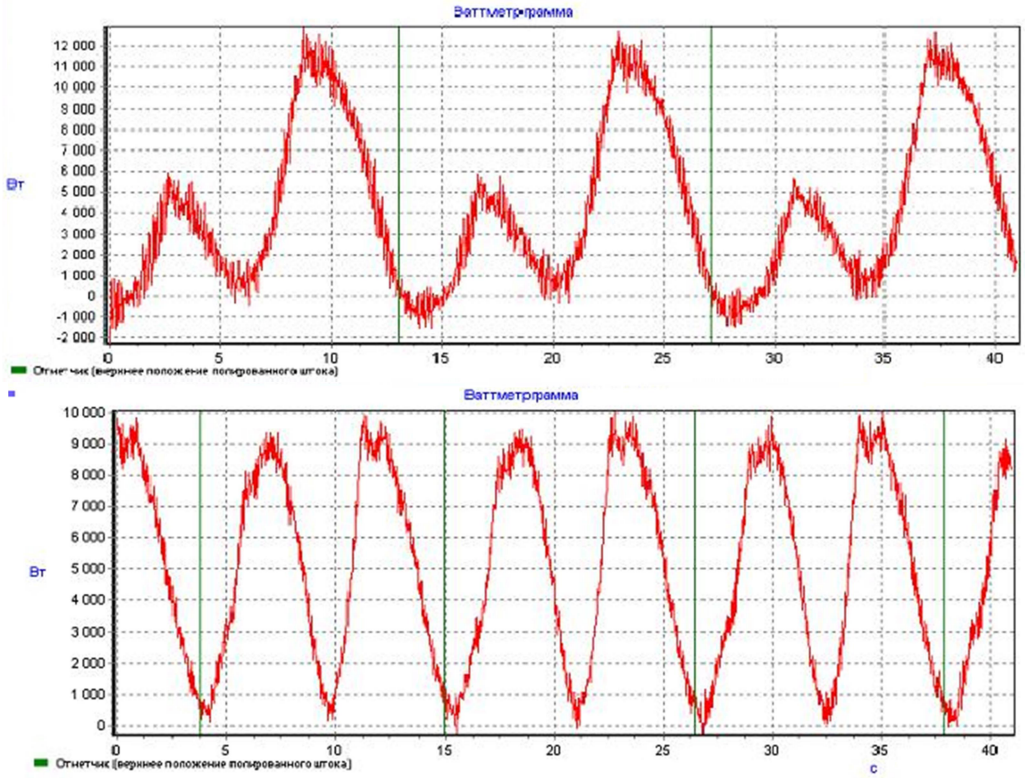


Рис. 1. Ваттметрграммы сбалансированного станка-качалки (верхний график) и разбалансированного (нижний график)

К прибору предъявляются следующие требования: измерение напряжения в диапазоне 230…400 В, измерение тока в диапазоне 0…5 А, вычисление мощности, частота построения ваттметрграммы до 10 Гц (до 10 измерений в секунду).

В настоящее время наиболее распространенные приборы, близкие по функциональным возможностям, для оценки параметров сети осуществляют вычисление значений напряжения, тока, мощности с частотой до 1 Гц, то есть 1 раз в секунду. Результаты, полученные с помощью таких приборов, подходят лишь для оценки небыстродействующих процессов и не подходят для работы в составе комплексов оценки состояния СК. Примеры ваттметрграмм, полученных с помощью промышленно выпускаемого прибора МЭ110-220.3М, представлены на рис. 2.

Как видно из рисунка, из-за низкой частоты формирования значений ваттметрграмма имеет низкую точность и сложна в дальнейшей обработке.

Поэтому становится актуальной разработка прибора, формирующего ваттметрграммы с частотой измерения до 10 Гц. Основу прибора составляет микроконтроллер ATmega 2560 – это инструмент для проектирования электронных устройств (электронный конструктор), более плотно взаимодействующих с окружающей физической средой, чем стандартные персональные компьютеры, которые фактически не выходят за рамки виртуаль-

ности. Это платформа, предназначенная для физических вычислений с открытым программным кодом, построенная на простой печатной плате с современной средой для написания программного обеспечения. Микроконтроллер применяется для создания электронных устройств с возможностью приема сигналов от различных цифровых и аналоговых датчиков, которые могут быть подключены к нему, и управления различными исполнительными устройствами. Проекты устройств могут работать самостоятельно или взаимодействовать с программным обеспечением на компьютере. Платы могут быть собраны пользователем самостоятельно или куплены в сборе. Среда разработки программ с открытым исходным текстом доступна для бесплатного скачивания.

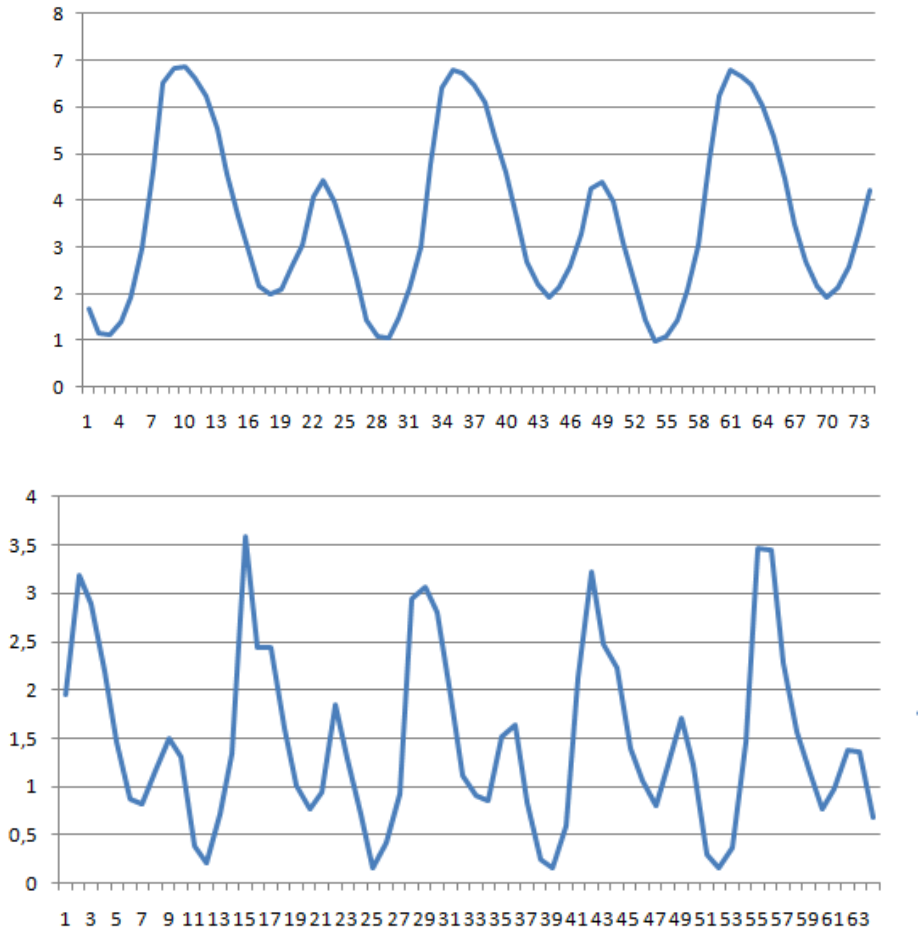


Рис. 2. Ваттметрграммы, полученные приборами для систем электроснабжения

В качестве измерительных органов применяются датчики напряжения со встроенными прецизионными микро-трансформаторами напряжения, преобразующие измеряемое переменное напряжение 0…250 В в напряжение постоянного тока 0…5 В и датчики тока, преобразующие измеряемый переменный ток 0…5 А в напряжение 0…5 В. Внешний вид прибора показан на рисунке 3.

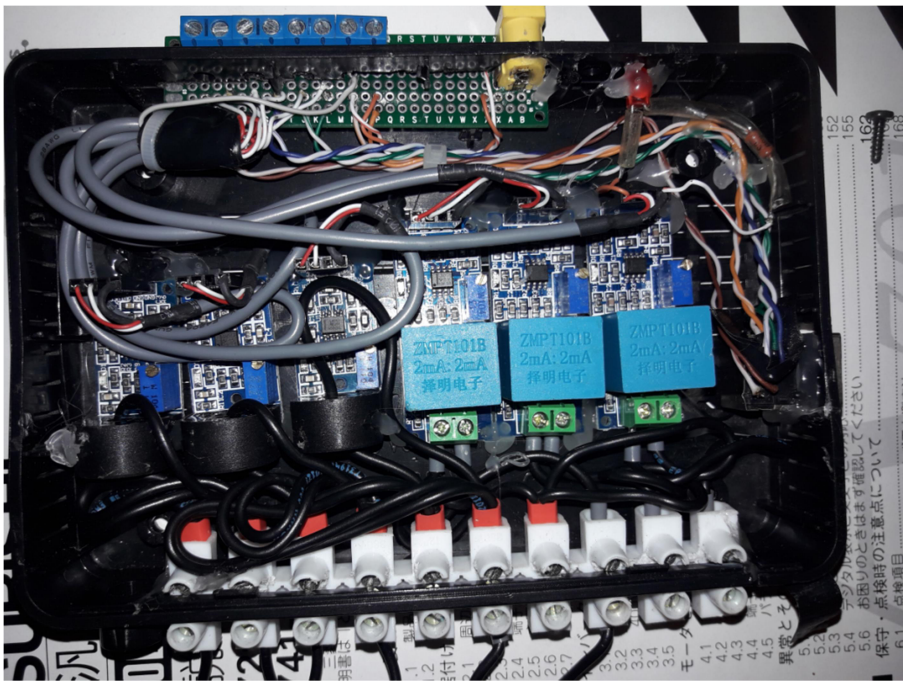


Рис. 3. Внешний вид прибора для построения ваттметрграмм

Алгоритм работы прибора основан на вычислении действующего значения напряжения и тока по принципу определения среднеквадратичного значения. В зарубежной терминологии для определения среднеквадратичного значения применяется аббревиатура RMS – root mean square.

Действующее значение тока и напряжения при этом, можно определить по формуле:

$$I_{rms} = \sqrt{\int_{-T/2}^{T/2} I^2(t)dt}; \qquad I_{rms} = \sqrt{\int_{-T/2}^{T/2} U^2(t)dt}.$$

Активная мощность вычисляется через интеграл по одному периоду от мощности мгновенной:

$$P_{act} = \frac{1}{T} \cdot \int_{-T/2}^{T/2} P(t)dt = \frac{1}{T} \cdot \int_{-T/2}^{T/2} U(t)dt.$$

Для цепей несинусоидального тока электрическая мощность равна сумме соответствующих средних мощностей отдельных гармоник. Активная мощность характеризует скорость необратимого превращения электрической энергии в другие виды энергии (тепловую и электромагнитную). Активная мощность может быть также выражена через силу тока, напряжение и активную составляющую сопротивления цепи. Полная мощность $S = U\ I$, где U – напряжение на зажимах, I – периодический электрический ток.

Полная мощность имеет практическое значение, как величина, описывающая нагрузки, фактически налагаемые потребителем на элементы подводящей электросети (провода, кабели, распределительные щиты, трансформаторы, линии электропередачи), так как эти нагрузки зависят от потребляемого тока, а не от фактически использованной потребителем энергии. Именно поэтому номинальная мощность трансформаторов и распределительных щитов измеряется в вольт-амперах, а не в ваттах.

На практике измеряемый период делим на некоторое число частей и измеряем напряжение и ток на каждом участке. Таким образом, мы получаем таблицу значений функций $U(t)$ и $I(t)$, поэтому от интегрирования переходим к суммированию:

$$I_{rms} = \sqrt{\frac{1}{N} \cdot \sum_{i=0}^{N-1} I_i^2};$$

$$U_{rms} = \sqrt{\frac{1}{N} \cdot \sum_{i=0}^{N-1} U_i^2};$$

$$P_{act} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=0}^{N-1} U_i \, I_i \, .$$

Здесь N – количество отсчётов, приходящееся на один период сетевого напряжения (рис. 3).

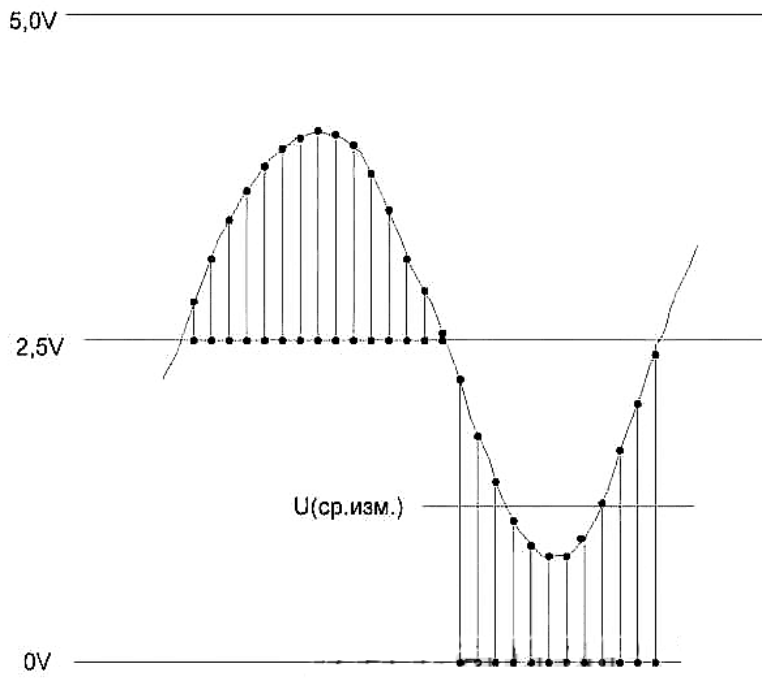


Рис. 3. Измерения в течение одного периода входного напряжения

Для проверки правильности работы алгоритма были построены математические модели напряжения синусоидальной формы и вычислены среднеквадратические значения для различного количества точек измерения. Результаты работы моделей показаны на рис. 4 и 5.

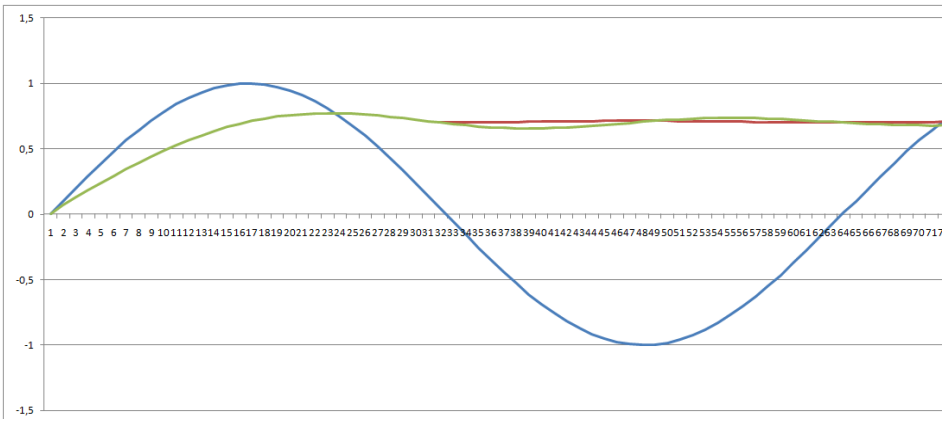


Рис. 4. Расчет среднеквадратичного значения величины напряжения при частоте дискретизации каждые 0,3 мс

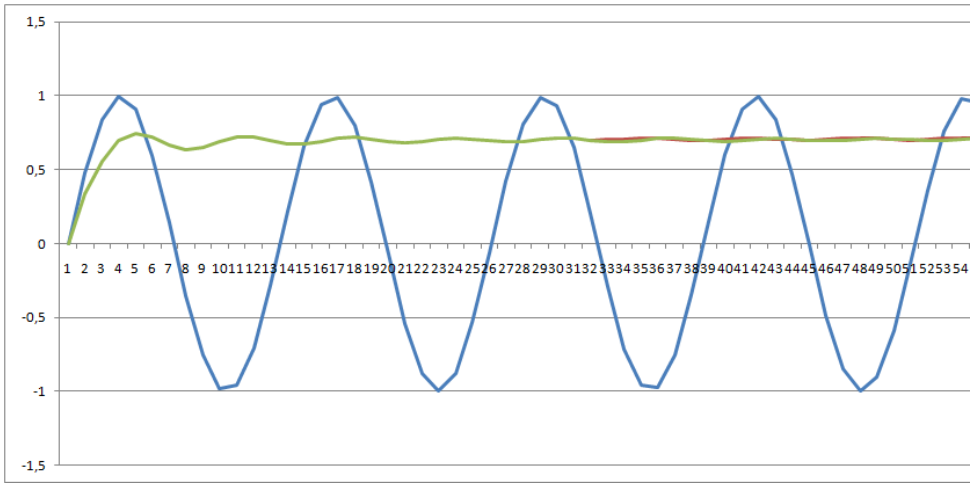


Рис. 5. Расчет среднеквадратичного значения величины напряжения при частоте дискретизации каждые 1,5 мс

Как видно из рис. 4, для получения стабильной величины среднеквадратичного значения напряжения достаточно оцифровать первую полуволну при частоте дискретизации каждые 0,3 мс, то есть достаточно первых 32 значений мгновенных величин напряжения. При этом микроконтроллер получает 64 значения на период напряжения или 3200 значений в секунду. Производя расчет среднеквадратического значения по 32 значениям, можно получить до 100 значений в секунду.

При снижении частоты дискретизации напряжения до выборки каждые 1,5мс, в среднем на период напряжения приходится 14 значений напряжения, но стабильная величина среднеквадратического значения

напряжения получается лишь при обработке 32 значений, то есть каждые 48 мс или 20 значений в секунду. Снижение частоты дискретизации может понадобиться при необходимости ввода в программу расчетов дополнительных величин, таких как частота сети, коэффициент мощности и других.

Источники

1. Корнилов В.Ю., Цветков А.Н., Мухаметшин А.И. Система автоматизированного контроля энергетических характеристик асинхронного электропривода штанговых скважинных насосных установок // Нелинейный мир. 2017. № 6. С. 76–80.

2. Кунцевич В.А. Измерение параметров напряжения различной формы: учеб. пособие. М.: Издательство МАИ, 1991. 48 с.

УДК 621.331

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕКУПЕРАТИВНОГО ТОРМОЖЕНИЯ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ТРАНСПОРТЕ

Иван Вячеславович Черепенькин[1], Азат Назипович Хуснутдинов[2]

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

[1,2]iwan.tcherepenkin@yandex.ru

В последние пять лет рекуперативному торможению уделяется значительное внимание, о чем свидетельствует повышение объемов возврата электроэнергии. По состоянию на 2015 год объем рекуперации достиг 1,96 млрд кВт·ч. За 2016 год объем рекуперативного торможения по сети железных дорог достиг 2,151 млрд кВт·ч, что составляет около 5 % от расхода на тягу поездов. Такому росту объемов рекуперации способствует целый ряд реализуемых мероприятий и программ. Между тем результаты мониторинга поездок, проводимые по ряду дорог, показывают, что имеется значительный потенциал повышения объемов рекуперативного торможения.

Ключевые слова: электрический транспорт, рекуперация, рекуперативное торможение, мониторинг, энергия рекуперации, состав.

EFFICIENCY IMPROVEMENT OF RECRUITIVE BRAKING ON ELECTRIC TRANSPORT

Ivan Vyacheslavovich Cherepenkin, Azat Nazipovich Khusnutdinov

In the past five years, considerable attention has been paid to regenerative braking, as evidenced by the increase in electricity return volumes. As of 2015, the recovery volume reached 1.96 billion kWh. In 2016, the volume of regenerative braking on the railway network reached 2.151 billion kWh, which is about 5 % of the consumption of train traction.

This increase in the volume of recovery contributes to a number of ongoing activities and programs. Meanwhile, the results of monitoring trips conducted on a number of roads show that there is a significant potential for increasing the volume of regenerative braking.

Key words: electric transport, recovery, regenerative braking, monitoring, energy recovery, composition.

Основными факторами, препятствующими увеличению объема рекуперированной энергии, являются: случаи отсутствия приемников энергии рекуперации, недостаточное использование резервов технологии вождения электроподвижного состава, отсутствие условий применения рекуперации в системе тягового электроснабжения, несовершенство в организации движения поездов, неполадки в системе рекуперации в пути следования.

Повышение эффективности рекуперативного торможения – достаточно актуальная тема на сегодняшний день. Рассмотрим некоторые методы повышения эффективности рекуперативного торможения на электрическом транспорте, выявим сложности, связанные с применением данных методов, рассмотрим их достоинства и недостатки.

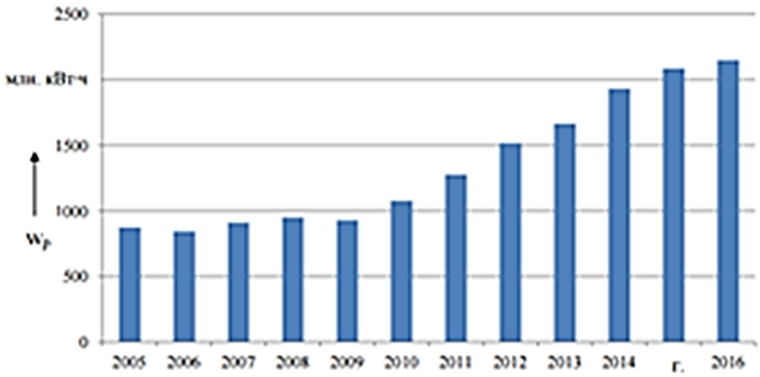


Рис. 1. Динамика объёмов энергии рекуперации в ОАО «РЖД» в 2005 – 2016 гг.

Динамичному повышению объемов энергии рекуперации способствует [1]:

• регулярное, начиная с 2009 года, проведение сетевой школы по вопросу повышения энергетической эффективности рекуперативного торможения;

• принятие распоряжения № 957р «Об укомплектовании систем рекуперативного торможения эксплуатируемого парка грузовых электровозов постоянного тока» от 3.05.2011 года;

• замена на сети дорог устаревших локомотивов на более современные и энергоэффективные;

• создание в локомотивных депо бригад наладчиков схем рекуперативного торможения;

•планирование возврата электроэнергии для коллективов колонн и для каждой локомотивной бригады грузового движения;

• анализ расхода и возврата электроэнергии для выявления счетчиков, имеющих значительные отклонения по экономии или перерасходу;

• разработка норм удельной рекуперации по каждому участку для электровозов всех серий в соответствии с весом поезда;

• сбор и анализ информации по причинам неприменения локомотивными бригадами рекуперации с еженедельным разбором на оперативных совещаниях;

• обучение локомотивных бригад навыкам эффективного использования рекуперативного торможения;

• внедрение микропроцессорных энергооптимальных систем автоведения как в грузовом, так и в пассажирском движениях;

• применение на тяговых подстанциях выпрямительно-инверторных преобразователей.

На опытном полигоне Екатеринбург-Шаля создается автоматизированная система мониторинга энергоэффективности перевозочного процесса (АСМЭПП). Данная система должна обеспечить возможность оценки энергетической эффективности системы тягового электроснабжения и электроподвижного состава на любом участке железной дороги за любой период времени. Предполагаемая схема функционирования АСМЭПП представлена на рис. 2.

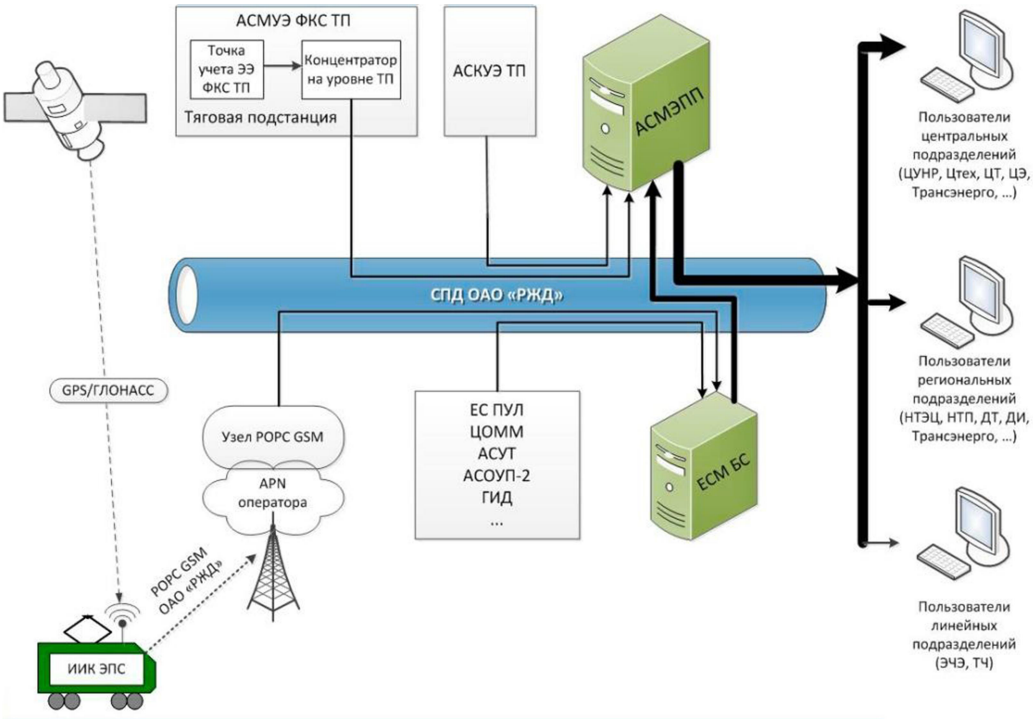


Рис. 2. Схема функционирования системы АСМЭПП

АСМЭПП состоит из трех подсистем [3, 4], каждая из которых представлена на рис. 3:

• автоматизированная система мониторинга и учета электроэнергии на фидерах контактной сети тяговых подстанций (АСМУЭ ФКС);

• информационно-измерительные комплексы учета электрической энергии на электроподвижном составе (ИИК ЭПС);

• единая система сбора и обработки данных.



Рис. 3. Структурные элементы системы АСМЭПП

Основными достоинствами АСМЭПП с точки зрения оценки эффективности применения и использования энергии рекуперации можно считать:

• возможность учета параметров и режимов работы системы тягового электроснабжения;

• возможность получения данных от сторонних систем для более детального анализа эффективности рекуперативного торможения;

• синхронизация по времени измерений на электроподвижном составе и в системе тягового электроснабжения;

• возможность уменьшения участков мониторинга, вплоть до межподстанционной зоны, благодаря применению глобального позиционирования.

На сегодняшний день из структурных элементов, входящих в АСМЭПП, на опытном полигоне внедрена и работает автоматизированная система мониторинга и учета электроэнергии на фидерах контактной сети

тяговых подстанций (АСМУЭ ФКС). Единый сервер сбора и обработки информации, работает на данный момент только в режиме сбора информации. Одними из приоритетных задач для дальнейшего развития системы АСМЭПП на опытном полигоне являются:

• внедрение информационно-измерительных комплексов учета электроэнергии (ИИК ЭПС);

• разработка алгоритмов обработки и анализа информации, получаемой с АСМУЭ ФКС и ИИК ЭПС.

Для принятия норм возврата по материально-производственным затратам (МПЗ), в случае отсутствия базы данных по поездкам предлагается использовать метод энергетических диаграмм. Его графическая интерпретация представлена на рис. 4.

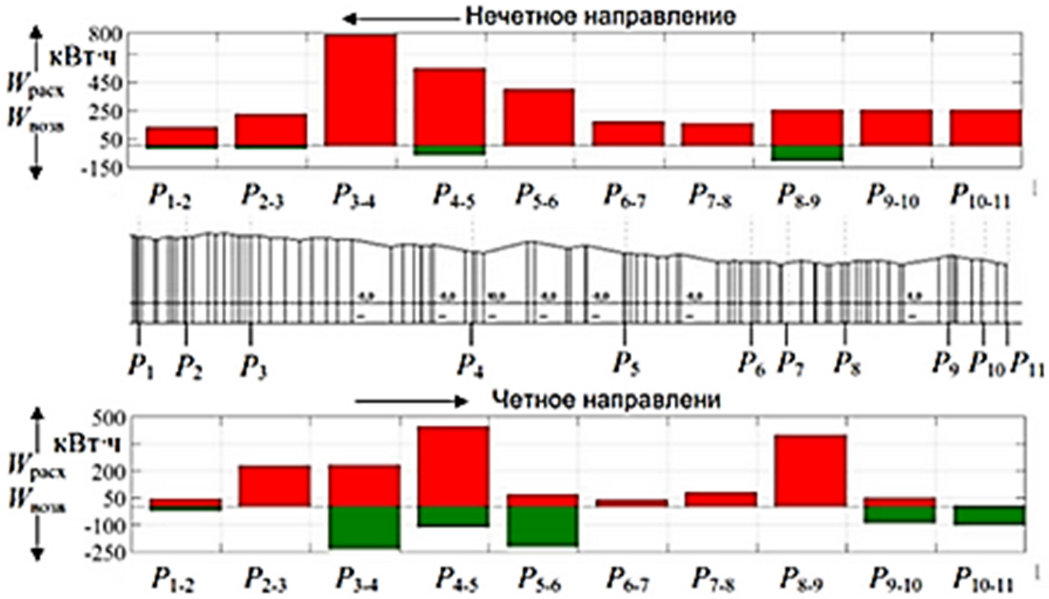


Рис. 4. Энергетические диаграммы участка следования локомотивной бригады

Полученная норма возврата электроэнергии по МПЗ сравнивается с данными, поступающими с информационно-измерительного комплекса учета электроэнергии на подвижном составе входящего в систему мониторинга АСМЭПП. Затем проводится анализ исправности электровоза и оценка состояния системы тягового электроснабжения.

Применение рекуперативного торможения позволяет экономить до 30 % энергии, которая затрачивается на тягу. Многие компании заинтересованы в повышении эффективности рекуперации. Ведутся разработки методов, которые позволят более эффективно использовать энергию, затраченную на торможение. Однако все существующие на данный момент способы достаточны затратные.

Источники

1. Аннин В.А. Рекуперация электроэнергии – основное направление Энергосбережения // Локомотив. 2012. № 5. С. 12–15.

2. Незевак В.Л., Шатохин А.П., Стишенко К.П. Влияние параметров системы тягового электроснабжения постоянного тока на эффективность использования энергии рекуперации // Матер. Междунар. науч.-практ. конф. / Омский гос. ун-т путей сообщения. Омск, 2014. С. 228–238.

3. Черемисин В.Т., Ушаков С.Ю., Каштанов А.Л. Единая автоматизированная система учета электроэнергии на электроподвижном составе (ЕАСУЭ ЭПС) постоянного тока // Известия Транссиба № 3(15). 2013. С. 108–114.

4. Черемисин В.Т., Пашков Д.В., Ушаков С.Ю. Автоматизированный мониторинг энергетической эффективности работы электроподвижного состава ОАО «РЖД» // Известия Транссиба. 2014. № 3(19). С. 87–91.

УДК 62-83:621.313.3

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА УСТРОЙСТВ ПЛАВНОГО ПУСКА АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Николай Валентинович Чуприна[1], Константин Васильевич Толкачев[2]

ФГБОУ ВО «БГТУ», г. Брянск

[1]nikochuprina212@yandex.ru, [2]razdolbay1996@mail.ru

Приведен краткий обзор способов плавного пуска асинхронного двигателя. Показано, что наибольшее применение получили тиристорные и импульсные регуляторы напряжения. Проведено моделирование двух схемотехнических решений устройств плавного пуска для двигателей мощностью 37 и 75 кВт, в результате которого установлено, что импульсные регуляторы обеспечивают меньшее значение коэффициента гармонического искажения тока, уменьшение потерь и величины пусковых токов примерно одинаковы у двух регуляторов.

Ключевые слова: асинхронный двигатель, плавный пуск, эффективность, моделирование, регулятор напряжения.

COMPARATIVE CHARACTERISTICS OF DEVICES FOR FUNCTION STARTING OF ASYNCHRONOUS MOTOR

Nikolai Valentinovich Chuprina, Konstantin Vasilyevich Tolkachev

A brief overview of how to smooth start an asynchronous motor. It is shown that thyristor and pulse voltage regulators are most widely used. Simulation of two soft starters for 37 and 75 kW motors was carried out, which found that the pulse controllers provide a lower harmonic current distortion coefficient, a reduction in losses and inrush currents are about the same for two controllers.

Key words: asynchronous motor, soft start, efficiency, simulation, voltage regulator.

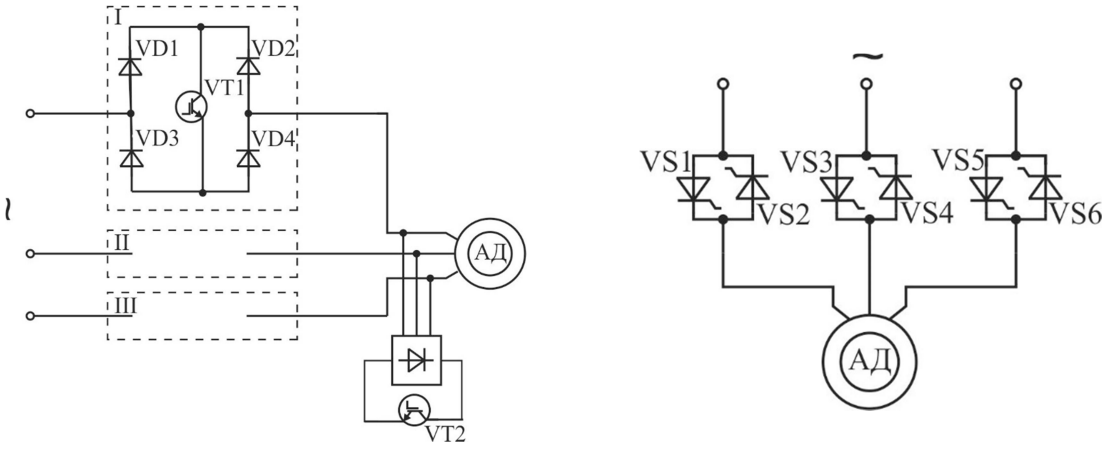
Для перекачки хозяйственно-бытовых, промышленных или ливневых сточных вод применяют канализационные насосные станции. Суммарная мощность насосных агрегатов на крупных станциях может доходить до сотен МВт. В качестве приводных двигателей насосных агрегатов наибольшее применение получили асинхронные двигатели. Чаще всего включение асинхронных двигателей электроприводов насосов осуществляется методом прямого пуска. Насосы в среднем включаются 10–25 раз в сутки, но при проливных дождях, активном таянии снега, либо при сильной загруженности канализационных сетей частота включения насосов увеличивается. В связи с этим актуальной становится задача разработки электропривода насоса с применением устройства плавного пуска.

Основная цель плавного пуска заключается в уменьшении кратности пускового тока по отношению к номинальному току асинхронного двигателя. Уменьшение тока при пуске может достигаться различными способами – за счет изменения напряжения на обмотке статора или за счет изменения частоты тока обмотки статора.

Частотный способ регулирования является самым эффективным и экономичным способом регулирования частоты вращения асинхронного двигателя. Для реализации частотного регулирования необходимо применение преобразователя частоты. Преобразователь частоты для плавного пуска является дорогим устройством. В среднем преобразователь частоты дороже тиристорного преобразователя напряжения в 4–5 раз, следовательно, для задач плавного пуска он является экономически нецелесообразным решением. Альтернативой преобразователям частоты являются устройства плавного пуска. Наиболее распространены два вида устройств плавного пуска – импульсные и тиристорные регуляторы напряжения.

Устройства плавного пуска на базе импульсных регуляторов напряжения (ИРН) позволяют изменять напряжения на обмотках статора асинхронного двигателя путем изменения ширины импульсов системы управления, управляющей транзисторными ключами. Изменение частоты коммутации транзисторов позволяет изменять гармонический состав напряжения. Один из возможных вариантов схемотехнического решения ИРН показан на рис. 1, *а* [1, 2].

Тиристорное регулирование напряжения асинхронного двигателя возможно с помощью применения трех пар встречно-параллельно включенных тиристоров. Изменяя угол открытия тиристоров, меняется напряжение на обмотках статора. Один из возможных вариантов схемотехнического решения тиристорного регулятора напряжения (ТРН) показан на рис. 1, *б* [3].



а *б*

Рис. 1. Схемы устройств плавного пуска: *а* – импульсный регулятор напряжения; *б* – тиристорный регулятор напряжения

При работе любой из представленных схем в обмотках статора появляются нечетные гармонические составляющие напряжения, шумы, вибрации, дополнительный нагрев электрооборудования. К достоинствам устройств плавного пуска на базе ТРН можно отнести простоту работы (всего шесть тиристоров), отсутствие конденсаторов и реакторов, доработанную система импульсно-фазового управления.

Анализ научных и технических публикаций, посвященных энергосберегающему электроприводу и устройствам плавного пуска, показал, что на сегодняшний день возможна экономия электроэнергии при плавном пуске до 10–15 % по отношению к прямому пуску [1–6].

При сравнении различных вариантов реализации плавного пуска в качестве показателей были приняты значения потерь энергии за время переходного процесса разгона, максимальное значение пускового тока обмотки статора и коэффициент гармонического искажения тока (КГИ).

Потери энергии вычислялись следующим образом:

$$\Delta W = \int_0^{t_{\text{п.п}}} \Delta P_{\text{дв}} dt,$$

где $t_{\text{п.п}}$ – время переходного процесса; $\Delta P_{\text{дв}}$ – суммарная мощность потерь в двигателе, определяемая из уравнения баланса мощностей [3].

КГИ определено из выражения [7]:

$$\text{КГИ} = \frac{\sqrt{\sum_i^{\infty} I_i^2}}{I_1},$$

где I_i – амплитуда *i*-й гармоники тока (кроме 1-й); I_1 – амплитуда первой гармоники тока.

ИРН (рис. 1, *а*) состоит из силовых транзисторных ключей *VT*1 (аналогично для двух оставшихся фаз), которые во время работы коммутируют нагрузку – обмотку статора асинхронного двигателя – и тем самым обеспечивают передачу электроэнергии как от сети к нагрузке, так и от нагрузки в сеть. Также в силовой части ИРН присутствуют неуправляемый выпрямитель и транзистор *VT*2, который обеспечивает непрерывное протекание тока по силовой цепи. При моделировании системы управления ИРН применялась скалярная широтно-импульсная модуляция с линейным законом изменения напряжения управления, частота опорного сигнала – 1 кГц.

Система импульсно-фазового управления для ТРН (рис. 1, *б*) формирует систему импульсов, смещенных во времени, которые подаются на вентили в нужном порядке. Импульсы между собой смещены на 60 электрических градусов. При моделировании импульсы на вентили подавались в следующем порядке: *VS*1, *VS*6, *VS*3, *VS*2, *VS*5, *VS*4.

Угол проводимости вентилей λ определен из выражения:

$$\sin(\lambda+\alpha-\varphi)=\sin(\alpha-\varphi)e^{-\frac{\lambda}{\operatorname{tg}\varphi}},$$

где α – угол открытия вентилей; φ – угол между фазой напряжения и фазой тока.

Результаты моделирования приведены на рис. 2. В качестве нагрузки были выбраны асинхронные двигатели 4А250S4У3 мощностью 75 кВт и 4А200М4У3 мощностью 37 кВт. В программном комплексе MatLab гармонический анализ сигнала произведен при помощи функции *FFT analysis*.

Относительные потери рассчитаны по выражению:

$$\Delta W_{\text{о.е}}=\frac{\Delta W}{\Delta W_{\text{пр.пуск}}},$$

где $\Delta W_{\text{пр.пуск}}$ – потери при прямом пуске.

Анализ зависимостей (рис. 2, *а*) показывает, что уменьшение потерь в переходном процессе пуска достигает 12 % для ИРН и 11,3 % для ТРН, нагруженных на двигатель мощностью 75 кВт, а уменьшение потерь при работе с двигателем мощностью 37 кВт составляет 9,1 % для ИРН и 8 % для ТРН (рис. 2, *в*). Максимальная величина пускового тока монотонно уменьшается при увеличении времени нарастания напряжения (рис. 2, *б* и *г*) и примерно одинакова для двух рассмотренных вариантов.

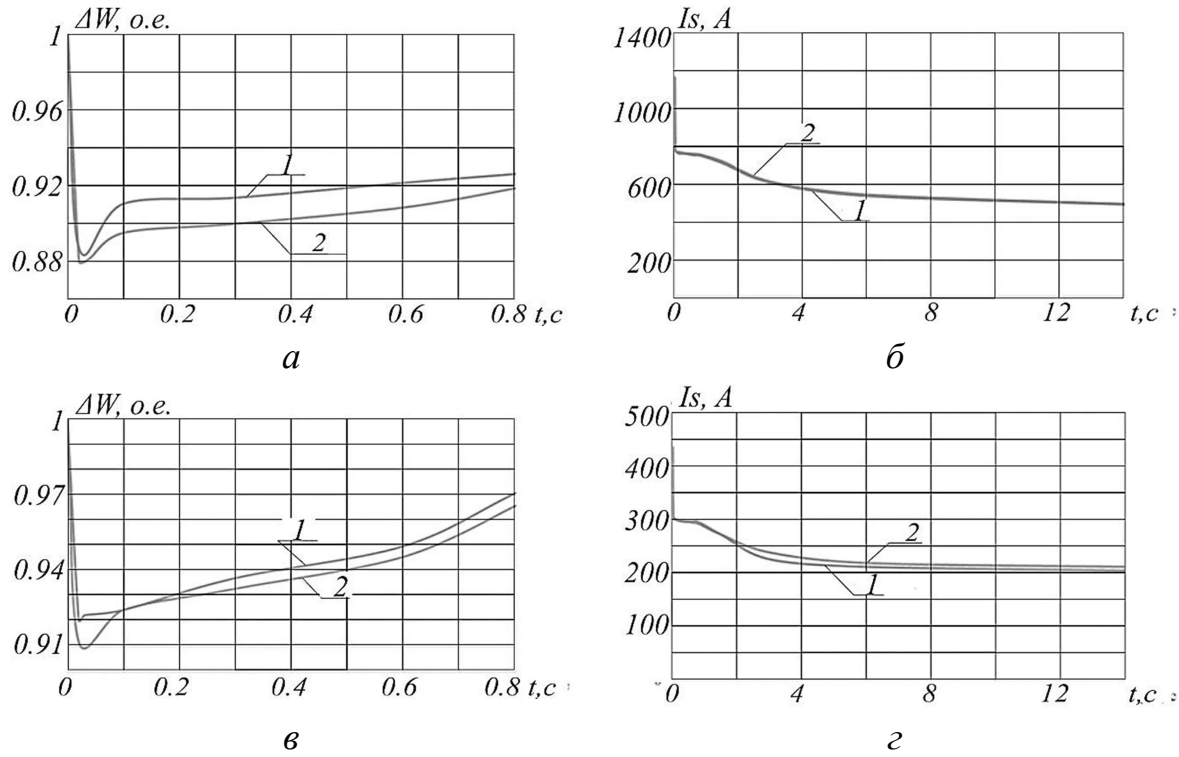


Рис. 2. Результаты моделирования: *а* – зависимость относительных потерь от времени нарастания напряжения для двигателя мощностью 75 кВт; *б* – зависимость пускового тока от времени нарастания напряжения для двигателя мощностью 75 кВт; *в* – зависимость относительных потерь от времени нарастания напряжения для двигателя мощностью 37 кВт, *г* – зависимость пускового тока от времени нарастания напряжения для двигателя мощностью 37 кВт; кривая *1* – результаты моделирования ТРН, кривая *2* – ИРН

Коэффициенты гармонического искажения для ИРН и ТРН при времени нарастания напряжения на обмотках статора $t = 0{,}02$ с соответственно равны 50,99 и 92,36 %, при времени нарастания $t = 15$ с соответственно равны 43,44 и 90,47 %. Полученные значения коэффициентов гармонического искажения показывают преимущества ИРН перед ТРН. Сильное искажение тока может привести к повышенному нагреву обмоток асинхронного двигателя.

Таким образом, моделирование показало, что ИРН имеет лучшие энергетические показатели качества и показатели качества и показатели качества переходного процесса, чем ТРН, но сложность реализации (большое количество полупроводниковых элементов) и стоимость оказывают сдерживающее воздействие на широкое распространение схем ИРН.

Источники

1. Фираго Б.И., Васильев Д.С. Применение устройств плавного пуска и торможения асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором в электроприводах крановых механизмов передвижения // Электротехнические и компьютерные системы. 2011. № 04(80). С. 30–38.

2. Li Guangqiang, Luo Guangfu, Yu Hongxiang, and Ji Yanchao. Energy Conservation of A Novel Soft Starter Controlled by IGBT for Induction Motors with Minimum Current // IEEE International Symposium on Industrial Electronics. 2004. Vol. 2. P. 1351–356.

3. Браславский И.Я., Ишматов З.Ш., Поляков В.Н. Энергосберегающий асинхронный электропривод / под ред. И.Я. Браславского. М.: Издательский центр «Академия», 2004. 256 с.

4. Thankachan Jose and George Saly. A Novel Switching Scheme For Three Phase PWM AC Chopper Fed Induction Motor // IEEE 5th India International Conference on Power Electronics. 2012. 4 p.

5. Said A. Deraz, Haitham Z. Azazi. Current limiting soft starter for three phase induction motor drive system using PWM AC chopper / IET Power Electron. 2017. Vol. 10, Iss. 11. P. 1298–1306.

6. Pugachev A., Kosmodamianskiy A. Two induction motors electric drive with rotatory stator // Journal of Electrical Engineering. 2016. Vol. 16(4). P. 54 – 60.

7. Umar Farooq Siddiqui, Ajit Verma, Shilpa Soni. Comparative Performance Analysis of Induction Motor Using Semiconductor Devices in Terms of Firing Angle // International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering. 2014. Vol. 4. P. 280–285.

УДК 621.3.014.7

РАСЧЕТ ФЕРРОРЕЗОНАНСНЫХ ПРОЦЕССОВ В СЕТЯХ 6–10 кВ, РАБОТАЮЩИХ С ИЗОЛИРОВАННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ

Ильнар Айратович Шайдуллин[1], Ольга Германовна Губаева[2]

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

[1]yota-ilnar@mail.ru, [2]mr.gubaev@mail.ru

Феррорезонанс – сложное нелинейное электрическое явление, защита от которого до сих пор остаётся окончательно не решённой. Это явление является чрезвычайно опасным для электротехнического оборудования, так как приводит к возникновению как перенапряжений, так и сверхтоков.

Ключевые слова: феррорезонанс, изолированная нейтраль, релейная схема, индуктивное сопротивление.

CALCULATION OF FERRORESONANT PROCESSES IN 6–10 kV NETWORKS, WORKING WITH ISOLATED NEUTRAL

Ilnar Airatovich Shaydullin, Olga Germanovna Gubaeva

Ferroresonance is a complex nonlinear electrical phenomenon, the protection against which still remains completely unsolved. This phenomenon is extremely dangerous for electrical equipment, as it leads to the appearance of both overvoltages and overcurrents.

Key words: ferroresonance, isolated neutral, relay circuit, inductive resistance.

В сетях 6–35 кВ с изолированной нейтралью при наличии однофазного замыкания на землю (ОЗЗ) возможен феррорезонанс индуктивности трансформаторов напряжения (ТН) с емкостью сети. Феррорезонансные процессы могут развиваться только в нулевой последовательности. Междуфазные напряжения остаются без изменения. Повреждениям от феррорезонанса подвержены только ТН с заземленной обмоткой высшего напряжения (ВН), контролирующие изоляцию сети относительно земли.

В цепях с трансформаторами напряжения возможность возникновения и существования феррорезонансного процесса определяется в следующих случаях:

• при самопроизвольном смещении нейтрали в схемах с малыми емкостными токами;

• при субгармоническом феррорезонансе в схемах с относительно небольшими емкостями коротких линий 6–35 кВ;

• при однофазных замыканиях на землю через перемежающуюся дугу.

Важным практическим результатом, полученным при моделировании феррорезонансных процессов (ФРП), является определение границы существования феррорезонанса (области параметров сети, при которых возможен устойчивый феррорезонанс) и оценка эффективности мер подавления и предупреждения феррорезонанса. Другими словами, по результатам компьютерного моделирования определяется диапазон емкостей сети для конкретного типа ТН, при котором устойчивый феррорезонанс является возможным.

В отличие от линейных цепей, в нелинейных цепях даже незначительные изменения в исходных данных могут приводить к существенным изменениям в полученных результатах. Особенно это проявляется на границе области существования феррорезонанса.

Расчет феррорезонансных процессов в сетях 6–10 кВ, работающих с изолированной нейтралью, даёт возможность:

• показать возможные повреждения электротехнического оборудования при феррорезонансных процессах в сетях 6–10 кВ;

• проверить эффективность технических методов и средств по устранению феррорезонансных процессов;

• разработать рекомендации по устранению феррорезонансных процессов в сетях 6–10 кВ, работающих с изолированной нейтралью.

Цель работы заключается в проведении расчетов по выявлению феррорезонансных процессов в электрических цепях и разработки рекомендаций для устранения феррорезонанса.

Источники

1. СТО 56947007-29.240.10.191-2014. Методические указания по защите от резонансных повышений напряжения в электроустановках. М.: ОАО «ФСК ЕЭС», 2014. 33 с.

2. Дымков А.М. Трансформаторы напряжения, М.-Л.: Госэнергоиздат, 1963. 192 с.

3. Лаптев О.И. Антирезонансные трансформаторы напряжения. Эффективность применения // Новости электротехники. 2006. № 6(42). С. 44–50.

4. Богдан А.В., Калмыков В.В., Сафарбаков А.А. Переходные процессы в электрической сети 10 кВ с трансформаторами напряжения НАМИ-10 // Электрические станции. 1993. № 10. С. 46–49.

5. Эткинд Л.Л. Об электрических сетях 3–35 кВ и происходящих в них процессах, о трансформаторах напряжения и защите этих трансформаторов. URL: http://lib.convdocs.org/docs/index-140663.html (дата обращения: 05.09.18).

УДК 681.5

ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОСВЕЩЕНИЕМ ЖИЛОГО ДОМА

Арслан Айнурович Шакиров[1], Римма Солтановна Зарипова[2]

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

[1,2]zarim@rambler.ru

Системы управления освещением находят применение во многих областях – это уличное освещение, освещение зданий, подъездов, промышленных объектов, домов. Достижения современной электроники позволили создать полностью автоматизированные системы управления освещением, обеспечивающие наиболее комфортные условия освещения и одновременно значительную экономию электроэнергии. В статье рассмотрена задача проектирования автоматизированной системы управления освещением для жилого дома.

Ключевые слова: освещение, автоматизированные системы, управление освещением, системы управления освещением.

DESIGNING OF AUTOMATED CONTROL SYSTEM FOR LIVING HOUSE LIGHTING

Arslan Ainurovich Shakirov, Rimma Soltanovna Zaripova

Lighting control systems are used in many areas - this is street lighting, lighting of buildings, entrances, industrial facilities, houses. Achievements of modern electronics made it possible to create fully automated lighting control systems, providing the most comfortable lighting conditions and at the same time significant energy savings. The article describes the task of designing an automated lighting control system for a residential building.

Key words: lighting, automated systems, lighting control, lighting control systems.

Современное человеческое существование невозможно представить без использования света. Осветительные установки создают необходимые условия освещения, которые обеспечивают зрительное восприятие, дающее около 90 % информации, получаемой человеком от окружающего его мира. Свет создает нормальные условия для работы и учебы, улучшает наш быт. Без современных средств освещения невозможна работа предприятий, многих производств. Без искусственного света не может обойтись ни один современный город, невозможны строительство и сельскохозяйственные работы в темное время суток, а также работа транспорта. Экономия электроэнергии в осветительных установках имеет важное значение. Это и понятно, так как качественное освещение создаёт комфортные условия человеческой жизнедеятельности, а без искусственного освещения решить эту проблему невозможно [1].

В первую очередь нужно обратить внимание на освещение своего жилища. Стоит уделить внимание замене в осветительных установках светильников с лампами накаливания на светильники с более современными лампами.

Одним из эффективных способов уменьшения расхода электричества на нужды освещения является применение систем управления освещением. Система управления светом – это одна из важнейших составляющих «умного дома». Главная задача системы заключается в возможности включать каждый источник света в доме с любой яркостью, от 0 до 100 %, контролировать присутствие света или его отсутствие в любой комнате. Она дает возможность управлять светом в разных режимах. Например, в ручном с пульта дистанционного управления или автоматическом, то есть без участия человека [2]. Достижения современной электроники позволили создать полностью автоматизированные системы управления освещением, которые обеспечивают комфортные условия освещения и одновременно осуществляют значительную экономию электроэнергии.

Была спроектирована автоматизированная система управления освещением для частного жилого дома. Рассматривались два варианта автомата управления освещением, которые решают одинаковые задачи – в темное время суток они включают освещение, если вблизи автомата появляется человек, и выключают свет, если он ушел. Первый предназначен для управления установленным перед входом на участок или в дом осветительным фонарем, другой же используется в помещении, например, в прихожей квартиры, а также может использоваться в охране для включения дежурного освещения.

В задачу входит анализ исходных данных на предмет оптимального выбора структурной схемы и типа электронных компонентов, входящих в состав устройства, а также согласование отдельных узлов по уровням сигналов на их входах и выходах и их нагрузочной способности. Были разработаны структурная и принципиальная схемы автомата управления. Были произведены расчеты надежность и блока питания, даны описания основных блоков и элементов системы: тонального декодера, блока питания, фотоэлементов.

Разработанный автомат предназначен для управления установленным перед входом на участок или в дом осветительным фонарем. Он оснащен активным инфракрасным датчиком, работающим «на отражение». Датчик построен на излучающем диоде и фототранзисторе. Благодаря модуляции инфракрасного излучения и частотной селекции принимаемого сигнала датчик хорошо защищен от помех создаваемых различными тепловыми приборами и пультами дистанционного управления.

В основе функционирования прибора лежит работа тонального декодера. Сигнал, на который он настроен, поступает через блок усиления на излучающий диод. Если в темное время суток к датчику приблизится человек или автомобиль, то фонарь будет включен. В этом случае на выходе декодера устанавливается низкий уровень напряжения, и лампа фонаря плавно включается. При достаточном естественном освещении этого не произойдет (имеется датчик освещенности). Через некоторое время после того, как человек или автомобиль покинет чувствительную зону датчика, лампа фонаря медленно погаснет, давая возможность глазам адаптироваться к темноте. На выходе декодера в этом случае устанавливается высокий уровень. Время выключения можно выбрать в любых пределах. Прибор питают от стабилизированного источника питания постоянного напряжения 12 В при токе 1 А, а лампу – от сети 220 В. В качестве излучателя используется ИК-диод, а приемника – фототранзистор. Луч датчика невидим и никому не мешает. При этом датчик хорошо защищен от помех. Благодаря плавному включению и выключению освещения продлевается срок службы лампы и исключаются броски тока. Прибор обладает небольшим размером и является удобным в применении.

Источники

1. Кольцов В.В., Зарипова Р.С. Устройство, выполняющее функцию автоматического выключателя лестничного освещения // Энергетика, электромеханика и энергоэффективные технологии глазами молодежи: матер. IV Рос. молодеж. науч. школы-конф. Томск, 2016. С. 147–148.

2. Хайруллин А.М., Зарипова Р.С. Разработка приборов учета электрической энергии на основе цифрового сигнального процессора // Энергетика, информатика, инновации – 2017 (электроэнергетика, электротехника и теплоэнергетика, математическое моделирование и информационные технологии в производстве): сб. тр. VII Междунар. науч.-техн. конф. Смоленск, 2017. С. 189–192.

3. Афанасьев В.В., Зарипова Р.С. Разработка перспективных приборов учета электроэнергии с применением компонентов цифровой электроники // Энергия молодежи для нефтегазовой индустрии: сб. матер. Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых. АГНИ, 2017. С. 69–74.

УДК 621.313.333

РАЗРАБОТКА И ЭКСПЛУАТАЦИЯ СТЕНДА ДЛЯ ПРОВЕРКИ РАБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК АВТОМОБИЛЬНОГО ГЕНЕРАТОРА

Дамир Ринатович Шарафутдинов[1], Алексей Сергеевич Туганов[2],
Марина Валерьевна Петрова[3]

ФГБОУ ВО УлГТУ, г. Ульяновск

[1,2,3]tuganov-sm@mail.ru

Одним из самых массовых видов автономных объектов является автомобиль. Пуско-генераторная установка автомобиля, как и в начале XX века, состоит из двух независимых устройств – синхронного генератора и стартера на основе двигателя постоянного тока. За столь большой промежуток времени данные устройства не испытали значительных изменений. Наряду с этим развитие автомобильной промышленности демонстрирует быстрый рост количества энергопотребителей в новых моделях автомобилей, что требует постоянного повышения мощностей их генераторных установок.

Ключевые слова: генератор, энергопотребление, снижение расхода, автомобиль, нагрузка.

DEVELOPMENT AND OPERATION OF THE STAND FOR VERIFICATION OF THE WORKING CHARACTERISTICS OF THE AUTOMOBILE GENERATOR

Damir Rinatovich Sharafutdinov, Alexey Sergeevich Tuganov
Marina Valerievna Petrova

One of the most popular types of autonomous objects is a car. The starting-generating set of the car, as at the beginning of the XX century, consists of two independent devices – a synchronous generator and a starter based on a DC motor. For such a long period of time, these devices have not experienced significant changes. Along with this, the development of the automotive industry demonstrates a rapid growth in the number of energy consumers in new car models, which requires a constant increase in the capacity of their generator sets.

Key words: generator, power consumption, reduction of consumption, car, load.

Генераторы постоянного тока долгое время были единственным типом источников электрической энергии, применявшихся для питания потребителей и зарядки аккумуляторной батареи на автомобилях. Следовательно, в связи с этим возникает необходимость разработки новых оборудований для испытаний, проверки и диагностики генераторов для быстрого выявления неполадок в данных узлах и их ремонта. В данный момент существует огромное количество различных видов диагностирующего оборудования, предназначенных для контроля и ремонта снятого с автомобиля электрооборудования.

Уменьшения стоимости транспортных операций можно добиться некоторыми способами. Один из таких способов – совершенствование технической эксплуатации автомобилей. Улучшение технической эксплуатации автомобилей позволяет снизить расходы на топливо и смазочные материалы, на амортизационные отчисления и непосредственно на текущий ремонт и техническое обслуживание.

Для решения всех этих вопросов, а также для поддержания автомобилей в исправном состоянии большое значение имеет внедрение диагностирования. Эксплуатация технически неисправного автомобиля неэкономична, вредна (усиливается загрязнение окружающей среды) и опасна для владельца и других членов общества. Несвоевременное и некачественное проведение профилактических работ (техническое обслуживание (ТО), диагностирование) вызывает повышенный износ деталей, агрегатов и преждевременный выход их из строя. Разработкой методов и средств технического диагностирования в нашей стране занимается ряд крупных научно-исследовательских и учебных институтов и лабораторий.

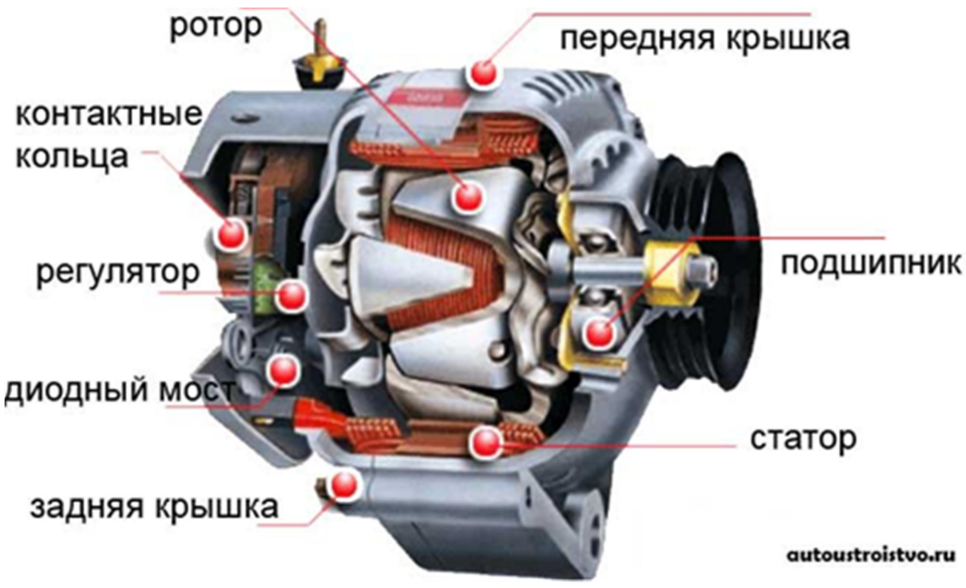


Рис. 1. Конструкция автомобильного генератора

Целью данной работы является разработка и эксплуатация стенда для проверки рабочих характеристик автомобильного генератора.

Цель данного стенда заключается в подключении генератора к работающему асинхронному двигателю мощностью 3,5 кВт, с целью снятия характеристик, подключение сопротивлений, построения графиков на холостом ходу и под нагрузкой. Разработка осуществлялась на кафедре Ульяновского государственного технического университета.

Стенд включает в себя следующие компоненты:

1. Трёхфазный асинхронный двигатель мощностью 3,5 кВт.
2. Частотный преобразователь Mitsubishi A700.
3. Генератор автомобильный от «ЛАДА» Ваз 2110.
4. Цепь реостатов.
5. Измерительные устройства: вольтметр и амперметр.
6. Лампы сигнальные.
7. АКБ 68 А·ч.

Асинхронный двигатель соединен с генератором ременной передачей. Во время опыта последовательно включаем сопротивление в цепь генератора, тем самым создавая нагрузку. Ток и напряжение мы наблюдаем по соответствующим измерительным приборам. Опыт заключается в снятии характеристик с генератора. Характеристика генератора представлена на рис. 2.

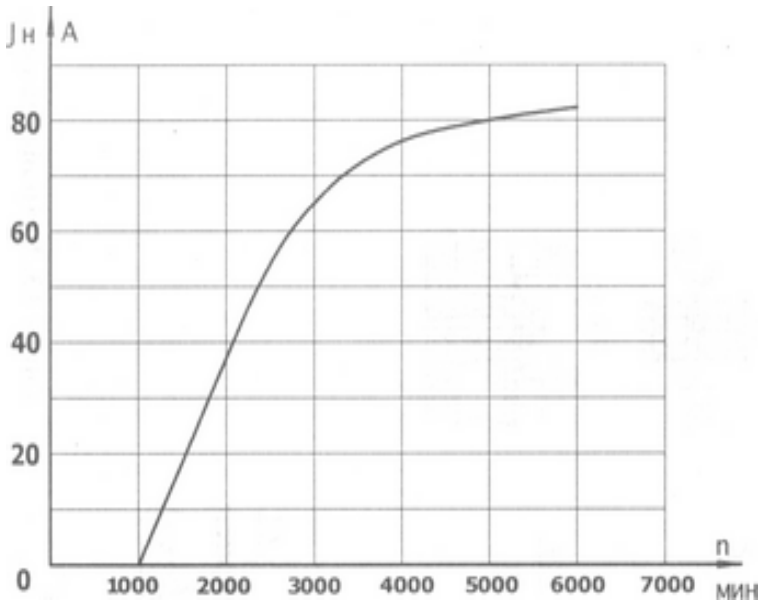


Рис. 2. Характеристика автомобильного генератора

Благодаря использованию данного стенда в учебной программе можно сделать вывод о том, как работает генератор автомобиля, изучить его устройство, а также понять, как генератор будет вести себя при нагрузке на него.

Также, подключив другой генератор (заведомо неисправный), по отклонению характеристик можно, выявить его неисправность и устранить её.

Источники

1. Василевский В.И., Купеев Ю.А. Автомобильные генераторы // Транспорт, 1971. 156 с.

2. Громаковский А.А. Большая книга автомобилиста Питер, 2009. 64 с.

УДК 621.3

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ОДНОФАЗНОМ ТРАНСФОРМАТОРЕ ПО ЛИНЕЙНОЙ СХЕМЕ ЗАМЕЩЕНИЯ

Вячеслав Евгеньевич Шмелёв[1], Станислав Александрович Сбитнев[2]

ФГБОУ ВО «ВлГУ», г. Владимир

[1]shmelev@vlsu.ru, [2]ssbitnev@vlsu.ru

Решается задача моделирования потери комплексной мощности в однофазном трансформаторе по линейной схеме замещения в виде двух индуктивно связанных ветвей. Приведены матричные соотношения теории цепей с индуктивно связанными элементами. Параметры схемы замещения и теряемая комплексная мощность выражены через каталожные данные трансформатора. Проведён сравнительный расчёт зависимостей мощностей потерь в однофазном трансформаторе от коэффициента загрузки и характера нагрузки (активная, активно-индуктивная, активно-ёмкостная) при разных значениях коэффициента мощности нагрузки по матричной цепной модели и по традиционно применяемой эмпирической формуле. Предложенная матричная модель существенно уточняет эмпирическую формулу.

Ключевые слова: однофазный трансформатор, энергосбережение, потери, матрица импедансов, коэффициент электромагнитной связи, коэффициент загрузки.

Энергосбережение всегда направлено на снижение потерь энергии при её преобразовании, передаче, распределении, потреблении. Работа любого преобразователя (в том числе и трансформатора) сопровождается потерями, мероприятия по снижению которых не всегда обоснованы, поэтому актуальными являются задачи моделирования энергетических процессов в технических устройствах. Результаты такого моделирования дают возможность принимать обоснованные решения по снижению потерь. Для оценки мощности потерь часто применяются грубые упрощённые методики и формулы, для уточнения которых полезно применять более строгие методы математического моделирования.

Пусть имеется однофазный силовой трансформатор, для которого известны каталожные данные: номинальная мощность $S_{\text{ном}}$, первичное (высшее) напряжение (ВН) $U_{1\text{ном}}$, вторичное (низшее) напряжение (НН) в режиме холостого хода $U_{2\text{ном}}$, активная мощность потерь на холостом ходу $P_{\text{х.х}}$, активная мощность потерь в опыте короткого замыкания $P_{\text{к.з}}$, напряжение короткого замыкания в процентах от номинального $U_{\text{к.з}\%}$, ток холостого тока в процентах от номинального $I_{\text{х}\%}$. Требуется смоделировать потерю комплексной мощности в трансформаторе в синусоидальных режимах работы в зависимости от коэффициента загрузки и коэффициента мощности нагрузки.

В настоящее время при проведении технико-экономических расчётов применяются упрощённые эмпирические формулы оценки потерь активной и реактивной мощности в трансформаторе:

$$P_{\text{п}} = P_{\text{х.х}} + k_{\text{з}}^{\,2} \cdot P_{\text{к.з}}\,, \qquad Q_{\text{п}} = Q_{\text{х.х}} + k_{\text{з}}^{\,2} \cdot S_{\text{к.з}}, \tag{1}$$

где $P_{\text{п}}$, $Q_{\text{п}}$ – потери активной и реактивной мощности в трансформаторе при работе под нагрузкой, $k_{\text{з}} = S_{\text{н}}/S_{\text{ном}}$, $S_{\text{н}}$ – полная мощность нагрузки, подключенной со стороны НН, $Q_{xx} = (S_{\text{х.х}}^{\,2} - P_{\text{х.х}}^{\,2})^{1/2}$, $S_{\text{х.х}} = S_{\text{ном}} \cdot I_{\text{х}\%}/100$, $S_{\text{к.з}} = S_{\text{ном}} \cdot U_{\text{к.з}\%}/100$.

Формулы (1) не учитывают характера нагрузки (активная, активно-индуктивная, активно-ёмкостная), поэтому предлагается модель трансформатора, основанная на теории индуктивно-связанных электрических цепей.

Простейший однофазный трансформатор представляет собой две индуктивно связанные обмотки, расположенные на общем сердечнике [3]. Такой трансформатор с точки зрения теории цепей [4] можно представить парой гальванически не связанных ветвей, электрические свойства которой можно описать полной матрицей импедансов (размер матрицы (2,2)):

$$\left[Z_{\text{Т}}\right] = \begin{bmatrix} Z_1 & Z_M \\ Z_M & Z_2 \end{bmatrix}, \tag{2}$$

где Z_1 – комплексное сопротивление (импеданс) первичной обмотки; Z_2 – импеданс вторичной обмотки; Z_M – импеданс индуктивной связи. Авторами предложен алгоритм определения компонентов матрицы (2) по известным каталожным данным трансформатора.

В начале определяется полная мощность холостого хода:

$$S_{\text{х.х}} = \frac{S_{\text{ном}} \cdot I_{\text{х}\%}}{100}. \quad (3)$$

Затем – импеданс первичной обмотки:

$$Z_1 = \frac{U_{\text{ном}}^2}{P_{\text{х.х}} + \sqrt{P_{\text{х.х}}^2 - S_{\text{х.х}}^2}}. \quad (4)$$

Коэффициент трансформации определяем как отношение $n=U_{1\text{ном}}/U_{2\text{ном}}$ в режиме холостого хода. В общем случае этот коэффициент может быть комплексным, его аргумент равен разности фаз первичного и вторичного напряжения трансформатора.

Полная мощность опыта короткого замыкания:

$$S_{\text{кз}} = \frac{S_{\text{ном}} \cdot U_{\text{к.з}\%}}{100}. \quad (5)$$

Напряжение короткого замыкания в абсолютных единицах:

$$U_{1\text{кз}} = \frac{U_{1\text{ном}} \cdot U_{\text{к.з}\%}}{100}. \quad (6)$$

Комплексный коэффициент электромагнитной связи между первичной и вторичной обмотками:

$$k_{\text{эм}} = \sqrt{1 - \frac{U_{1\text{кз}}^2}{Z_1 \cdot \left(P_{\text{к.з}} + \sqrt{P_{\text{к.з}}^2 - S_{\text{к.з}}^2}\right)}}. \quad (7)$$

Матрица импедансов обмоток трансформатора:

$$\left[Z_{\text{Т}}\right] = \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{n} \\ \frac{1}{n} & \left(\frac{1}{n \cdot k_{\text{эм}}}\right)^2 \end{bmatrix} \cdot Z_1. \quad (8)$$

Запитаем первичную обмотку трансформатора от идеального синусоидального источника электродвижущей силы (ЭДС). К вторичной обмотке подключим электрическую нагрузку с импедансом $Z_{\text{н}}$ (рис. 1). Полученная цепь имеет два контура и четыре ветви:

• ветвь 1 (направлена вверх) – источник ЭДС, подключённый к первичным зажимам;

• ветвь 2 (направлена вниз) – нагрузка, подключённая к вторичным зажимам;

• ветвь 3 (направлена вниз) – первичная обмотка;
• ветвь 4 (направлена вниз) – вторичная обмотка.

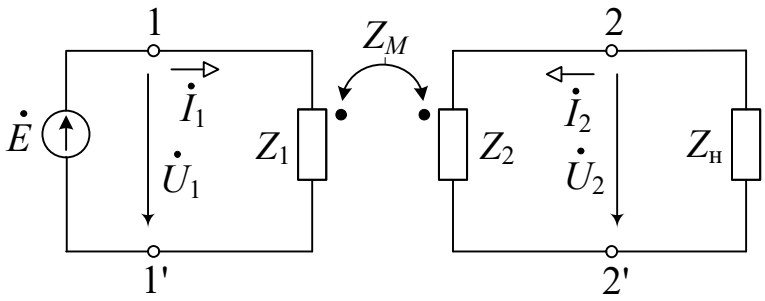


Рис. 1. Схема замещения подключения источника и нагрузки к обмоткам трансформатора: $\dot{E}$ – комплексная ЭДС источника; $\dot{U}_1$ – комплексное первичное напряжение; $\dot{U}_2$ – комплексное вторичное напряжение; $\dot{I}_1$ – комплексный первичный ток; $\dot{I}_2$ – комплексный вторичный ток; *1* и *1′* – первичные зажимы трансформатора; *2* и *2′* – вторичные зажимы трансформатора

Для анализа цепи (рис. 1) при различных $Z_н$, соответствующих различным значениям коэффициента загрузки и коэффициента мощности нагрузки, применён метод контурных токов.

Матрица главных контуров цепи (рис. 1):

$$[B]=\begin{bmatrix}1 & 0 & 1 & 0\\ 0 & 1 & 0 & -1\end{bmatrix}. \tag{9}$$

Матрица сопротивлений ветвей:

$$\left[Z^{(в)}\right]=\begin{bmatrix}0 & 0 & 0 & 0\\ 0 & Z_н & 0 & 0\\ 0 & 0 & Z_1 & Z_M\\ 0 & 0 & Z_M & Z_2\end{bmatrix}. \tag{10}$$

Матрица сопротивлений главных контуров:

$$\left[Z^{(к)}\right]=[B]\cdot\left[Z^{(в)}\right]\cdot[B]^{T}=\begin{bmatrix}Z_1 & -Z_M\\ -Z_M & Z_н+Z_2\end{bmatrix}. \tag{11}$$

Столбец контурных токов:

$$\left[\dot{I}^{(к)}\right]=\left[Z^{(к)}\right]^{-1}\cdot\begin{bmatrix}\dot{E}\\ 0\end{bmatrix}=\frac{1}{Z_1\cdot(Z_н+Z_2)-Z_M^2}\cdot\begin{bmatrix}Z_н+Z_2 & Z_M\\ Z_M & Z_1\end{bmatrix}\cdot\begin{bmatrix}\dot{E}\\ 0\end{bmatrix}. \tag{12}$$

Первичный и вторичный комплексный ток:

$$\dot{I}_1 = \frac{\dot{E}}{Z_1 - Z_M^2 / \left(Z_{\text{н}} + Z_2\right)}; \quad \dot{I}_{\text{н}} = \frac{\dot{E} \cdot Z_M}{Z_1 \cdot \left(Z_{\text{н}} + Z_2\right) - Z_M^2}, \tag{13}$$

где $\dot{I}_{\text{н}} = -\dot{I}_2$ – комплексный ток нагрузки.

Комплексная мощность, генерируемая источником в первичной цепи трансформатора:

$$\tilde{S}_1 = \dot{E} \cdot \text{conj}\left(\dot{I}_1\right), \tag{14}$$

где conj – имя функции, возвращающей комплексно-сопряжённое значение.

Комплексная мощность, потребляемая нагрузкой:

$$\tilde{S}_2 = Z_{\text{н}} \cdot \left|\dot{I}_{\text{н}}\right|^2 = Z_{\text{н}} \cdot I_{\text{н}}^2. \tag{15}$$

Разность $\tilde{S}_1 - \tilde{S}_2 = \tilde{S}_{\text{п}}$ – это и есть комплексная мощность потерь электроэнергии в трансформаторе. Для сопоставления значений мощностей потерь, рассчитываемых по эмпирической формуле (1) и по математической модели (2)–(15), импеданс нагрузки $Z_{\text{н}}$ нужно выразить через коэффициент загрузки:

$$Z_{\text{н}} = \frac{U_{2\text{ном}}^2}{\text{conj}\left(k_{\text{зп}}\right) \cdot S_{\text{ном}}}, \tag{16}$$

где $k_{\text{зп}}$ – предполагаемый коэффициент загрузки, равный отношению выходной комплексной мощности к полной номинальной мощности трансформатора, если пренебречь потерей вторичного напряжения под нагрузкой. Отношение названных мощностей с учётом потери напряжения будем называть фактическим коэффициентом загрузки $k_{\text{зф}}$. Знаменатель формулы (16) – комплексно-сопряжённая мощность нагрузки.

Авторами получена формула, выражающая комплексную мощность потерь через каталожные (паспортные) данные и предполагаемый коэффициент загрузки:

$$\tilde{S}_{\text{п}} = \tilde{S}_1 - \tilde{S}_2, \tag{17}$$

где $\tilde{S}_1$ – комплексная мощность на входе трансформатора:

$$\tilde{S}_1 = \frac{10^{-2} I_{\text{х}\%} \cdot S_{\text{ном}} \cdot e^{j\varphi_{\text{х}}}}{1 - \dfrac{k_{\text{зп}}}{10^{-2} I_{\text{х}\%} \cdot e^{2j\varphi_u} \cdot e^{j\varphi_{\text{х}}} + k_{\text{зп}} \cdot \text{conj}\left(k_{\text{эм}}^{-2}\right)}}, \tag{18}$$

$\widetilde{S}_2$ – комплексная мощность на выходе трансформатора:

$$\tilde{S}_2 = \frac{10^{-2} I_{\text{х}\%} \cdot S_{\text{ном}} \cdot e^{j\varphi_{\text{х}}} \cdot k_{\text{зп}}}{10^{-2} I_{\text{х}\%} \cdot e^{2j\varphi_u} \cdot e^{j\varphi_{\text{х}}} + k_{\text{зп}} \cdot \left(\text{conj}\left(k_{\text{эм}}^{-2}\right) - 1\right)} \times$$
$$\times \frac{I_{\text{х}\%}}{I_{\text{х}\%} \cdot e^{-2j\varphi_u} + 100\,\text{conj}\left(k_{\text{зп}}\right) \cdot e^{j\varphi_{\text{х}}} \cdot \left(k_{\text{эм}}^{-2} - 1\right)}, \quad (19)$$

где φ_u – разность фаз вторичного и первичного напряжения в режиме холостого хода (в паспортных данных этого параметра нет, но в реальных условиях он обычно бывает в пределах от 0 до 3°); $\varphi_{\text{х}}$ – разность фаз напряжения и тока в первичной цепи в режиме холостого хода:

$$\cos\left(\varphi_{\text{х}}\right) = \frac{100 \cdot P_{\text{х.х}}}{I_{\text{х}\%} \cdot S_{\text{ном}}}. \quad (20)$$

Коэффициент электромагнитной связи $k_{\text{эм}}$ выражен непосредственно через паспортные данные путём подстановки выражений (3)–(6) в (7):

$$k_{\text{эм}} = \sqrt{1 - 10^{-4} \cdot U_{\text{кз}\%} \cdot I_{\text{х}\%} \cdot e^{j\left(\varphi_{\text{кз}} - \varphi_{\text{х}}\right)}}, \quad (21)$$

где $\varphi_{\text{кз}}$ – разность фаз напряжения и тока в первичной цепи в режиме короткого замыкания:

$$\cos\left(\varphi_{\text{кз}}\right) = \frac{100 \cdot P_{\text{кз}}}{I_{\text{кз}\%} \cdot S_{\text{ном}}}. \quad (22)$$

Проведён сравнительный расчёт зависимостей мощностей потерь в однофазном трансформаторе от коэффициента загрузки и характера нагрузки (активная, активно-индуктивная, активно-ёмкостная) при разных значениях коэффициента мощности нагрузки четырьмя способами:

1) по эмпирическим формулам (1) при подстановке в них $\left|k_{\text{зп}}\right|$ вместо $k_{\text{з}}$;

2) по эмпирическим формулам (1) при подстановке в них $\left|k_{\text{зф}}\right|$ вместо $k_{\text{з}}$;

3) по математической модели, основанной на формулах (2)–(16);

4) по математической модели, основанной на формулах (17)–(22).

Для примера возьмём трансформатор ОМЗ-16/10/0,4:

$S_{\text{ном}}$ = 16 000 ВА, $P_{\text{х.х}}$ = 21 Вт, $P_{\text{кз}}$ = 148 Вт, $U_{\text{кз}\%}$ = 5,5, $I_{\text{х}\%}$ = 1,15, $U_{1\text{ном}}$ = 10000 В, $U_{2\text{ном}}$ = 400 В.

На рис. 2, 4 показаны графики относительного отклонения потерь активной, а на рис. 3, 5 – реактивной мощности, рассчитанной по (1), от рассчитанной по матричной модели (2) – (16) в зависимости от фактического коэффициента загрузки трансформатора при различных значениях коэффициента мощности нагрузки.

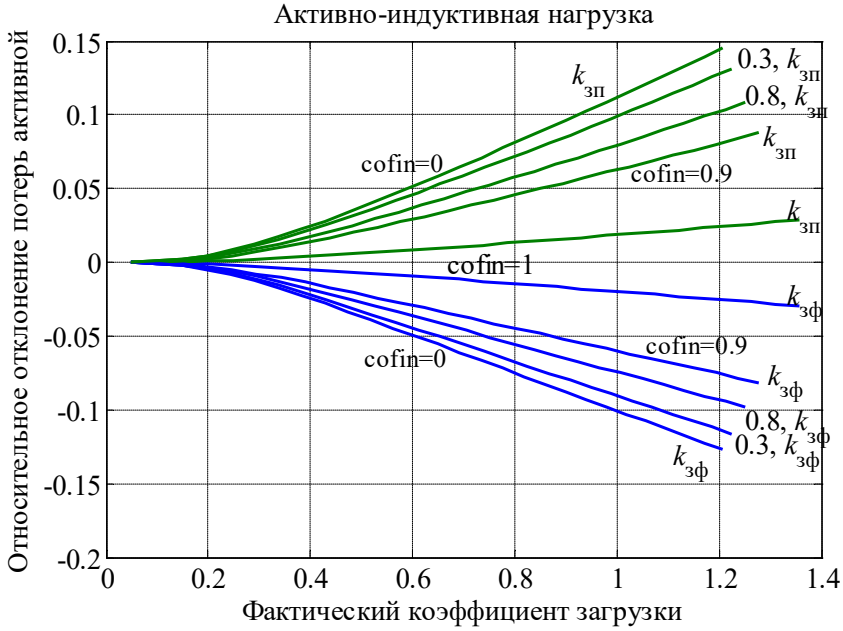


Рис. 2. Графики относительного отклонения потерь активной мощности, рассчитанной по формуле (1), от рассчитанной по матричной модели (2)–(16) в зависимости от фактического коэффициента загрузки трансформатора: cofin – коэффициент мощности нагрузки, $k_{зп}$ – подстановка $|k_{зп}|$ вместо $k_з$ в (1), $k_{зф}$ – подстановка $|k_{зф}|$ вместо $k_з$ в (1)

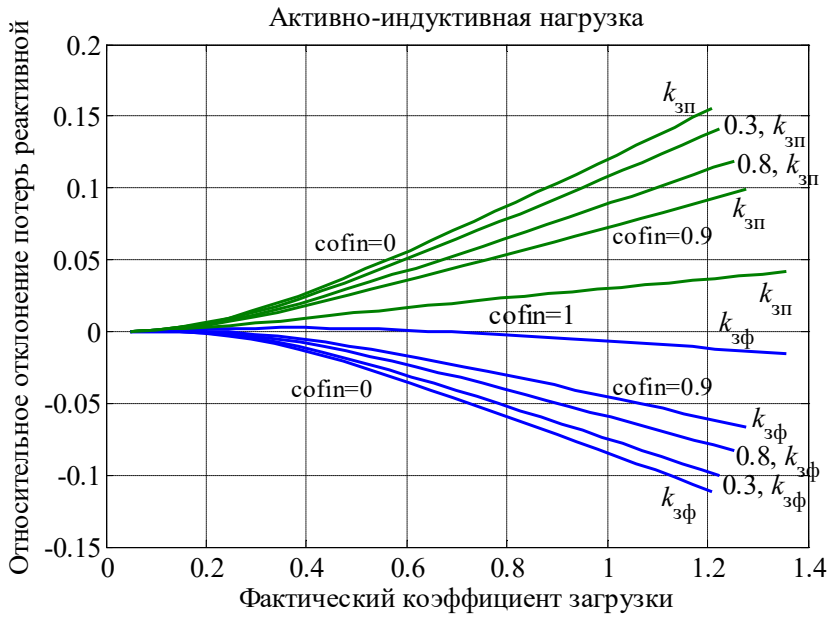


Рис. 3. Графики относительного отклонения потерь реактивной мощности, рассчитанной по формуле (1), от рассчитанной по матричной модели (2)–(16) в зависимости от фактического коэффициента загрузки трансформатора

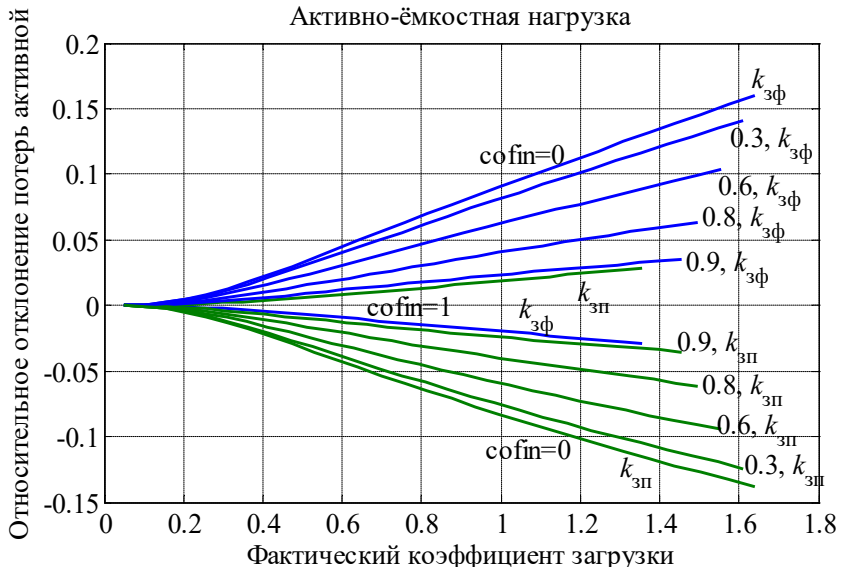


Рис. 4. Графики относительного отклонения потерь активной мощности, рассчитанной по формуле (1), от рассчитанной по матричной модели (2)–(16) в зависимости от фактического коэффициента загрузки трансформатора

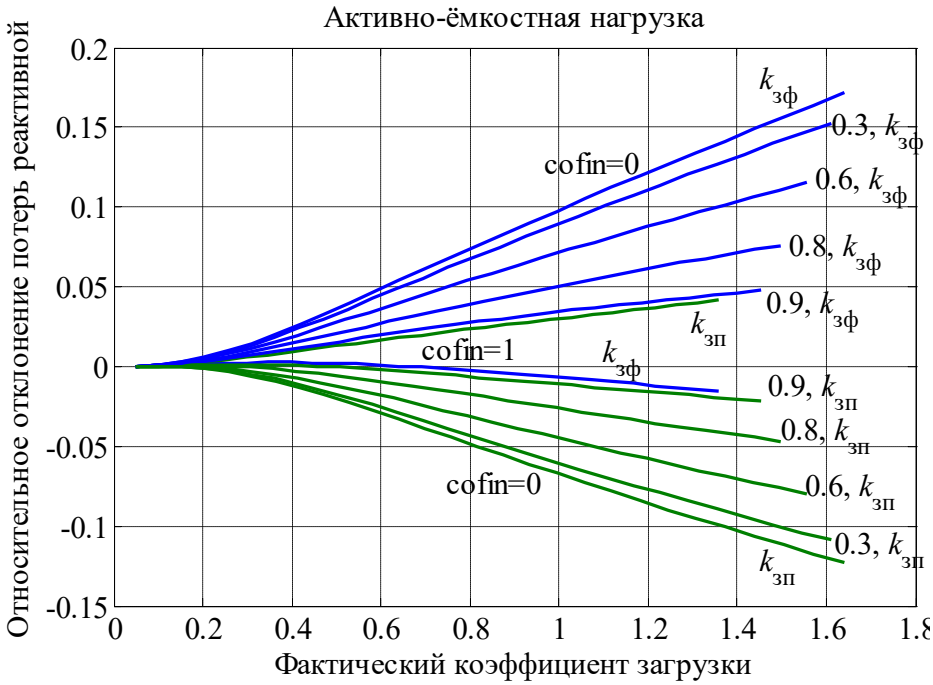


Рис. 5. Графики относительного отклонения потерь реактивной мощности, рассчитанной по формуле (1), от рассчитанной по матричной модели (2)–(16) в зависимости от фактического коэффициента загрузки трансформатора

На рис. 2–5 видно, что эмпирическая формула (1) даёт заниженные значения мощностей потерь в случае активно-индуктивной нагрузки и завышенные значения в случае активно-ёмкостной нагрузки при подстановке в (1) $|k_{зф}|$ вместо $k_з$. Формула (1) даёт завышенные значения мощностей потерь в случае активно-индуктивной нагрузки и заниженные значения в случае активно-ёмкостной нагрузки при подстановке в (1) $|k_{зп}|$ вместо

$k_з$. Чем меньше коэффициент мощности нагрузки и больше коэффициент загрузки, тем более грубый результат даёт формула (1). При номинальной мощности нагрузки ошибка формулы (1) по оценке потерь активной и реактивной мощности может достигать 10 %. При перегрузке в 40 % ошибка формулы (1) может достигать 15 %. За эталон здесь принята математическая модель, основанная на формулах (2)–(16), так как она непосредственно базируется на фундаментальных соотношениях теории цепей. Проведённые вычислительные эксперименты показали, что модель, основанная на формулах (17)–(22) даёт тот же результат, что и модель (2)–(16). Отличие заключается только в погрешностях округлений. Для применяемого типа данных *double* совпадают 13 значащих цифр. Вычислительные эксперименты подтвердили правильность выражения составляющих мощностей непосредственно через паспортные данные трансформатора.

На рис. 6–9 показана зависимость составляющих мощности потерь в трансформаторе от фактического коэффициента загрузки. Рис. 6, 7 соответствуют активно-индуктивной нагрузке, рис. 8, 9 – активно-ёмкостной нагрузке. На рис. 6, 8 – потеря активной мощности, на рис. 7, 9 – потеря реактивной мощности. Разные кривые соответствуют разным способам расчёта и разным значениям коэффициента мощности нагрузки (0, 0,3, 0,6, 0,8, 0,9, 1). Обозначения те же, что и на рис. 2 – 5.

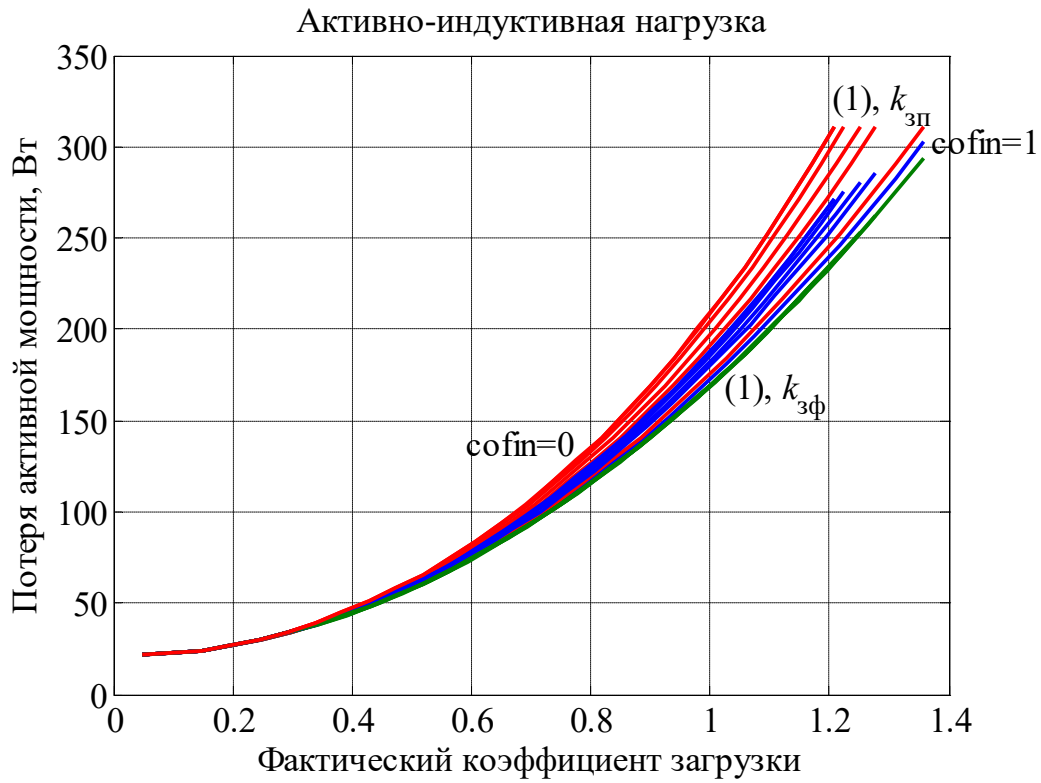


Рис. 6. Зависимость активной мощности потерь в трансформаторе от фактического коэффициента загрузки

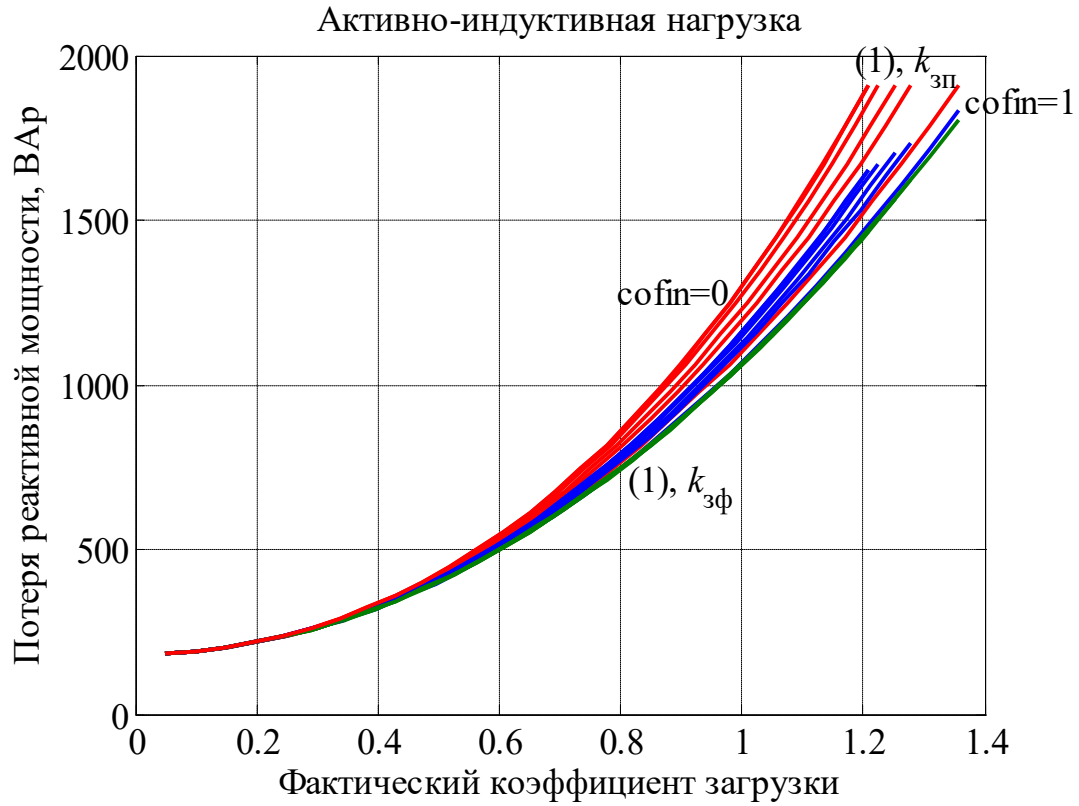


Рис. 7. Зависимость реактивной мощности потерь в трансформаторе от фактического коэффициента загрузки

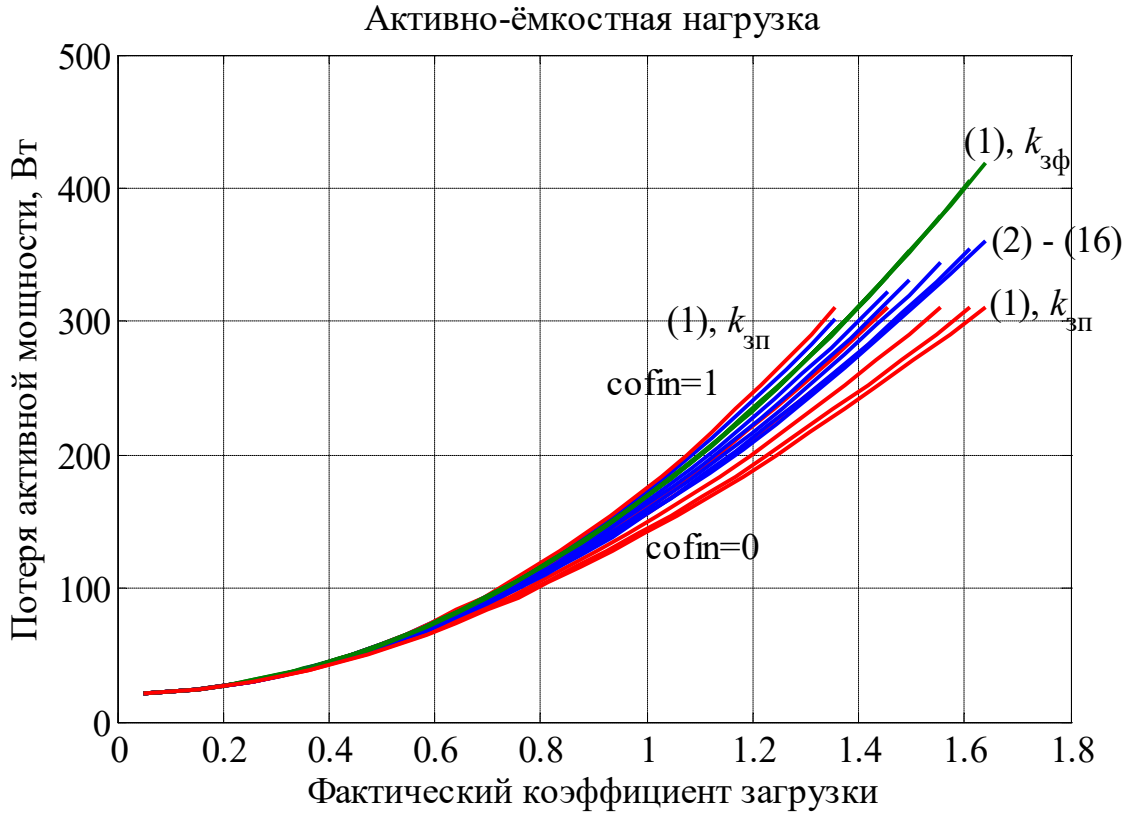


Рис. 8. Зависимость активной мощности потерь в трансформаторе от фактического коэффициента загрузки

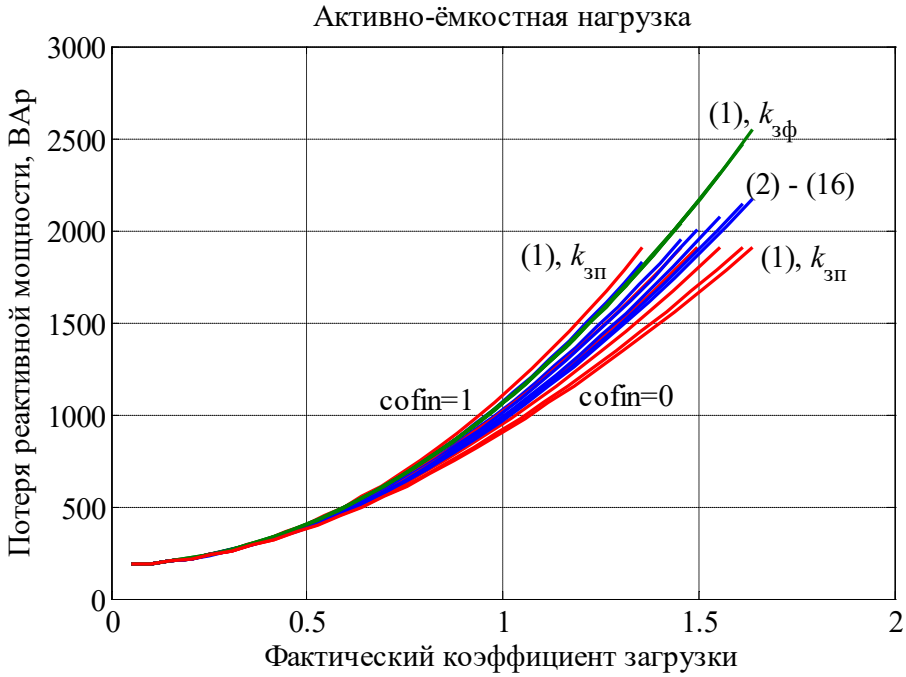


Рис. 9. Зависимость реактивной мощности потерь в трансформаторе от фактического коэффициента загрузки

Аналитические операции и вычислительные эксперименты показали, что традиционно применяемая эмпирическая формула (1), определяющая потери активной и реактивной мощности в трансформаторе, нуждается в уточнении. Для уточнения составлена модель, базирующаяся на теории индуктивно- связанных цепей (линейная схема замещения). При номинальной мощности нагрузки ошибка формулы (1) по оценке потерь активной и реактивной мощности может достигать 10 %. При перегрузке в 40 % ошибка формулы (1) может достигать 15 %. Комплексная мощность потерь выражена также непосредственно через каталожные (паспортные) данные. Вычислительными экспериментами подтверждена правильность такого выражения.

В данной работе представлена модель потерь комплексной мощности в однофазном трансформаторе. Данная модель может быть распространена на трёхфазный трансформатор при условии симметричного режима его работы.

Точность эмпирической формулы (1) может считаться приемлемой при выполнении технико-экономической составляющей расчётов в ходе проектирования систем электроснабжения, но её нельзя считать приемлемой для включения в алгоритмы анализа технических составляющих потерь на «цифровых подстанциях». Способ моделирования, представленный авторами, подходит для реализации в таких алгоритмах. Выражение мощности потерь непосредственно через каталожные (паспортные) данные сократит число машинных операций в работе этих алгоритмов.

Источники

1. Кудрин Б.И., Жилин Б.В., Матюнина Ю.В. Электроснабжение потребителей и режимы: учеб. пособие. М.: Издательский дом МЭИ, 2013. 412 с.

2. Шведов Г.В., Сипачёва О.В., Савченко О.В. Потери электроэнергии при ее транспорте по электрическим сетям: расчет, анализ, нормирование и снижение: учеб. пособие для вузов / под ред. Ю.С. Железко. М.: Издательский дом МЭИ, 2013. 424 с.

3. Серебряков А.С. Трансформаторы: учеб. пособие. М.: Издательский дом МЭИ, 2013. 360 с.

4. Демирчян К.С., Нейман Л.Р., Коровкин Н.В. Теоретические основы электротехники. СПб.: Питер, 2009. Т 1. 512 с.

УДК 621.3.048

УСЛОВИЯ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ РАЗРЯДОВ НА ГИРЛЯНДЕ ИЗОЛЯТОРОВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ УФ-ДИАГНОСТИКИ

Алексей Владимирович Шмидтберг[1], Виктор Владимирович Максимов[2]

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

[1,2]schmidtberg@gmail.com

Для появления электрических разрядов на гирлянде изоляторов необходимы определенные условия – повышенное падение напряжения на отдельных изоляторах гирлянды за счет наличие внутренних (включения), либо поверхностных (сколы, трещины, открытая микропористость) дефектов изоляторов или загрязнение их поверхности.

Ключевые слова: электрические разряды, гирлянды, частота, изоляция, омическое сопротивление.

CONDITIONS OF ELECTRICAL DISCHARGES ON THE GHARLAND OF INSULATORS WHILE CARRYING OUT UV DIAGNOSTICS

Alexey Vladimirovich Shmidtberg, Viktor Vladimirovich Maksimov

For the emergence of electrical discharges on a string of insulators, certain conditions are necessary – an increased voltage drop on individual insulators of the garland due to the presence of internal (inclusions) or surface (chips, cracks, open microporosity) defects of insulators or contamination of their surface.

Key words: electrical discharges, lights, frequency, insulation, ohmic resistance.

Проанализируем условия, при которых на изоляторах гирлянды возникает повышенное падение напряжения.

В общем случае при приложении переменного синусоидального напряжения через диэлектрик протекают следующие составляющие тока:

• емкостной ток, опережающий напряжение на 90° и обусловленный геометрической емкостью изоляции;

• ток абсорбции, обусловленный релаксационными поляризациями;

• сквозной ток проводимости.

Наличие тока абсорбции приводит к тому, что проводимость и емкость изоляции, измеренные на переменном токе, больше их значений, измеренных на постоянном токе, а сопротивление току утечки или току сквозной проводимости на постоянном токе (омическое сопротивление) оказывается больше, чем на переменном токе. С повышением частоты приложеного напряжения релаксационные поляризации затухают и ток абсорбции исчезает.

Частота, на которой исчезают релаксационные поляризации, а сопротивление и емкость изоляции перестают зависеть от частоты, названа граничной частотой. На частотах ниже граничной (в том числе и на промышленной частоте) в изоляции будет протекать ток абсорбции, а на частотах выше или равной граничной этот ток отсутствует. При этом возможно представить изоляцию на частоте, большей граничной, простейшей параллельной схемой замещения, состоящей из омического сопротивления изоляции и геометрической емкости изоляции.

Источники

1. Пархоменко П.П., Карибский В.В., Согомонян Е.С. Техническая диагностика объектов контроля. М: Энергия. 2007. 80 с.

2. Алеев Р.М. Комплексный подход к дистанционной диагностике состояния подвесной изоляции // Известия ВУЗов. Проблемы энергетики. 2004. № 3-4. С. 78–86.

УДК 621.3.048

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВНЕШНИХ УСЛОВИЙ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ УФ-ИЗЛУЧЕНИЯ ИЗОЛЯТОРОВ

Алексей Владимирович Шмидтберг[1], Виктор Владимирович Максимов[2]

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

[1,2]schmidtberg@gmail.com

Физические процессы образования и развития разрядов в газах (в воздухе в том числе) в значительной степени зависят от давления, температуры и влажности воздуха. Как показали исследования, напряжение зажигания в атмосферном воздухе тем ниже, чем выше его температура, ниже давление и выше влажность. Для реальных условий эксплуатации фарфоровых изоляторов напряжение зажигания соответствует напряженности электрического поля, составляющей, в среднем, 24–30 кВ/см.

Ключевые слова: развитие разрядов в газах, влажность, точка росы, удельная поверхность, изоляторы гирлянды.

EVALUATION OF THE IMPACT OF EXTERNAL CONDITIONS ON THE INTENSITY OF UV RADIATION INSULATORS

Alexey Vladimirovich Shmidtberg, Viktor Vladimirovich Maksimov

The physical processes of formation and development of discharges in gases (including air) largely depend on pressure, temperature and air humidity. Studies have shown that the ignition voltage in atmospheric air is lower, the higher its temperature, lower pressure and higher humidity. For actual operating conditions of porcelain insulators, the ignition voltage corresponds to an electric field strength of 24–30 kV / cm on average.

Key words: development of discharges in gases, humidity, dew point, specific surface, insulators of a garland.

Особое влияние на возникновение поверхностных частичных разрядов (ПЧР) оказывает влажность атмосферного воздуха при приближении его состояния к «точке росы» (относительная влажность 100 % с выпадением капель воды на поверхность изолятора). Это приводит к резкому повышению удельной поверхностной проводимости изолятора и формированию множества пар «катод-анод», особенно на дефектных поверхностях изолятора.

Анализ результатов испытаний позволил сделать следующие выводы:

• УФ-излучение ПЧР на изоляторах гирлянды фиксируется в виде ярких белых пятен и явно привязано к конкретному месту изолятора;

• при рабочем напряжении ~ 27,5 кВ ПЧР выявляются только на изоляторах гирлянды в месте цементной заделки пестика, на остальных изоляторах гирлянд ПЧР и коронные разряды выявляются при повышенном напряжении (~ 50 кВ);

• ПЧР, как правило, появляются в гирлянде не на дефектных по величине омического сопротивления изоляторах ($R < 300$ МОм), а на изоляторах, имеющих высокое сопротивление.

Последнее можно объяснить тем, что в результате перераспределения напряжений в гирлянде между изоляторами, на изолятор с высоким сопротивлением приходится большее падение напряжения. В результате этого напряженность электрического поля на нем может превышать критическое значение 24–30 кВ/см, что и вызывает появление ПЧР или короны.

Источники

1. Пархоменко П.П., Карибский В.В., Согомонян Е.С. Техническая диагностика объектов контроля, М: Энергия. 2007. 80 с.

2. Алеев Р.М. Комплексный подход к дистанционной диагностике состояния подвесной изоляции // Известия ВУЗов. Проблемы энергетики. 2004. № 3-4. С. 78–86.

Секция 3. ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ТЭК И ЖКХ

УДК 536.24

КОНВЕКТИВНЫЙ ТЕПЛООБМЕН В УСЛОВИЯХ СВЕРХКРИТИЧЕСКИХ ДАВЛЕНИЙ ЖИДКОСТИ

Севиль Джамаль кызы Абдуллаева

СГУ, г. Сумгаит, Республика Азербайджан
abdullayeva.64@mail.ru

В сверхкритических давлениях (СКД) при вынужденном движении жидкостей исследованы температурный режим поверхности теплообменника и процесс теплоотдачи, были разработаны эмпирические уравнения для определения границы отдельных режимов теплоотдачи.

Ключевые слова: давление, температура, теплоотдача, теплоемкость, критическое давление, теплоносители.

CONVECTIVE HEAT EXCHANGE IN THE CONDITIONS OF SUPER-CRITICAL LIQUID PRESSURE

Sevil Dzhamal Abdullayeva

The temperature regime of the tube heattransfer surface during thecarbohydrates exposed movement in the case of higher pressure than crises and heat transfer process have been investigated and empiric experiments have worked out to determine the exit board of separate heattransfer regime.

Key words: pressure, temperature, heat emission, heat volume, critical pressure, heat carriers.

Известно, что законы переноса теплоты имеют существенное, а во многих случаях определяющее значение для организации производственных процессов в различных отраслях современной техники. В настоящее время к числу теплотехнического оборудования при сверхкритических давлениях с различными средами относят котлоагрегаты со сверхкритическими параметрами пара, различные криогенные и криоэнергетические устройства с химической технологией. В этой связи исследование законномерностей конвективного теплообмена при сверхкритических давлениях теплоносителей несомненно представляет определённый научный и практический интерес.

Таким образом, переход к теплообменным устройствам, работающим при сверхкритических давлениях теплоносителей, открывает широкие возможности для научных исследований в данном направлении.

Исследованию закономерностей конвективного теплообмена в условиях сверхкритических давлений среды посещены многочисленные работы. Однако ввиду сложности процесса к настоящему времени его механика недостаточно изучена, причины возникновения отдельных режимов теплоотдачи, характерных для указанной области, а также окончательные расчетные рекомендации для определения коэффициента теплоотдачи теплоносителей требуют проведения дальнейших исследований в широком интервале изменения режимных параметров процесса.

Теплоотдача исследовалась на экспериментальной установке, представляющей собой разомкнутой циркуляционный контур, изготовлённый из нержавеющей стали [1]. При определении коэффициента теплоотдачи максимальная возможная погрешность составляла 19 % среднеквадратичная не превышала 14 %, что является допустимым, учитывая сложность проведения опытов в условиях СКД. Опыты проводились в стационарном тепловом режиме при вынуждённом движении углеводородов предельного (н-гептан, н-гексан) и ароматического ряда (этилбензол). Теплофизические свойства их в широком интервале изменения давления и температуры изучения представлены в [2, 3].

При исследовании теплоотдачи углеводородов режимные параметры процесса изменялись в следующих пределах:

$$P = (1,02...2,50)\,P_{\text{кр}};$$

$$T_{\text{с}} = (0,48...3,50)\,T_{\text{кр}};$$

$$T_{\text{ж}} = (0,52...1,02)\,T_{\text{кр}};$$

$$q = (0,2...7,0)\cdot 10^{6};$$

$$\rho\omega = (150...3600).$$

Полученные результаты обрабатывались с использованием общепринятых методов, строились различные графические зависимости, характеризующие интенсивность конвективной теплоотдачи и температурный режим стенок труб.

Проектирование и создание высокоэффективных теплообменных аппаратов требует знания основных законов распределения температуры вдоль стенки трубы.

Было установлено, что независимо от ориентации канала в пространстве, направления течения и рода исследуемого агента при достижении температуры теплоотдающей поверхности стенки трубы псевдокритической

температуры исследуемой жидкости (температура, соответствующая максимуму избранной теплоемкости), теплоотдача сопровождается дополнительным звуковым эффектом – колебаниями давления жидкости и температуры стенки, в результате которых нарушается монотонность распределения $t_{\text{с}}^{\text{в}}$ вдоль трубы, а в средней её части появляется максимум температуры, изменения которого при дальнейшем увеличении плотности теплового потока носят резко выраженный характер (рис. 1). Однако анализ полученных результатов показал, что максимумы, наблюдаемые несколько выше средней части трубы, не создают опасности в работе теплообменных аппаратов и устройств, так как максимальное значение $t_{\text{с}}^{\text{в}}$ всегда было меньше, чем температура устойчивости металла, а значение коэффициентов теплоотдачи больше, чем при нормальном режиме, что обеспечивает нормальный режим работы теплотехнического оборудования. Справедливость отмеченного подтверждается еще и тем, что ни в одном опыте не было обнаружено нарушения цельности экспериментальных труб.

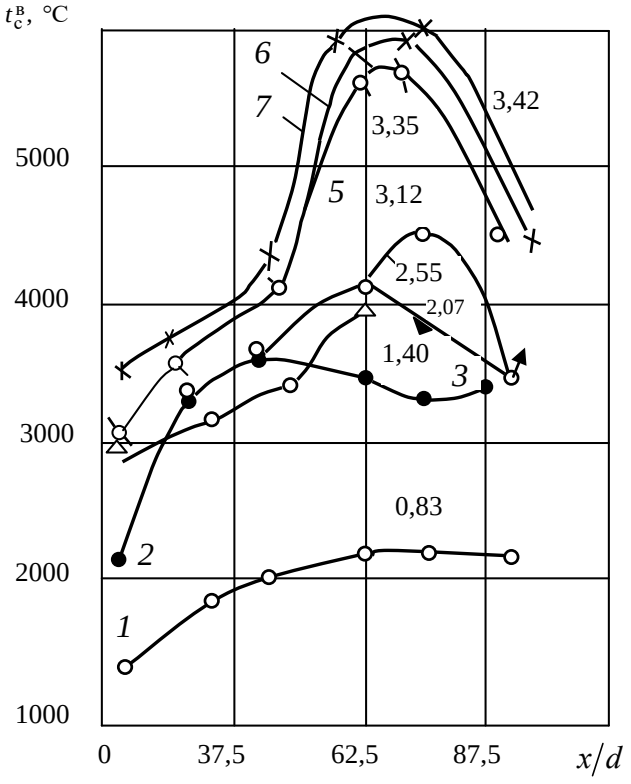


Рис. 1. Зависимость $t_{\text{с}}^{\text{в}} = f\left(x/d\right)$ при движении н-гептана в горизонтальной трубе

В результате анализа зависимостей $t_{\text{с}}^{\text{в}} = f\left(q\right)$ установлено, что независимо от направления движения жидкости, ориентации канала в пространстве и рода исследуемого углеводорода в условиях сверхкритических давлений

температурная кривая претерпевает многократные изменения, сопровождающиеся улучшением теплоотдачи. В качестве примера на рис. 2 представлен график зависимости температуры внутренней стенки от плотности теплового потока для опускного движения этилбензола при различных сверхкритических давлениях.

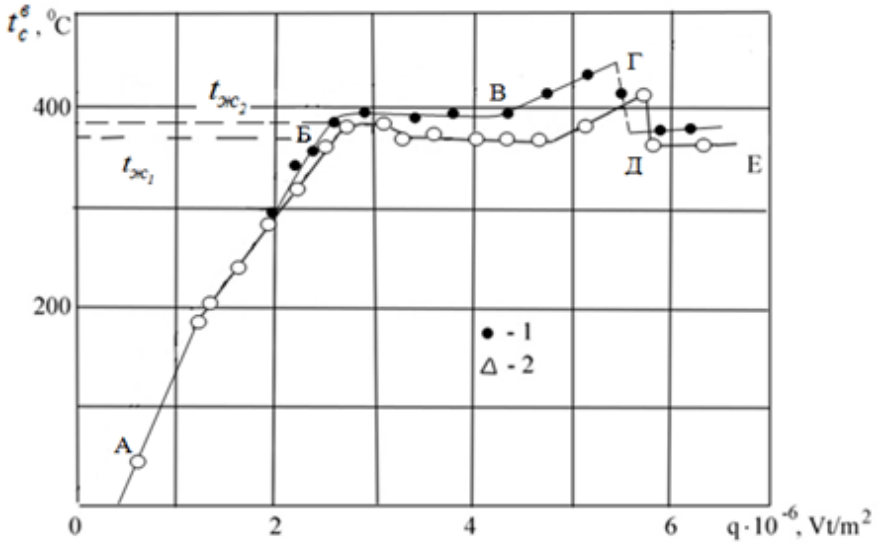


Рис. 2. Зависимость $t_c^в = f\left(x/d\right)$ для опускного движения этилбензола

Из рис. 2 видно: на участке *БВ* при $t_c^в < t_m$ и при $t_c^в \approx t_m$ наблюдаются нормальный и улучшенный режимы теплообмена; на участке *ВГ* при $t_c^в > t_m$ наблюдается относительно ухудшенный режим теплообмена; при $t_c^в >> t_m$ и больших значениях плотности теплового потока наблюдается устойчивый режим улучшенного теплообмена – участок *ГДЕ*. При проектировании и создании высокоэффективных теплонапряжённых систем конструктору необходимо заранее знать границы возникновения вышеупомянутых режимов теплоотдачи.

В этой связи в настоящей статье в ходе обработки результатов многочисленных экспериментов разработаны эмпирические уравнения для определения начала и конца улучшенного теплообмена (НУТ и КУТ), а также начала возникновения устойчивого режима улучшенного теплообмена (УРУТ):

$$q^{\text{НУТ}} = 30\left(\rho\omega\right)^{1,40}; \tag{1}$$

$$q^{\text{КУТ}} = 48\left(\rho\omega\right)^{1,40} \cdot \left(1,495 - 0,075P\right); \tag{2}$$

$$q^{\text{УРУТ}} = 1\,617P^{0,40} \cdot \left(\rho\omega\right)^{0,629}; \tag{3}$$

$$q^{\text{УРУТ}} = 1\,640 \cdot (\rho\omega)^{0,775}. \quad (4)$$

Уравнения (3) и (4) справедливы при P = 1,09 ÷ 2,70 МПа и массовой скорости $\rho\omega = 150 \div 500$ и $\rho\omega = 600 \div 3600$ кг/(м^2 · с), соответственно.

Исследована теплоотдача при вынужденном движении углеводородов в условиях сверхкритических давлений. Показано, что температура теплоотдающей поверхности стенки трубы, как по длине, так и в зависимости от плотности теплового потока изменяется немонотонно, наблюдается различные режимы теплоотдачи. Предложены эмпирические уравнения для нахождения границы отдельных режимов теплоотдачи.

Источники

1. Abdullayeva S.C. Böhran təzyiqindən yüksək təzyiqlərdə və titrəyişli rejimlərdə üzvi istilikdasıyıcıların istilikverməsi // Texnika üzrə fəlsəfə doktoru alimlik dərəcəsi almaq üçün təqdim edilmiş dissertasiya. 2014. 217 s.

2. İsayev H.İ., Məmmədov Ə.Y., Abdullayeva S.C., Bəxtiyarov Ə.L. Mayelərin böhran təzyiqindən yüksək təzyiqlərdə konvektiv istilikvermə əmsalı // Экоэнергетика. 2013. № 2. С. 34–42.

3. Влахов В.С., Миропольский З.Л., Хасанов-Агаев Л.Р. Теплоотдача в среде сверхкритических параметров при смешанной конвекции и подъёмном течении в обогреваемых каналах // Теплоэнергетика. 1981. № 11. С. 69–71.

4. Валуева Е.П. Влияние пульсация плотности в поле силы плавучести на теплообмен и турбулентное течение жидкости в вертикальной трубе при сверхкритических давлениях // Теплофизика высоких температур. 2015. Т. 53, № 3. С. 403–411.

УДК 628.543.001.2

ОБРАБОТКА ПОДПИТОЧНОЙ ВОДЫ ДЛЯ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ ПО БЕССТОЧНОМУ МЕТОДУ

Гюльага Агами оглы Алескеров

АзАСУ, г. Баку
gulaqa@rambler ru

Состояние окружающей среды на современном этапе развития промышленного производства требует принятия радикальных решений по борьбе с загрязнениями. Значительная часть загрязняющих природу промышленных сбросов приходится

на сточные воды, в том числе от установок водоприготовления для систем теплоснабжения. Для выхода из сложившейся ситуации нами разработаны новые бессточные технологические схемы обработки подпиточной воды для тепловых сетей, позволяющие удалять из обрабатываемой воды только кальциевую жесткость с эквивалентным снижением щелочности.

Ключевые слова: ионитные фильтры, Н-катионитовые фильтры, регенерация, качество воды, подготовка воды, фильтрование.

WASTERWATER TREATMENT FOR HEAT SUPPLY NETWORKS USING BY CLOSED FLOW METHOD

Gulagha Agami ogly Aleskerov

The state of the problem of environmental protection at the present stage of development of industrial production requires the adoption of radical decisions to combat pollution. A significant part of the polluting nature of industrial discharges falls on wastewater, including water treatment plants for heating systems. To get out of this situation, we have developed new drainless technological schemes for the treatment of make-up water for heat networks, which allow us to remove only calcium hardness from the treated water with an equivalent decrease in alkalinity.

Key words: ion-exchange filters, H-cation filters, regeneration, water quality, water treatment, filtration.

При обработке подпиточной воды тепловых сетей необходимо обеспечить безнакипное и безкоррозионное состояния поверхностей нагрева основного водогрейного оборудование и достигается выдерживанием соответствующих норм по качеству подпиточной и сетевой воды.

Существующие бессточные методы обработки подпиточной воды для тепловых сетей реагентным осаждением, подкислением и др. имеют ограниченные диапазоны применения. Широко распространенные ионообменные методы водород- и натрий-катионирования требуют дополнительных затрат реагентов. Исходя из этого дальнейшее совершенствование методов подготовки воды, направленное на повышение экономической эффективности функционирования систем теплоснабжения, является актуальной технической проблемой [1–4].

Для достижения цели решаются следующие конкретные задачи:

• исследование и обоснование мероприятий по повышению полноты сорбции ионов кальция обрабатываемой воды;

• разработка и исследование способов регенерации ионитов при катионировании питательной воды тепловых сетей и парогенераторов;

• разработка методов бессточной подготовки подпиточной воды тепловых сетей с безреагентной утилизацией стоков.

Одним из важных моментов в создании технологий бессточного водоприготовления, базирующихся на том или ином методе переработки продуктов регенерации ионитных фильтров, является наличие информации о распределении солевых компонентов.

Указанное связано со значительным влиянием процессов разбавления совместно с факторами кинетики ионного обмена в реальных промышленных фильтрах, приводяших к существенной неравномерности выхода продуктов регенерации. Наиболее существенным недостатком катионирования, резко ограничившим его применение для подготовки подпиточной воды тепловых сетей за последние годы, является наличие большого количества жестких солевых стоков, ранее без существенных ограничений сбрасывающихся в водоемы и водостоки путем разбавления исходной водой. Поэтому в настоящее время произошел отказ от использования Н-катионирования в качестве самостоятельного метода подготовки воды теплосетей [1–3].

Необходимые при этом дополнительные затраты на утилизацию стоков делают его экономически неконкурентоспособным по сравнению с бессточными методами подкисления или умягчения реагентным осаждением.

Указанным условиям отвечает использование прямоточного принципа регенерации Н-катионитовых фильтров, загруженных среднокислотными либо слабокислотными катионитами со стехиометоическим расходом кислоты. Качество фильтрата в этом случае не в точности соответствует режиму «голодная регенерация », поскольку некоторое время рабочего цикла вода имеет кислую реакцию.

При этом для устранения кислотности в Н-катионированной воде и сглаживания колебаний щелочности за фильтрами, работающими в таком режиме, включаются буферные саморегенерирующиеся фильтры, загруженные сульфоуглем. Кроме того, данный метод позволяет обеспечить более высокую надежность по сравнению со скрытым подкислением, а также характеризуется компактностью оборудования по сравнению с реагентными методами осаждения.

Характеризуя рассмотренные методы в целом, можно сделать вывод, что существующие бессточные методы реагентного умягчения осаждением и подкислением не позволяют весь комплекс требований к качеству подпиточной воды охватить полностью. В связи с тем имеется актуальная необходимость совершенствования прочих методов, в том числе и ионообменных, с тем чтобы эффективно решить наиболее остро стоящие для них вопросы отсутствия сбросных вод.

Наиболее широко распространен метод снижения щелочности подпиточной воды тепловых сетей – метод водород-натрий катионирования, имеющий достаточно обширный круг модификации, включая параллельное, последовательное и совместное катионирование со стехиометрическим либо избыточным расходом кислоты на регенерацию.

Характеризуя направления по предотвращению загрязнения окружающей среды путем создания и совершенствования методов обработки стоков в целом, следует отметить, что оно неизбежно связано с дополнительными затратами относительно основного технологического цикла, возрастающими пропорционально росту производительности водоподготовки.

Одним из названных направлений является создание новых прогрессивных методов водоподготовки с сокращением потребляемых реагентов и соответственно количества солей в сбросах.

Другим наиболее перспективным направлением по сокращению и ликвидации сбросов водоподготовительных установок является разработка новых технологических решений на базе существующих методов и оборудования путем качественного преобразования их режимов работы и взаимосвязей, а также использования новых реагентов.

Наиболее радикальными мероприятиями в рассматриваемом направлении предотвращения загрязнения окружающей среды стоками водоподготовительных установок являются разработки в области создания высокоэффективных схем умягчения и обессоливания на базе активного привлечения методов реагентного умягчения осаждением с совмещением процессов обработки исходной воды и утилизируемых стоков в основном технологическом цикле [2].

Источники

1. РД 34.37.504-83. Нормы качества подпиточной и сетевой воды тепловых сетей. М: СПО «Союзтехэнерго», 1984. 7 с.

2. Фейзиев Г.К. Высокоэффективные методы умягчения, опреснения и обессоливания воды. М.: Энергоатомиздат. 1988. 196 с.

3. Копылов А.С., Лавыгин В.М. Водоподготовка в энергетике. М.: МЭИ, 2003. 306 с.

4. Громогласов А.А., Копылов А. С., Пильщиков А.П.: учеб. пособие для вузов / под ред. О.И. Мартыновой. М.: Энергоатомиздат, 1990. 272 с.

УДК 621.315.592

ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ ЭКСТРУДИРОВАННЫХ ОБРАЗЦОВ $BI_{0,7}SB_{1,3}TE_{2,93}SE_{0,07}$, ЛЕГИРОВАННЫХ АТОМАМИ ДИСПРОЗИЯ

Бархал Шабан Бархалов[1], Махамедали Мазахир Зарбалиев[2],
Джошгун Джумшуд Байрамов[3], Сохбат Имир Тагиев[4]

[1]Институт Физики НАН Азербайджана, г. Баку
[2,3]СГУ, г. Сумгаит
[4]Азербайджанский Технический Университет, г. Баку
[1,2,3,4]bbarhal@mail.ru

Представлены результаты экспериментального исследования теплопроводности экструдированных образцов $Bi_{0,7}Sb_{1,3}Te_{2,93}Se_{0,07}$, легированных атомами редкоземельного металла диспрозия, в диапазоне температур от 80 до 300 К. Показано, что для всех образцов доля электронной составляющей коэффициента теплопроводности χ_e не превышает 15 %, тепло в твердых растворах переносится колебаниями решетки, а теплопроводность определяется трехфононными процессами.

Ключевые слова: полупроводники, теплопроводность, трехфононные процессы переброса, рассеяние фононов.

THERMAL CONDUCTIVITY OF EXTRUDED SAMPLES $BI_{0.7}SB_{1.3}TE_{2.93}SE_{0.07}$, DEDICATED BY ATOMY DISPOSIUM

Barhal Shaban Barkhalov, Mahamedali Mazahir Zarbaliyev,
Joshgun Jumshud Bayramov, Sohbat Ymir Tagiyev

The results of an experimental study in the temperature range of 80–300 K of the thermal conductivity of extruded $Bi_{0.7}Sb_{1.3}Te_{2.93}Se_{0.07}$ samples doped with atoms of the rare-earth metal dysprosium are presented. It was shown that for all samples studied in the temperature range 80–300 K the fraction of the electronic component of the thermal conductivity coefficient χ_e does not exceed 15%, and in the studied solid solutions the heat is transferred, mainly by lattice vibrations and the thermal conductivity is determined mainly by three-phonon processes.

Key words: semiconductors, thermal conductivity, three-phonon flip processes, phonon scattering.

Необходимость создания низкотемпературных термоэлектрических охладителей требует разработки материалов, эффективно работающих в области низких температур вплоть до 120–130 К. Анализ литературных данных показывает, что перспективными материалами при таких низких температурах являются твердые растворы $p\text{-}Bi_{2-x}Sb_xTe_{3-y}Se_y$ с замещением атомов ($Sb \rightarrow Bi$) и ($Se \rightarrow Te$) в обеих подрешетках. Возникающие при этом искажения кристаллической решетки приводят к увеличению рассеяния фононов и снижению теплопроводности решетки, что является одной из причин увеличения термоэлектрической эффективности в широком

диапазоне температур – от 80 до 350 К [1, 2]. В работе [2] показано, что монокристаллы твердого раствора состава p-$Bi_{2-x}Sb_xTe_{3-y}Se_y$ (x = 1,3; y = 0,07) являются перспективными материалами для низкотемпературных (менее 220 К) каскадов электронных охладителей.

Однако из-за слоистой структуры прочность указанного материала оказывается низкой. Применение метода экструзии для получения термоэлектрических материалов на основе твердых растворов теллуридов висмута и сурьмы, широко применяемых в качестве материала для *n*- и *p*-ветвей для термоэлектрических преобразователей, в частности, электронных твердотельных охладителей, предназначенных для работы в диапазоне температур от 200 до 350 К, позволяет существенно повысить их прочностные характеристики, сохраняя при этом термоэлектрические параметры близкими к таковым для монокристаллических образцов [3]. Получаемые экструзией материалы обладают мелкодисперсной структурой, текстурой, пониженной теплопроводностью, более высокой механической прочностью, а также устойчивостью к термическим воздействиям.

Получение образцов экструдированного материала связано с проведением целого ряда технологических операций, таких как синтез твердого раствора из исходных компонентов, размельчение синтезированного сплава до состояния порошка, изготовление из полученного порошка методом холодного прессования брикетов и их экструзии (выдавливание брикетов, нагретых до пластического состояния, через фильеру). Экспериментально установлено, что на термоэлектрические характеристики материалов для термоэлектрических преобразователей энергии существенно влияют такие факторы, как давление и температура экструзии, размер частиц исходного порошка, температура и время отжига полученного термоэлектрического материала. Поэтому оптимизацией технологических процессов с учетом физико-химических и технологических особенностей экструдированных материалов можно увеличить эффективность экструдированных термоэлементов и повысить стабильность их параметров как в процессе изготовления термоэлементов, так и в процессе эксплуатации приборов на их основе.

Одним из путей повышения характеристик термоэлектрических материалов для конкретных интервалов температур является также легирование примесями, которые могут приводить к заметному увеличению флуктуаций термоэлектрических свойств, связанных со статистическим характером распределения примесных атомов в решетке матрицы [3].

В настоящей статье представлены результаты экспериментального исследования теплопроводности в диапазоне температур от 80 до 300 К экструдированных образцов $Bi_{0,7}Sb_{1,3}Te_{2,93}Se_{0,07}$, легированных атомами редкоземельного металла диспрозия в количестве до 0,02 ат. %. Для получения образцов были использованы теллур марки «ТВ-Ч», висмут – «Ви-0000», сурьма – «Су-0000», селен – «СВЧ-1», гадолиний – «ГдМ-1». Реакция синтеза проводилась в откачанном объеме с остаточным давлением ~ 10^{-2} Па. Компоненты твердых растворов и редкоземельных элементов, взятые в расчетных соотношениях, сплавлялись при температуре 1300 К в откачанных кварцевых ампулах. Температура в объеме печи повышалась со скоростью 100 К/ч с промежуточными выдержками при 700 и 900 К в течение получаса. При достижении 1300 К рост температуры прекращался и ампула выдерживалась в тепловом поле в течение 6 ч, при непрерывном перемешивании вещества в ней качанием.

На рис. 1 представлены температурные зависимости коэффициента теплопроводности χ для образцов $Bi_{0,7}Sb_{1,3}Te_{2,93}Se_{0,07}$ как нелегированных, так и легированных атомами диспрозия в количестве до 0,02 ат. %. Видно, что в исследованных твердых растворах коэффициент теплопроводности в диапазоне температур от 80 до 300 К уменьшается с ростом температуры как $\chi \sim T^{-1}$ (закон Эйкена).

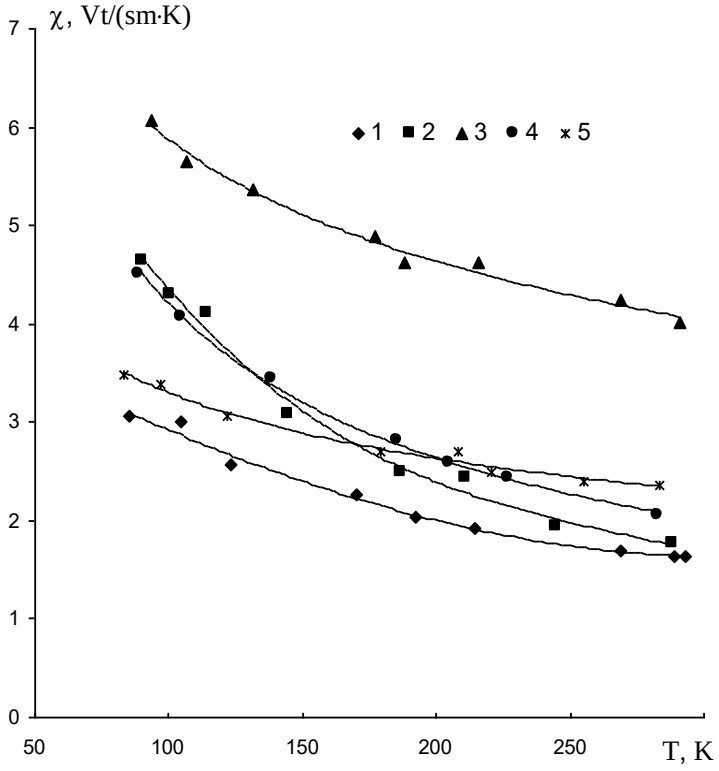


Рис. 1. Зависимость коэффициента теплопроводности образцов $Bi_{0,7}Sb_{1,3}Te_{2,93}Se_{0,07}$ с различным содержанием диспрозия: *1* – 0; *2* – 0,01; *3* – 0,005; *4* – 0,01; *5* – 0,02 ат.% Dy

Для выяснения влияния температуры и состава образцов на механизм теплопроводности были вычислены решеточные χ_q и электронные χ_e составляющие коэффициента теплопроводности и оценены их вклады в общую теплопроводность.

При этом было использовано выражение

$$\chi_e = L\sigma T = A\left(\frac{k}{e}\right)\sigma T ,$$

где σ – удельная электропроводность образца; T – абсолютная температура; L – число Лоренца; k – постоянная Больцмана; e – заряд электрона. Значение A было определено из теоретической зависимости $A = f(\alpha)$ [4, 5] с использованием экспериментальных значений коэффициента термо-эдс α и удельной электропроводности σ. Результаты вычислений показали, что для всех исследованных образцов в диапазоне температур от 80 до 300 К доля электронной составляющей коэффициента теплопроводности χ_e не превышает 15 % и в исследованных твердых растворах тепло переносится в основном колебаниями решетки (фононами).

На рис. 2 представлен график зависимости решеточного теплового сопротивления $W_{\text{р}} = 1/\chi_{\text{р}}$, где $\chi_{\text{р}} = \chi - \chi_e$, от температуры,

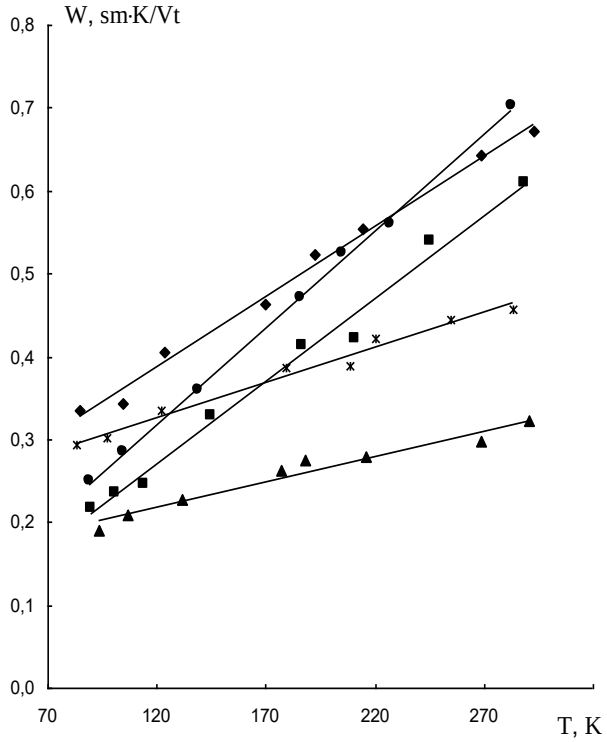


Рис. 2. Зависимость решеточного теплового сопротивления образцов $Bi_{0,7}Sb_{1,3}Te_{2,93}Se_{0,07}$ с различным содержанием Dy

Из рисунка видно, что с повышением температуры решеточное тепловое сопротивления $W_{\text{р}}$ увеличивается согласно закону:

$$W_{\text{р}} = \text{const} \cdot T .$$

Таким образом, в исследованных составах в диапазоне температур от 80 до 300 К теплопроводность определяется трехфононными процессами.

Отрезки, отсекаемые на оси ординат при экстраполяции зависимостей $W_{\text{р}} \sim T$ к значению $T = 0$ соответствуют дополнительному тепловому сопротивлению, возникающему за счет структурных дефектов в каждом составе.

В исследованных образцах с увеличением температуры коэффициент теплопроводности χ уменьшается. Однако с увеличением процентного содержания диспрозия Dy коэффициент теплопроводности χ изменяется немонотонно. С увеличением концентрации примеси диспрозия коэффициент теплопроводности растет, проходит через максимум при 0,005 ат. % Dy и в дальнейшем с ростом содержания диспрозия падает.

Обычно при введении в материал в качестве примеси атомов тяжелых металлов за счет создания дополнительного механизма рассеяния общий коэффициент теплопроводности должен уменьшаться. Однако ввиду того, что при концентрации примеси диспрозия до 0,005 ат. % Dy наблюдается обратное, можно заключить, что введенные в качестве примеси атомы диспрозия в рассматриваемом диапазоне, занимая существующие в твердом растворе вакантные центры, уменьшают дефектность структуры, что в свою очередь приводит к росту теплопроводности. При дальнейшем росте концентрации примеси диспрозия коэффициент теплопроводности уменьшается.

В [5] была выявлена немонотонная зависимость электрических параметров твердого раствора от концентрации примесей диспрозия. Было показано, что зависимость удельной электропроводности от концентрации примесей диспрозия проходит через максимум при концентрации 0,005 ат.% Dy. Такая зависимость объяснялась тем, что атомы Dy в исследованном твердом растворе играют роль акцепторов и при концентрациях примеси до 0,005 ат. % Dy приводят к росту концентрации дырок и тем самым к повышению электропроводности. В то же время при концентрациях примеси больше 0,005 ат. % Dy с ростом концентрации дефектов

в образцах усиливается рассеяние носителей заряда и наблюдается как уменьшение коэффициента теплопроводности, так и падение электропроводности образцов за счет превалирования уменьшения подвижности зарядов, что подтверждается измерениями коэффициента Холла и подвижностью носителей заряда.

Источники

1. Ettenberg M.N., Jesser W.A., Rosi F.D. A new n-type and improved p-type pseudo-ternary $(Bi_2Te_3)(Sb_2Te_3)(Sb_2Se_3)$ alloy for Peltier cooling // Proceedings of the Fifteenth International Conference on Thermoelectrics. Pasadena, CA, USA. 1996. P. 52–56.

2. Кутасов В.А., Константинов П.П., Лукьянова Л.Н. // Термоэлектрики и их применения: сб. докл. V Межгос. семинара. Санкт-Петербург, 1997. С. 14.

3. Гольцман Б.М., Кудинов В.А., Смирнов И.А. Полупроводниковые термоэлектрические материалы на основе Bi_2Te_3. М.: Наука, 1972. 320 с.

4. Чижевская С.Н., Шелимова Л.Е. Электроактивные и инактивные примеси в Bi_2Te_3 и их взаимодействие с антиструктурными дефектами // Неорганические материалы. 1995. Т. 31. № 9. С. 1184–1197.

5. Материалы VII Межгосударственного семинара «Термоэлектрики и их применение» Бархалов Б.Ш. [и др.] Санкт-Петербург, 2000. С. 64.

УДК 536.2.022:69

МЕТОД НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ОГРАЖДАЮЩЕЙ СТРОИТЕЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ ПРИ СТАЦИОНАРНОМ ТЕПЛОВОМ РЕЖИМЕ

Валерия Павловна Березина[1], Фёдор Дмитриевич Карпов[2],
Валерия Анатольевна Лемешева[3], Денис Федорович Карпов[4]

[1]ФГБОУ ВО «ВоГУ», г. Вологда
[2,3,4]ФГБОУ ВО «СПбГУ», г. Санкт-Петербург
[1]ranel19@yandex.ru, [2,3,4]79116705570@mail.ru

Представлены краткий обзор методов теплового неразрушающего контроля и методика неразрушающего определения коэффициента теплопроводности фрагмента ограждающей строительной конструкции из силикатного кирпича в стационарных тепловых условиях. Знание фактического значения коэффициента теплопроводности позволяет рассчитывать термическое сопротивление и сопротивление теплопередаче одно- и многослойных ограждающих строительных конструкций соответственно.

Ключевые слова: коэффициент теплопроводности, тепловой неразрушающий контроль, теплофизические свойства, тепловизионная съемка.

METHOD OF NON-DESTRUCTIVE THERMAL CONDUCTIVITY MONITORING OF PROTECTIVE CONSTRUCTION STRUCTURE AT THE STATIONARY THERMAL MODE

Valeria Pavlovna Berezina, Fedor Dmitrievich Karpov,
Valeria Anatolyevna Lemesheva, Denis Fedorovich Karpov

A brief review of the methods of thermal non-destructive testing and the method of non-destructive determination of the thermal conductivity coefficient of a fragment of a protective building construction made of silica brick in stationary thermal conditions are presented. Knowledge of the actual value of the thermal conductivity coefficient allows calculating the thermal resistance and heat transfer resistance of single- and multi-layer building envelopes, respectively.

Key words: thermal conductivity coefficient, thermal non-destructive testing, thermal properties, thermal imaging.

Тепловой неразрушающий контроль является одним из современных и быстроразвивающихся методов неразрушающего контроля. Тепловой контроль благодаря своей информативности, возможности сплошного и непрерывного наблюдения, высокой степени точности и оперативности позволяет в целом значительно повысить надежность оценок технического состояния и качества объектов [1 – 3].

Метод теплового неразрушающего контроля основан на регистрации изменений тепловых или температурных полей контролируемых объектов. Он применим к объектам из любых материалов. Распределение температур в изделии зависит от его свойств: геометрических параметров, химического состава, наличия дефектов и других. По характеру взаимодействия теплового поля с объектом контроля различают следующие методы теплового неразрушающего контроля: активный (объект нагревают или охлаждают от внешнего источника), пассивный (на объект не воздействуют внешним источником энергии), односторонний, двусторонний, комбинированный, контактный, неконтактный и некоторые другие [4].

При тепловом неразрушающем контроле применяют следующие виды приборов: тепловизор, термограф, эвапорограф, термопрофилограф, инфракрасный видикон и некоторые другие.

В методах теплового неразрушающего контроля в качестве пробной энергии используется тепловая энергия, распространяющаяся в объекте контроля. Температурное поле поверхности объекта является источником информации об особенностях процесса теплопередачи, которые, в свою очередь, зависят от наличия внутренних или наружных дефектов [3]. Под дефектом при этом понимается наличие скрытых раковин, полостей, трещин, инородных включений и т. д., всевозможных отклонений физических свойств объекта от нормы, наличия мест локального перегрева (охлаждения) и т. п.

Методы теплового неразрушающего контроля основаны на взаимодействии теплового поля объекта с термодинамическими чувствительными элементами (термопарой, фотоприемником, жидкокристаллическим индикатором и т. д.), преобразовании параметров поля (интенсивности, температурного градиента, контраста, лучистости и др.) в электрический сигнал и передаче его на регистрирующий прибор.

Достоинствами теплового неразрушающего контроля являются: дистанционность, высокая скорость обработки информации; высокая производительность испытаний; высокое линейное разрешение: возможность контроля при одно- и двустороннем подходе к изделию; теоретическая возможность контроля любых материалов; многопараметрический характер испытаний; возможность взаимодополняющего сочетания теплового неразрушающего контроля с другими видами неразрушающего контроля; сочетаемость со стандартными системами обработки информации; возможность поточного контроля и создания автоматизированных систем контроля и управления технологическими процессами.

Однако для реализации широких возможностей теплового неразрушающего контроля необходима планомерная работа, во-первых, по системному развитию технологий его применения, включая соответствующие аппаратные, программные и методические разработки, во-вторых, по встраиванию данного метода в действующие системы экспертизы промышленной безопасности и оценки соответствия, в-третьих, по созданию системы надлежащего контроля за качеством проведения теплового неразрушающего контроля [5].

В справочнике [5] представлены физические модели теплового контроля, рассмотрены вопросы теплопередачи в дефектных и бездефектных структурах, оптимизация процедур теплового контроля, тепловая дефектометрия, обработка данных в тепловом контроле, системы активного и пассивного теплового контроля, элементы статистической оценки данных и принятия решений, области применения теплового контроля, аттестация специалистов в области теплового контроля, нормативные документы, типовая программа подготовки персонала по тепловому контролю.

Следует отметить, что современный уровень обеспечения теплового неразрушающего контроля в области технических средств съема и обработки тепловизионной информации весьма высок. Однако и в существующих методах и средствах теплового неразрушающего контроля есть свои незначительные недостатки, поэтому вопрос по созданию новых, усовершенствованных методов и средств теплового неразрушающего контроля остается открытым [5].

Аналитический обзор литературы [1, 3, 5] позволяет констатировать: диапазон методов теплового неразрушающего контроля крайне широк. Часть методов теплового неразрушающего контроля применима для исследования комплекса теплофизических свойств материалов ограждающих строительных конструкций зданий и сооружений [1, 3], другая – для выявления тепловых и технических дефектов [5]. Обзор объектов интеллектуальной собственности также позволил выявить ряд методов, средств и устройств в области неразрушающего контроля, в частности теплового неразрушающего контроля [6].

В монографии [7] отмечено, что при разработке, испытании и эксплуатации изделий из многослойных материалов необходимо иметь информацию о теплофизических свойствах как отдельных слоев, так и всей конструкции в целом, так как эти свойства являются параметрами, определяющими надежность, работоспособность, а в итоге и качество готовых изделий. Среди методов и средств контроля особое место занимают неразрушающие методы определения теплофизических свойств материалов и изделий. В статье [8] отмечено, что в настоящее время одной из наиболее актуальных задач является поиск энергосберегающих мероприятий и инженерных решений по созданию ограждающих конструкций зданий и сооружений с минимальными тепловыми потерями. Большую роль в этом играют создание новых строительных, теплоизоляционных, облицовочных материалов и изделий, а также разработка новых эффективных методов и средств неразрушающего определения теплофизических свойств материалов и изделий.

Анализ методов измерения и контроля теплофизических свойств объектов различного назначения показал, что все нюансы теплопередачи и тепломассопереноса через ограждающие строительные конструкции наиболее полно могут учесть экспериментальные методы, основанные на изучении температурных и градиентных полей, тепловых потоков и свойств после создания определенного температурного режима.

Один из таких методов теплового контроля материалов ограждающих строительных конструкций зданий и сооружений может быть основан на применении инфракрасных излучателей [7].

Также обзор литературы [9] показал, что в методах теплового неразрушающего контроля довольно часто применяется тепловизионная съемка, однако лишь с целью выявления тепловых и технических дефектов, оценки теплозащитных свойств ограждающих строительных конструкций зданий и сооружений. Однако для комплексного определения основных теплофизических свойств материалов ограждающих строительных конструкций зданий и сооружений тепловизионная съемка применяется крайне редко.

Рассмотрим методику неразрушающего определения коэффициента теплопроводности фрагмента ограждающей строительной конструкции из силикатного кирпича в стационарных тепловых условиях.

Данная методика относится к стационарным методам определения теплопроводности плоских одно- и многослойных конструкций. Может применяться в строительстве при проведении тепловых испытаний однородных и неоднородных строительных объектов, теплопроводных и теплоизоляционных материалов.

Метод включает в себя бесконтактное одностороннее неразрушающее тепловое воздействие на исследуемый фрагмент ограждающей строительной конструкции с помощью источника инфракрасного излучения, аналитическое установление момента наступления стационарного теплового режима фрагмента ограждающей строительной конструкции, регистрацию температурных полей передней и задней лицевых поверхностей фрагмента ограждающей строительной конструкции с помощью бесконтактного измерителя – тепловизора, нахождение плотности теплового потока, идущего в направлении к передней лицевой поверхности фрагмента ограждающей строительной конструкции от источника инфракрасного излучения, экспериментально-расчетное определение коэффициента теплопроводности фрагмента ограждающей строительной конструкции по уравнению теплопроводности для плоской стенки при стационарном тепловом режиме.

Если начальный момент времени принять равным нулю, то время τ за которое фрагмент ограждающей строительной конструкции выйдет на стационарный тепловой режим, вычисляют по выражению [1]:

$$\tau = \frac{\delta^2}{a}, \qquad (1)$$

где δ – толщина фрагмента ограждающей строительной конструкции, м; a – температуропроводность материала, из которого состоит фрагмент ограждающей строительной конструкции, $\text{м}^2/\text{с}$. Температуропроводностью материала предварительно задаются, например, используя СП 23-101-2004, или определяют экспериментально [1, 10].

Пусть t_0 и t_δ – средние значения температур передней лицевой поверхности и задней лицевой поверхности или отдельных участков фрагмента ограждающей строительной конструкции соответственно в координатах $x = 0$ и $x = \delta$ (табл. 1) при установившемся стационарном тепловом

режиме с момента времени τ. Тогда для определения коэффициента теплопроводности фрагмента ограждающей строительной конструкции λ_t применяют уравнение теплопроводности для плоской стенки при стационарном тепловом режиме [1, 2]:

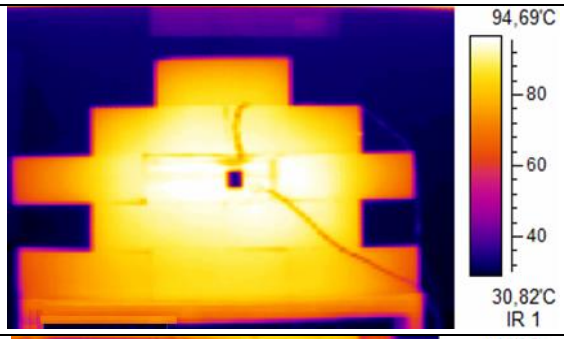
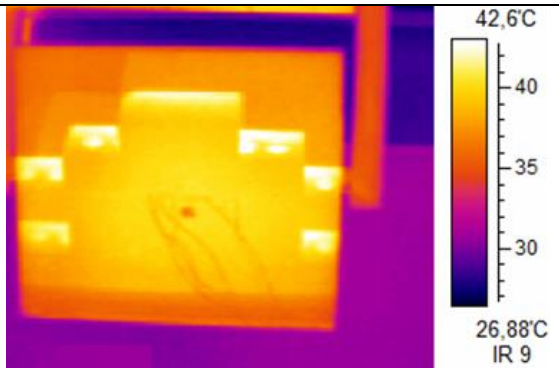
$$\lambda_t = \frac{q\delta}{t_0 - t_\delta}, \tag{2}$$

где q – плотность теплового потока на передней лицевой поверхности фрагмента ограждающей строительной конструкции при $x = 0$ по данным измерителя плотности теплового потока ИПП-2, $Вт/м^2$; δ – толщина фрагмента ограждающей строительной конструкции, м.

В табл. 1 представлены результаты измерения температурных полей передней лицевой поверхности и задней лицевой поверхности фрагмента ограждающей строительной конструкции из силикатных кирпичей (кирпич строительный 3-пустотный М150 по ГОСТ 379-2015).

Таблица 1

Результаты тепловизионной съемки фрагмента ограждающей строительной конструкции из силикатного кирпича

x	Термограмма (тепловое изображение)	Температура поверхности
0		$t_{max} = 94{,}69$ °C; $t_{min} = 76{,}20$ °C; $t_{av} = 85{,}45$ °C
δ		$t_{max} = 42{,}60$ °C; $t_{min} = 36{,}00$ °C; $t_{av} = 39{,}30$ °C

В процессе эксперимента замеры выполнены три раза. В каждом из экспериментов термограммы тепловизионной съемки отбирались с учетом качества изображения, дающего максимально достоверную информацию

о температурном состоянии поверхностей исследуемого объекта. Полученные тепловизором Testo 881-2 Profi [3] термограммы обрабатывались в прикладном программном обеспечении IRSoft.

В качестве источника инфракрасного излучения использован электрический инфракрасный излучатель марки Эколайн ЭЛК 10R суммарной мощностью $N = 3$ кВт, расположенный на расстоянии 0,6 м от передней лицевой поверхности фрагмента ограждающей строительной конструкции.

Коэффициент температуропроводности фрагмента ограждающей строительной конструкции из силикатного кирпича равен $a = 5{,}3 \cdot 10^{-7}$ м^2/с [1]. Тогда по формуле (1) начало стационарного теплового режима для фрагмента ограждающей строительной конструкции из силикатного кирпича $\tau = 27\ 170$ с (по результатам эксперимента $\tau' = 30\ 000$ с).

В табл. 2 представлены результаты определения приведенного коэффициента теплопроводности фрагмента ограждающей строительной конструкции из силикатного кирпича, согласно выражению (2).

Таблица 2

Коэффициенты теплопроводности фрагмента ограждающей строительной конструкции из силикатного кирпича

№	q, Вт/м^2	δ, м	t_0, °С	t_δ, °С	λ_t, Вт/(м·К)
1	385	0,12	94,5	39,0	0,832
2			93,9	37,5	0,819
3			92,6	36,3	0,820
Среднее значение $\lambda_{t,av}$, Вт/(м·К)					0,824

Результат определения теплопроводности фрагмента ограждающей строительной конструкции из силикатного кирпича методом теплового неразрушающего контроля при стационарном тепловом режиме согласуется с нормативной величиной из СП 23-101-2004, равной 0,82 Вт/(м·К).

Рассмотренный способ определения коэффициента теплопроводности фрагмента ограждающей строительной конструкции из силикатного кирпича относится к активным методам неразрушающей бесконтактной термометрии при проведении теплотехнических измерений. В сравнении с классическими способами определения теплофизических свойств строительных материалов при стационарном и нестационарном тепловых режимах рассмотренный метод отвечает современным научно-техническим требованиям: использование источника бесконтактного нагрева; определение

температурных полей исследуемого тела бесконтактным способом; применение измерительных приборов, действие которых основано на генерации и получении инфракрасного или ультразвукового сигнала.

Метод может применяться в условиях эксплуатации строительных объектов и их элементов как с целью комплексного определения теплофизических свойств строительных материалов, так и для идентификации теплотехнических дефектов, оценки теплозащитных свойств ограждающих строительных конструкций зданий и сооружений [11, 12].

Знание фактического коэффициента теплопроводности позволяет определять фактическое сопротивление теплопередаче (термическое сопротивление) ограждающей строительной конструкции [1–3].

Источники

1. Исследование теплопроводности и температуропроводности твердого тела при стационарном и нестационарном тепловых режимах: учеб. пособие. / Синицын А.А. [и др.]. Вологда: ВоГУ, 2014. 176 с.

2. Синицын А.А., Карпов Д.Ф., Павлов М.В. Теория и практика теплообмена: учеб. пособие. Вологда: ВоГТУ, 2013. 71 с.

3. Синицын А.А., Карпов Д.Ф., Павлов М.В. Основы тепловизионной диагностики теплопотребляющих объектов строительства: учеб. пособие. Изд. 2-е, испр. и доп. Вологда: ВоГУ, 2014. 160 с.

4. ГОСТ Р 53698-2009. Контроль неразрушающий. Методы тепловые. Термины и определения. М.: ФГУП «ВНИИОФИ», 2010. 12 с.

5. Неразрушающий контроль: справочник: в 8 т. / под общ. ред. В.В. Клюева. М.: Машиностроение, 2006. Т. 5, кн. 1–2. 679 с.

6. Способ теплового неразрушающего контроля рабочего тела: пат. 2379668 Рос. Федерация № 2008140634/28; заявл. 13.10.08; опубл. 20.01.10. Бюл. № 2.

7. Неразрушающий контроль теплозащитных свойств многослойных строительных изделий: монография / А.В. Чернышев [и др.]. Москва: Изд-во «Машиностроение-1», 2007. 112 с.

8. Игонин В.И., Карпов Д.Ф., Белянский Д.А. Некоторые возможности использования неразрушающей передачи энергии для изучения свойств ограждающих конструкций // Эффективные строительные конструкции: теория и практика: сб. ст. VII Междунар. науч.-техн. конф. Пенза, 2008. С. 88–91.

9. Некоторые результаты тепловизионной дефектоскопии фрагмента ограждающей строительной конструкции / В.И. Игонин [и др.] // Вузовская наука – региону: матер. 9-й Всерос. науч.-техн. конф.: в 2 т. Вологда, 2011. Т. 1. С. 161–166.

10. Способ определения температуропроводности твердого тела при нестационарном тепловом режиме: пат. 2502989 Рос. Федерация № 2012129603/28; заявл. 12.07.12; опубл. 27.12.13. Бюл. № 36.

11. Игонин В.И., Карпов Д.Ф. Экспериментально-лабораторная модель для исследования локальных экоэнергетических характеристик ограждающих конструкций зданий и сооружений // Экология: проблемы и перспективы социально-экологической реабилитации территорий и устойчивого развития: тр. 3-й Всерос. науч.-практ. конф. Вологда, 2010. С. 162–172.

12. Авдухина А.С., Максимова Г.В., Карпов Д.Ф. Некоторые возможности тепловизирования в идентификации тепловых и технических дефектов ограждающих конструкций строительных объектов // Состояние и пути развития Российской энергетики: матер. Молод. науч. школы-конф. / Нац. исслед. Томский политех. ун-т. Томск, 2014. С. 302–307.

УДК 378.1

ПОПУЛЯРИЗАЦИЯ РОССИЙСКОЙ НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ НА ПРИМЕРЕ ИННОВАЦИОННЫХ ОБУЧАЮЩИХ ПОСОБИЙ ПО НАПРАВЛЕНИЯМ ПОДГОТОВКИ «СТРОИТЕЛЬСТВО» И «ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА И ТЕПЛОТЕХНИКА»: ВЗГЛЯД СТУДЕНТА

Валерия Павловна Березина[1], Евгений Юрьевич Климов [2],
Антон Антонович Лойко[3], Денис Федорович Карпов[4]

ФГБОУ ВО «ВоГУ», г. Вологда
[1]ranel19@yandex.ru, [2]tm35@list.ru, [3]aloykotransgaz@mail.ru

С целью популяризации российской науки и высшего образования, повышения доступности научно-технических дисциплин для обучающихся по направлениям подготовки «Строительство» и «Теплоэнергетика и теплотехника» представлен краткий обзор инновационных образовательных технологий в виде учебных и учебных наглядных пособий, разработанных учеными-преподавателями Вологодского государственного университета.

Ключевые слова: образование, наука, учебное пособие, учебное наглядное пособие, теплообмен, гидравлика, тепловизионная съемка, теплопроводность, температуропроводность, твердое тело.

POPULARIZATION OF RUSSIAN SCIENCE AND HIGHER EDUCATION ON THE EXAMPLE OF INNOVATIVE TRAINING BENEFITS IN THE DIRECTIONS OF «CONSTRUCTION» AND «HEAT ENERGY AND HEAT ENGINEERING» TRAINING: A STUDENT'S VIEW

Valeria Pavlovna Berezina, Yevgeny Yurbevich Klimov,
Anton Antonovich Loyko, Denis Fedorovich Karpov

In order to popularize Russian science and higher education, increase the accessibility of scientific and technical disciplines for students in the areas of training “Construction” and “Thermal Engineering and Thermal Engineering”, a brief overview of innovative educational technologies in the form of educational and training visual aids developed by scientists and teachers of the Vologda State University is presented. university.

Key words: education, science, textbook, educational, visual aid, heat exchange, hydraulics, thermal imaging, thermal conductivity, thermal diffusivity, solid body.

Сегодня на рынке учебно-образовательных материалов доступно большое количество иностранных обучающих пособий. Очевидно, что отечественные презентационные материалы по науке и образованию уступают зарубежным аналогам по многим показателям и, в первую очередь, доступностью изложения и визуальностью материала.

В Вологодском государственном университете развернута работа по популяризации науки в целом и повышению доступности научно-технических дисциплин для обучающихся по направлениям подготовки 08.03.01 «Строительство» направленность «Теплогазоснабжение и вентиляция», и 13.03.01 «Телпоэнергетика и теплотехника», направленность «Промышленная теплоэнергетика».

Группа ученых и преподавателей Вологодского государственного университета (А.А. Синицын, Д.Ф. Карпов, М.В. Павлов и др.) разработала инновационные образовательные технологий на примере теории и практики теплообмена, теории и практики гидравлики, основ тепловизионной диагностики, теплофизических исследований твердых тел, моно- и полидисперсных жидких и сыпучих сред [1–6]. Все разработки в [1–6] защищены патентами РФ на изобретения [7–21].

На наш взгляд, для того чтобы заинтересовать школьников, абитуриентов и студентов естественными науками, презентационные образовательные материалы обязаны быть интересными и современными. Считаем, что такая работа может стать стимулом для получения и совершенствования знаний в рамках как школьного, вузовского, так и послевузовского образования.

Кратко представим образовательные технологии, разработанные преподавателями Вологодского государственного университета.

В учебных наглядных пособиях «Теория и практика теплообмена» (на русском языке) [1] и «Теория и практика теплообмена» (на английском языке) [2] в иллюстративной форме изложены основы теории теплопередачи: теплопроводность, конвекция и инфракрасное излучение (рис. 1). Представлены наглядные примеры практического применения законов теплообмена, через которые раскрыта связь теоретической дисциплины с современным строительством и промышленной теплоэнергетикой. Учебные наглядные пособия могут применяться в качестве учебно-методических и научно-популярных материалов для школьников, школьных учителей, студентов, бакалавров, магистрантов, аспирантов и соискателей, преподавателей вузов.



Рис. 1. Учебные наглядные пособия «Теория и практика теплообмена» на русском (2013 г.) и английском (2016 г.) языках

Учебное пособие «Основы тепловизионной диагностики теплопотребляющих объектов строительства» [3] предлагает читателю ознакомиться с теоретическими и практическими основами применения тепловизионной техники при выполнении инфракрасной диагностики теплопотребляющих и теплогенерирующих объектов строительства и энергетики (рис. 2). Рассмотрены основные положения по организации, проведению и передаче заказчику результатов тепловизионной съемки зданий и сооружений. Дано краткое описание современных тепловизоров известных марок и производителей, уделено внимание приборно-измерительной базе теплотехнической части энергетического обследования, вопросам формирования ценообразования при проведении тепловизионного обследования.

Работа основана на результатах отечественных и зарубежных специалистов в области практического приложения метода теплового неразрушающего контроля на объекты строительства и предназначена для научных работников, инженеров, практических операторов-термографистов и студентов соответствующих специальностей и направлений подготовки вузов.

В учебном наглядном пособии «Гидравлика. Теория и практика» [4] представлены краткие сведения по гидравлике с контрольными задачами и примерами их решения, а также рассмотрены элементы гидравлического расчета трубопроводов и оборудования различного инженерного назначения (рис. 2). Приведены варианты практического применения законов гидравлики в области проектирования систем теплогазоснабжения и вентиляции, а также объектов промышленной теплоэнергетики.



Рис. 2. Учебное пособие «Основы тепловизионной диагностики теплопотребляющих объектов строительства» (2014 г.) и учебное наглядное пособие «Гидравлика. Теория и практика» (2016 г.)

В учебном пособии «Исследование теплопроводности и температуропроводности твердого тела при стационарном и нестационарном тепловых режимах» [5] рассмотрены авторские способы лабораторно-экспериментального определения основных теплофизических свойств твердого тела: коэффициентов теплопроводности и температуропроводности (рис. 3). На примере известных строительных материалов (силикатного и керамического кирпичей) выполнена апробация приведенных способов теплофизических измерений. Итоговые результаты сопоставлены с нормативными и справочными данными, а также со значениями, полученными в ходе реализации других методов исследования.

В учебном пособии «Исследование процессов тепломассопереноса в слое почвы на примере фрезерного торфа при инфракрасно-лучистом обогреве» [6] рассмотрены вопросы прогнозирования температурно-

влажностного режима почвы в условиях лучистого отопленииия (рис. 3). По авторским методикам выполнено экспериментально-расчетное определение основных теплофизических характеристик почвы на примере фрезерного торфа: удельной теплоемкости, коэффициентов теплопроводности и температуропроводности. Исследован тепловой баланс деятельной поверхности торфяной почвы при работе источника инфракрасного излучения. Составлена и решена различными аналитическими методами математическая модель сопряженной диффузии теплоты и массы в слое дисперсного материала. Проведена апробация решений на экспериментальной установке «инфракрасный излучатель – фрезерный торф» и сделана проверка итогового решения в натурных условиях (на примере производственной теплицы). Представлена технико-экономическая оценка применения лучистого отопления в агроклиматических системах закрытого типа.



Рис. 3. Учебные пособия «Исследование теплопроводности и температуропроводности твердого тела при стационарном и нестационарном тепловых режимах» (2014 г.) и «Исследование процессов тепломассопереноса в слое почвы на примере фрезерного торфа при инфракрасно-лучистом обогреве» (2015 г.)

В настоящее время авторским коллективом (А.А. Синицын, Д.Ф. Карпов, М.В. Павлов и др.) готовятся к изданию еще два учебных наглядных пособия «Теплообмен. Теория и практика» и «Термодинамика. Теория и практика».

С представленными учебными пособиями можно ознакомиться на сайте электронной библиотеки Вологодского государственного университета [22].

Источники

1. Синицын А.А., Карпов Д.Ф., Павлов М. В. Теория и практика теплообмена: учеб. наглядное пособие. Вологда: ВоГТУ, 2013. 71 с.

2. Теория и практика теплообмена: учеб. наглядное пособие / А.А. Синицын [и др.]. Вологда: ВоГУ, 2016. 72 с.

3. Синицын А.А., Карпов Д.Ф., Павлов М.В. Основы тепловизионной диагностики теплопотребляющих объектов строительства: учеб. пособие. 2-е изд. испр. и доп. Вологда: ВоГУ, 2014. 160 с.

4. Гидравлика. Теория и практика: учеб. наглядное пособие. / М.В. Павлов [и др.] Вологда: ВоГУ, 2016. 83 с.

5. Исследование теплопроводности и температуропроводности твердого тела при стационарном и нестационарном тепловых режимах: учеб. пособие / А.А. Синицын [и др.] Вологда: ВоГУ, 2014. 176 с.

6. Исследование процессов тепломассопереноса в слое почвы на примере фрезерного торфа при инфракрасно-лучистом обогреве: учеб. пособие / М.В. Павлов [и др.]. – Вологда: ВоГУ, 2015. – 192 с.

7. Способ теплового неразрушающего контроля рабочего тела: пат. 2379668 Рос. Федерация. № 2008140634/28; заявл. 13.10.08; опубл. 20.01.10. Бюл. № 2.

8. Устройство для контроля температурного режима защищенного грунта: пат. 2402194 Рос. Федерация. № 2009117591/21; заявл. 08.05.09; опубл. 27.10.10. Бюл. № 30.

9. Устройство для определения альбедо деятельной поверхности материала: пат. 2456558 Рос. Федерация. № 2011109327/28; заявл. 11.03.11; опубл. 20.07.12. Бюл. № 20.

10. Калориметр для определения объемной теплоемкости сухих сыпучих материалов: пат. 2459187 Рос. Федерация. № 2011109338/28; заявл. 11.03.11; опубл. 20.08.12. Бюл. № 23.

11. Способ определения теплопроводности и температуропроводности твердого тела при нестационарном тепловом режиме: пат. 2460063 Рос. Федерация № 2011114685/28; заявл. 13.04.11; опубл. 27.08.12. Бюл. № 24.

12. Способ определения теплопроводности твердого тела активным методом теплового неразрушающего контроля: пат. 2488102 Рос. Федерация. № 2012106323/28; заявл. 21.02.12; опубл. 20.07.13. Бюл. № 20.

13. Способ определения теплопроводности сыпучих материалов при нестационарном тепловом режиме: пат. 2502988 Рос. Федерация. № 2012129592/28; заявл. 12.07.12; опубл. 27.12.13. Бюл. № 36.

14. Способ определения температуропроводности твердого тела при нестационарном тепловом режиме: пат. 2502989 Рос. Федерация. № 2012129603/28; заявл. 12.07.12; опубл. 27.12.13. Бюл. № 36.

15. Способ исследования нестационарного теплового режима твердого тела: пат. 2518224 Рос. Федерация. № 2012156990/28; заявл. 25.12.2012; опубл. 10.06.2014. Бюл. № 16.

16. Устройство и способ комплексного определения основных теплофизических свойств твердого тела: пат. 2530473 Рос. Федерация № 2013119005/28; заявл. 23.04.13; опубл. 10.10.14. Бюл. № 28.

17. Способ определения теплопроводности твердого тела цилиндрической формы при стационарном тепловом режиме: пат. 2551663 Рос. Федерация № 2013133572/28; заявл. 18.07.13; опубл. 27.05.15. Бюл. № 15.

18. Способ определения коэффициента теплопроводности жидкой тепловой изоляции в лабораторных условиях: пат. 2568983 Рос. Федерация № 2014125679/28; заявл. 24.06.14; опубл. 20.11.15. Бюл. № 32.

19. Способ определения коэффициента теплопроводности жидкой тепловой изоляции в натурных условиях: пат. 2602595 Рос. Федерация № 2015112401/28; заявл. 06.04.15; опубл. 20.11.16. Бюл. № 32.

20. Способ определения коэффициента теплопроводности жидкой тепловой изоляции на поверхности плоского источника теплоты: пат. 2610348 Рос. Федерация № 2015147077; заявл. 02.11.15; опубл. 09.02.17. Бюл. № 4.

21. Способ определения коэффициента теплопроводности жидкой тепловой изоляции при нестационарном тепловом режиме: пат. 2646437 Рос. Федерация. № 2016148988; заявл. 13.12.16; опубл. 05.03.18. Бюл. № 7.

22. Электронная библиотека ВоГУ [Электронный ресурс]. URL: http://www.library.vstu.edu.ru.

УДК 628.16

СИСТЕМЫ ВОДООЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Булат Альбертович Гильфанов[1], Сергей Михайлович Власов[2]

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

[1]b_gilfanov@bk.ru, [2]vlasovsm@list.ru

Важно значение имеет развитие современной системы водоотведения бытовых и производственных сточных вод, обеспечивающей высокую степень защиты окружающей природной среды от загрязнений. При разработке новых технологических решений в вопросах эффективного использования систем водоотведения и очистки производственных сточных вод получены существенные результаты.

Ключевые слова: водоочистные сооружения, сточные воды, ЖКХ, водоотводящие системы, водоочистка, инновационные технологии.

WATER TREATMENT SYSTEMS

Bulat Albertovich Gilfanov, Sergey Mikhailovich Vlasov

Of particular importance is the development of a modern water disposal system for domestic and industrial wastewater, which provides a high degree of environmental

protection from pollution. The most significant results were obtained in the development of new technological solutions in the effective use of wastewater systems and industrial wastewater treatment.

Key words: water treatment facilities, wastewater, housing and public utilities, drainage systems, water treatment, innovative technologies.

Вода – источник жизни, значит она должна быть пригодной для потребления. Поселения и размещения промышленных объектов во все времена размещались поблизости от пресных водоёмов, используемых для питьевых, гигиенических, сельскохозяйственных и производственных целей. В процессе использования воды людьми зачастую она изменяла свои первоначальные природные свойства, состав и становилась опасной для человека в санитарном отношении [1]. С каждым годом актуальнее становится проблема охраны окружающей среды и, в частности, рационального использования и охраны водных ресурсов.

В настоящее время рост городов способствует увеличению потребления воды и его загрязнению. А значение пресной воды как природного сырья постоянно возрастает. При использовании воды в быту либо в производстве она загрязняется веществами минерального и органического происхождения. Такую воду называют сточной.

Сточные воды могут содержать токсичные вещества и возбудители разных инфекционных заболеваний. Водоочистные системы городов и промышленных предприятий оснащены современными комплексами самотечных и напорных трубопроводов и специальных сооружений, реализующих отведение, очистку, обеззараживание и использование воды и образующихся осадков.

Строительство водоотводящих систем необходимо для обеспечения нормальных жилищно-бытовых условий населения городов и поддержки хорошего состояния окружающей среды. Водоочистные сооружения обычно состоят из комплекса мероприятий по очистке, обеззараживанию и выпуска воды в водоем, из которого осуществлен был забор воды для нужд города. Очистные сооружения состоят из фильтров механической, биологической, физико-химической очистки, обеззараживания, обработки осадков сточных вод и их утилизации.

Каждая часть системы водоочистки выполняет свою задачу. В сооружения механической очистки входят решетки для вылавливания крупных отходов более 1 см. Далее песколовки выделяют из сточных вод нерастворенные минеральные примеси (песок, шлак, бои стекла и др.). Следующие

этапы очистки воды: аэрация, биофильтрация, вторичные отстойники. Физико-химическая очистка – немаловажный этап на очистных сооружениях, включающий в себя флотацию, коагулирование, адсорбцию. Перед выпуском в водоем сточная вода обеззараживается и насыщается кислородом.

На данный момент в нашей стране повышается актуальность повышения эффективности водоснабжения и водоотведения. На первое место встают инновационные технологии и модернизация очистных сооружений, что в свою очередь играет немаловажную роль в жилищно-коммунальном хозяйстве.

Источники

1. Водоотведение: учебник / Ю.В. Воронов [и др.] М.: ИНФРА-М, 2008. 415 с.

2. Воронов Ю.В., Яковлев С.В. Водоотведение и очистка сточных вод: учебник для вузов: М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2006. 704 с.

УДК 62.1

О СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ ВЕНТИЛЯЦИОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ В ЛАЗЕРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ КОМПЛЕКСЕ В ЦЕЛЯХ СНИЖЕНИЯ ВЫБРОСОВ ОКСИДА ЖЕЛЕЗА

Людмила Александровна Голицына [1], Сергей Александрович Голицын[2]

ФБГОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

[1,2]golitsyna_la@mail.ru

Работа посвящена рассмотрению таких аспектов темы как необходимость совершенствования оборудований в современных условиях, характерные черты влияния выбросов оксида железа на организм работников, мерам по улучшению работы вентиляционного оборудования в целях снижения выбросов оксида железа.

Ключевые слова: вентиляционное оборудование, оксид железа, экология.

ON THE DEVELOPMENT OF VENTILATION EQUIPMENT IN THE LASER-TECHNOLOGICAL COMPLEX TO REDUCE IRON OXIDE EMISSIONS

Lyudmila Alexandrovna Golitsyna, Sergey Alexandrovich Golitsyn

The work is devoted to the consideration of such aspects of the topic as the need to improve equipment in modern conditions, the characteristic features of the influence of iron oxide emissions on the body of workers, measures to improve the operation of ventilation equipment in order to reduce emissions of iron oxide.

Key words: ventilation equipment, iron oxide, ecology.

Актуальность темы связана с необходимостью увеличения защиты организма работников фирмы от влиянии вредных примесей при работе в лазерно-технологическом комплексе. В последние годы в фокусе научных исследований находятся поиск путей совершенствования различных технологий при использовании технических средств. В основном это вызвано необходимостью учета современных тенденций в экологическом, социальном, эргономическом и других параметрических и функциональных требованиях к их работе [1,2].

Среди универсальных видов оборудования можно выделить лазерно-технологический комплекс. Лазерно-технологический комплекс – это лазерная технологическая установка, в состав которой входят: манипулятор изделия или оптики, вспомогательная технологическая оснастка и общая система управления для проведения технологических операций [3]. Лазерный технологический комплекс предназначен для выполнения операций лазерной обработки изделий. Лазерные технологии не случайно называют технологиями XXI века. Большинство технологических применений лазеров основано на тепловом действии света, когда в обрабатываемом материале происходят те или иные физические процессы, такие как изменение фазового состояния и структуры, химические реакции, физические переходы – плавление, испарение и т. д.

К помещениям, в которых эксплуатируется лазерное оборудование, предъявляется ряд требований, основные из которых, согласно ГОСТ 31581-2012 «Лазерная безопасность. Общие требования безопасности при разработке и эксплуатации лазерных изделий», касаются воздуха рабочей зоны, наличия приточно-вытяжной вентиляции и т. д.

При лазерном нагреве на поверхности твердых тел возникают различные физические процессы, такие как процессы эмиссии, структурные процессы, поверхностные химические реакции. При окислении железа кислородом воздуха в определенном количестве образуется бурый дым оксида железа Fe_2O_3, который вызывает патологические изменения функции легких. Среднесуточная предельно допустимая концентрация для него в воздухе (в пересчете на железо) – 0,04 мг/м^3. Аэрозоли (пыль, дым) железа и его оксидов, руд и других соединений вызывают специфическое заболевание легких – сидероз.

В состав лазерной технологической установки входят: технологический лазер, система отклонения и фокусировки луча, система наблюдения, оснастка для крепления и перемещения детали, средства контроля за параметрами процесса [4].

В целях снижения выбросов оксида железа необходимо совершенствовать ее вентиляционную систему. Лазерное оборудование спроектировано таким образом, чтобы эффективно удалять появляющийся дым и мелкие частицы при помощи вытяжной системы. Правильно работающая вытяжная система содержит воздух в рабочем помещении в чистоте, неправильно спроектированная – подвергает рабочего несильному, но ощутимому воздействию со стороны аэрозолей и примесей. Поэтому так важно использовать хорошо спроектированную вытяжку для лазерного гравера. Типичной характеристикой для лазерного гравера рабочим полем 500 на 300 является воздушный поток 500 $м^3$/ч при 14 см статического давления.

Большое значение имеет конструкция вытяжной трубки. Необходимо максимально сократить количество изгибов трубки до минимума и длину трубки настолько, насколько это возможно для создания необходимого воздушного потока. Основная трубка должна быть сконструирована из металла диаметром 100 мм, 150 мм. Лучше не использовать пластик или резину, поскольку металлическая трубка позволяет заземлить вытяжную систему. Изолирование швов и соединений металлической трубы герметиком предотвращает утечку воздуха.

Основная часть вытяжной системы – это вентилятор. Лучше всего использовать вентилятор с электрическим мотором [5]. При подборе вентилятора необходимо учитывать его производительность и создаваемое им давление. Во время работы вентилятор создает значительный шум. Поэтому лучше всего его разместить снаружи, а при отсутствии такой возможности – как можно дальше от лазерного станка.

Важную роль при проектировании вентиляционной системы играет «пополнение воздуха», «перемещение воздуха»: так как при выкачивании воздуха из герметичного помещения без пополнения помещения тем же объемом воздуха, давление атмосферы в помещении увеличивается, что впоследствии затрудняет процесс вентилирования помещения. Это может привести к тошноте и головным болям сотрудников. Поэтому пополнение воздуха должно быть существенным: например при вытяжной системе 600 $м^3$/ч пополнение воздуха должно быть равным воздуху, содержащемуся в помещении 2,5×2,5×2,5 м.

Отличная вытяжная система – это тихо работающая система, удаляющая дым, запах, уменьшающая частоту возникновения искр, возгораний, создающая безопасные условия для работы на лазерном оборудовании.

Таким образом, совершенствование вентиляционного оборудования в лазерно-технологическом комплексе включает в себя выбор электрического мотора с соответствующими характеристиками, размер и тип вентилятора для вытяжной системы, своевременное проведение процедуры «пополнения воздуха». В особых случаях необходимо продумать перемещение воздуха через очищающую сетку.

Источники

1. Бурганов Р.А. Взаимодействие экономики и электроэнергетической сферы: институциональное измерение: монография М.: ИНФРА-М, 2017. 123 с.

2. Бурганов Р.А. Концентрация производства и экономическая концентрация как системные основы развития экономики // Журнал экономических исследований. 2016. Т. 2, № 4. 3 с.

3. К вопросу использования лазерного оборудования в цехах гибких автоматизированных производств // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2016. № 12, ч. 7. С. 1301–1306.

4. Голубева В.С., Лебедева Ф.В. Инженерные основы создания технологических лазеров: учеб. пособие для вузов. М.: Высшая школа, 1987. Кн. 1–7.

5. Основы вытяжной системы для лазерного оборудования // Реклаб: Профессиональное рекламное оборудование [сайт]. URL: http://reklab.ru/articles/vitajka-dla-lasera.

УДК 625.12

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ ТРАНСПОРТИРОВКИ ПРИРОДНОГО ГАЗА МЕТОДАМИ НЕЧЕТКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Жанат Ариккулович Даев

Актюбинский университет им. академика С. Баишева,
г. Актобе, Республика Казахстан
zhand@yandex.ru

В работе рассматриваются решения задач, которые возникают при организации трубопроводного транспорта природного газа. Особенностью предлагаемых решений является применение аппарата теории нечетких множеств и методов нечеткого моделирования путем разработки автоматизированных систем контроля параметров процесса транспортировки. Приводятся примеры организации нечетких систем контроля поиска разбалансов объемов газа и образования гидратов в полости трубы.

Ключевые слова: нечеткие множества, автоматизация, природный газ, гидраты, разбаланс.

SOLUTION OF THE TASKS OF AUTOMATING THE TRANSPORTATION PROCESSES OF NATURAL GAS BY FUZZY MODELING METHODS

Zhanat Arikkulovich Dayev

The paper discusses solutions to problems that arise when organizing a pipeline transport of natural gas. A feature of the proposed solutions is the use of the apparatus of the theory of fuzzy sets and methods of fuzzy modeling by developing automated systems for monitoring the parameters of the transportation process. Examples of the organization of fuzzy systems for monitoring the search for gas imbalances and the formation of hydrates in the pipe cavity are given.

Key words: fuzzy sets, automation, natural gas, hydrates, unaccounted-for-gas.

Природный газ занимает важное место в топливно-энергетическом комплексе любых государств. Являясь одним из наиболее важных источников энергии среди остальных ископаемых энергоносителей, его характеризует относительно легкая переработка, транспортировка, система распределения и хранения. В соответствии с результатами исследований в работе [1] уровень его добычи и потребления продолжает неуклонно расти. Доля его потребления среди всех ископаемых источников энергии составляет не менее 24 %. Мнение ведущих экспертов сходится в том, что подобный темп потребления природного газа будет только увеличиваться [1, 2]. Поэтому совершенствование процессов транспорта, учета и контроля параметров природного газа являются одними из актуальнейших задач современной газовой промышленности. Задача контроля показателей качества транспортируемого природного газа занимает особое место при эксплуатации магистральных газопроводов.

Транспортировка природного газа, осуществляемая по магистральным газопроводам, сопровождается рядом проблем, которые решаются эксплуатирующими организациями. Среди них особое место занимают потери объемов газа (так называемый разбаланс объемов), контроль и поиск очистных устройств полости газопроводов, недопущение возникновения гидратных пробок в газе, контроль вредных и токсичных веществ в газе и многое другое. Многие из перечисленных задач легко и просто решаются с помощью организации нечетких автоматизированных систем.

В процессе эксплуатации магистральных газопроводов специалистам часто приходится оперировать нечеткими выражениями во время организации того или иного процесса. Данные выражения могут лечь в основу формализации задачи с помощью нечетких множеств и методов нечеткого моделирования. Ниже рассмотрим некоторые задачи, которые возникают во время транспортировки природного газа с помощью магистральных газопроводов.

Среди рассматриваемых задач особое место занимает контроль сведения баланса объемов газа. Потому что в условиях повышения темпов потребления с уменьшением невосполнимых запасов энергоносителей возникает задача постоянного повышения требований к экономичности и эффективности транспортирования газа по магистральным газопроводам [3].

В соответствии с работой [3] под разбалансом природного газа газотранспортной системы (ГТС) понимают разницу поступления учтенного газа из соседних ГТС, в том числе транзитного, из месторождений, подземных хранилищ и учтенного ухода газа, в том числе транзитного и отобранного потребителями газа для закачки в хранилища, расход газа на собственные нужды объектов ГТС, учтенный технологический расход и учтенные потери газа. Источники разбаланса можно разделить на прямые неучтенные потери, а также инструментальные и методические погрешности определения расхода газа [3].

В соответствии с работой [4] модель баланса природного газа в магистральном газопроводе можно представить в следующем виде:

$$Q_E + Q_S = Q_D + Q_{SC} + Q_L + Q_{LP} + Q_{UAG}, \quad (1)$$

где Q_E – объем газа, отправляемый источниками; Q_S – газ на хранение; Q_D – газ, отправляемый на объект потребления; Q_{SC} – газ на собственные нужды для поддержания работоспособности; Q_L – объем естественных потерь; Q_{LP} – объем, необходимый для заполнения участка магистрального газопровода; Q_{UAG} – неучтенный газ (разбаланс).

Поэтому организации, эксплуатирующие ГТС, постоянно работают над уменьшением объемов разбаланса. В соответствии с работой [3] ГТС представляет собой большую и сложную систему, в которой невозможен анализ разбаланса путем полного и точного учета всех составляющих баланса.

Разобьём газопровод на отдельные участки. В качестве таких участков можно рассмотреть расстояния между крановыми узлами газопровода. В этом случае между двумя крановыми узлами помимо основного транзитного потока газа может находиться конечное число потребителей газа и конечное число источников газа. Описываемый участок магистрального газопровода показан на рис. 1.

На рис. 1 изображена возможная ситуация, где на входе в участок в точке A измеряется расход Q_E, а на выходе в точке B измеряется расход Q_D. На участке между точками A и B имеются два дополнительных

источника с расходами Q_{E1} и Q_{E2}, а также два потребителями с расходами Q_{D1} и Q_{D2}. Величина разбаланса между точками A и B из уравнения (1) может быть выражена в относительных величинах следующим образом [5]:

$$x = Q_{UAG} = \frac{Q_D - \left(Q_E - Q_{D1} - Q_{D2} + Q_{E1} + Q_{E2}\right)}{Q_D} \cdot 100\%. \qquad (2)$$

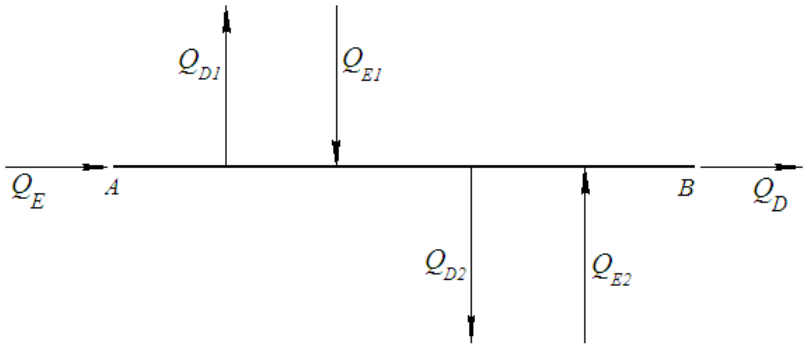


Рис. 1. Структура участка магистрального газопровода

Магистральный газопровод имеет большую и сложную организацию, а величина разбаланса между контрольными периодами может носить примерный характер введем в рассмотрение лингвистическую переменную «разбаланс газопровода» x вместе с соответствующими функциями принадлежности $\mu(x)$ [6, 7]. Также введем несколько нечетких множеств для данной лингвистической переменной со своими термами, которые будут характеризовать величину разбаланса:

- разбаланс газопровода отсутствует $A_1 = \{x, \mu_1(x)\}$;
- незначительный разбаланс газопровода $A_2 = \{x, \mu_2(x)\}$;
- ощутимый разбаланс газопровода $A_3 = \{x, \mu_3(x)\}$;
- значительный разбаланс газопровода $A_4 = \{x, \mu_4(x)\}$;
- критический разбаланс газопровода $A_5 = \{x, \mu_5(x)\}$.

В качестве функций принадлежности введенных нечетких множеств примем треугольные функции с ядрами 0, 5, 10, 15 и 20 %, соответственно. Такое разделение принято из соображений, что у большинства современных систем и средств измерения расхода величина относительной погрешности не превышает 1,5–2,0 %. Поэтому 5 % величины разбаланса принята как крайняя возможная погрешность для самых старых типов средств измерений расхода. На рис. 2 представлены введенные нечеткие множества для лингвистической переменной «разбаланс газопровода».

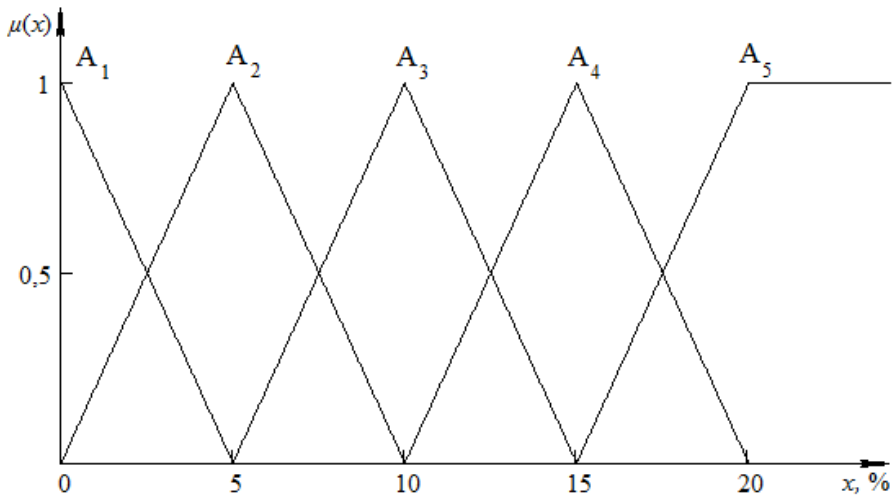


Рис. 2. Нечеткие множества лингвистической переменной «разбаланс газопровода»

В этом случае предлагаемая нечеткая система может выполнять классификацию возникающего разбаланса входе диспетчеризации ГТС и служить дополнительным источником поддержки принятия решения для диспетчерского персонала эксплуатирующей организации.

Процесс поддержки принятия решения может быть организован на известных алгоритмах нечеткого моделирования, например, таких как модель Мамдани [6].

Выходное состояние системы будет контролироваться значением переменной – y, которая характеризует попадание величины разбаланса в определённое множество:

$$y = \{1 - A_1; \quad 2 - A_2; \quad 3 - A_3; \quad 4 - A_4; \quad 5 - A_5\}.$$

Для контроля над состоянием величины разбаланса введем базу правил, которая будет выполнять классификацию разбаланса, когда он не будет равным нулю. База построена на основе алгоритма Мамдани [6, 7]:

R1: ЕСЛИ ($x = A_1$) ТО (y =1),

R2: ЕСЛИ ($x = A_2$) ТО (y =2),

R3: ЕСЛИ ($x = A_3$) ТО (y =3),

R4: ЕСЛИ ($x = A_4$) ТО (y =4),

R5: ЕСЛИ ($x = A_5$) ТО (y =5),

R6: ЕСЛИ (x<0) ТО («разбаланс отрицательный»),

R7: ЕСЛИ (x>0) ТО («разбаланс положительный»).

В представленной базе с помощью последних двух правил учитывается знак разбаланса, что тоже является важный показателем при сведении баланса между участниками ГТС. От знака величины разбаланса зависит выбор мероприятий по его уменьшению.

Реализация нечеткой системы может быть выполнена на существующих программируемых логических контроллерах.

Другим примером эффективного применения аппарата нечетких множеств является процедура контроля гидратообразований в природном газе. В соответствии с работой [8] под гидратообразованием понимают процесс, возникающий при падениях температуры и давления, в результате чего происходит уменьшение упругости водяных паров и влагоемкости газа. При определенных условиях в процессе эксплуатации газопроводов в их полости возникают гидратные пробки, которые способны перекрывать частично либо полностью сечение трубы. Возникновение гидратных пробок снижает эффективность работы газопроводов, создает угрозу небезопасной эксплуатации оборудования.

Данная задача легко решается методами нечеткого моделирования путем введения лингвистических переменных и определенных нечетких множеств, которые будут соответствовать определенным состояниям газа.

Для реализации метода и системы введем лингвистические переменные, которые будут связаны с контролируемыми параметрами природного газа:

• давление газа в трубопроводе, МПа;

• температура газа в трубопроводе, °С;

• влагосодержание газа, $\text{мг}/\text{м}^3$.

Лингвистическая переменная «давление газа в трубопроводе» характеризуется следующими нечеткими множествами с соответствующими термами:

• $P_1 = \left\{ p, \mu_{P_1}(p) \right\}$ – низкое давление газа;

• $P_2 = \left\{ p, \mu_{P_2}(p) \right\}$ – среднее давление газа;

• $P_3 = \left\{ p, \mu_{P_3}(p) \right\}$ – высокое давление газа,

где p – давление газа в трубопроводе, $\mu(p)$ – функция принадлежности.

Лингвистическая переменная «температуры газа в трубопроводе» характеризуется следующими нечеткими множествами и соответствующими термами:

• $T_1 = \left\{ t, \mu_{T_1}(t) \right\}$ – низкая температура газа;

• $T_2 = \left\{ t, \mu_{T_2}(t) \right\}$ – средняя температура газа;

• $T_3 = \left\{ t, \mu_{T_3}(t) \right\}$ – высокая температура газа,

где t – температура газа в трубопроводе, $\mu(t)$ – функция принадлежности.

Лингвистическая переменная «влажность газа в трубопроводе» характеризуется следующими нечеткими множествами и соответствующими термами:

- $W_1 = \left\{ w, \mu_{W_1}(w) \right\}$ – приемлемая влажность газа;
- $W_2 = \left\{ w, \mu_{W_2}(w) \right\}$ – высокая влажность газа;
- $W_3 = \left\{ w, \mu_{W_3}(w) \right\}$ – очень высокая влажность газа,

где w – значение абсолютной влажности газа в трубопроводе, $\mu(w)$ – функция принадлежности.

После того как заданы все лингвистические переменные со своими нечеткими множествами, вводится база правил, которая будет определять состояние газа в трубопроводе. Базу правил можно построить по методу, который описывается в работах [6, 7]. Определенное сочетание всех трех нечетких множеств лингвистических переменных определяет зону образования гидратов. Но прежде введем еще одну дискретную переменную y, которая будет характеризовать состояние газа: $y = 1$ – гидраты не образуются, $y = 2$ – состояние, близкое к образованию гидратов, $y = 3$ – гидраты.

Определив все лингвистические переменные, можно ввести базу правил по принципу Мамдани для определения всех состояний, которые описывают образование гидратов исходя из термо-барических условий в газопроводе. Ниже представлена такая нечеткая база правил:

$$
\begin{aligned}
&\text{R1: ЕСЛИ } (p = P_1) \text{ И } (t = T_2) \text{ И } (w = W_1) \text{ ТО } (y = 2);\\
&\text{R2: ЕСЛИ } (p = P_2) \text{ И } (t = T_2) \text{ И } (w = W_1) \text{ ТО } (y = 2);\\
&\text{R3: ЕСЛИ } (p = P_3) \text{ И } (t = T_2) \text{ И } (w = W_1) \text{ ТО } (y = 2);\\
&\text{R4: ЕСЛИ } (p = P_1) \text{ И } (t = T_1) \text{ И } (w = W_2) \text{ ТО } (y = 3);\\
&\text{R5: ЕСЛИ } (p = P_2) \text{ И } (t = T_1) \text{ И } (w = W_2) \text{ ТО } (y = 2);\\
&\text{R6: ЕСЛИ } (p = P_1) \text{ И } (t = T_2) \text{ И } (w = W_2) \text{ ТО } (y = 2);\\
&\text{R7: ЕСЛИ } (p = P_2) \text{ И } (t = T_2) \text{ И } (w = W_2) \text{ ТО } (y = 3);\\
&\text{R8: ЕСЛИ } (p = P_3) \text{ И } (t = T_2) \text{ И } (w = W_2) \text{ ТО } (y = 2).
\end{aligned}
\qquad (3)
$$

База правил (3) представляет уменьшение полной базы, которая описывает все состояния, возникающие в трубопроводе, что значительно сокращает анализ и упрощает работу нечеткого контроллера, в котором будет реализована подобная система.

Идентичность выходной переменной, позволяет модифицировать базу правил (3) путем агрегации уловий с помощью оператора ИЛИ с целью уменьшения правил. Это выполняется следующим образом [6, 7]:

$$
\begin{aligned}
\text{R1: } & \left(\text{ЕСЛИ } \left(p = P_1\right) \text{ И } \left(t = T_2\right) \text{ И } \left(w = W_1\right)\right) \text{ ИЛИ} \\
& \left(\text{ЕСЛИ } \left(p = P_2\right) \text{ И } \left(t = T_2\right) \text{ И } \left(w = W_1\right)\right) \text{ ИЛИ} \\
& \left(\text{ЕСЛИ } \left(p = P_3\right) \text{ И } \left(t = T_2\right) \text{ И } \left(w = W_1\right)\right) \text{ ИЛИ} \\
& \left(\text{ЕСЛИ } \left(p = P_2\right) \text{ И } \left(t = T_1\right) \text{ И } \left(w = W_2\right)\right) \text{ ИЛИ} \\
& \left(\text{ЕСЛИ } \left(p = P_1\right) \text{ И } \left(t = T_2\right) \text{ И } \left(w = W_2\right)\right) \text{ ИЛИ} \\
& \left(\text{ЕСЛИ } \left(p = P_3\right) \text{ И } \left(t = T_2\right) \text{ И } \left(w = W_2\right)\right) \text{ ТО } \left(y = 2\right); \\
\text{R2: } & \left(\text{ЕСЛИ } \left(p = P_1\right) \text{ И } \left(t = T_1\right) \text{ И } \left(w = W_2\right)\right) \text{ ИЛИ} \\
& \left(\text{ЕСЛИ } \left(p = P_2\right) \text{ И } \left(t = T_2\right) \text{ И } \left(w = W_2\right)\right) \text{ ТО } \left(y = 3\right).
\end{aligned}
\tag{4}
$$

Операции И, ИЛИ, которых входят в базу правил (4) могут выполняться с помощью любых *s*- и *t*-норм, значения которых можно найти в работах [6, 7].

Таким образом, на существующих программно-аппаратных ресурсах автоматизированных систем управления можно с легкостью решать задачи автоматизированного контроля параметров транспортировки природного газа. Такие системы могут быть использованы в качестве подсистем поддержки принятия решения при диспетчеризации и контроле газовых потоков предприятий газовой промышленности.

Источники

1. Economides M.J., Wood D.A. The state of natural gas // Journal of Natural Gas Science and Engineering. 2009. Vol. 1, № 1. P. 1–13.

2. Yorucu V., Bahramian P. Price modelling of natural gas for the EW-12 countries: evidence from panel cointegration // Journal of Natural Gas Science and Engineering. 2015. Vol. 24, № 4. P. 464–472.

3. Исследование погрешности сведения баланса газа в системе магистральных газопроводов / Б.С. Ильченко [и др.]// Проблемы машиностроения. 2010. Т. 13, № 1. С. 76–79.

4. Unaccounted for gas in natural gas transmission networks: prediction model and analysis of the solutions / F. Arpino [et al.] // Journal of Natural Gas Science and Engineering. 2014. Vol. 17, № 6. P. 58–70.

5. Игнатьев А.А., Белов Д.Б. Оценка величины разбаланса объемов поставленного и потребленного газа с использованием методики расчета случайных погрешностей // Вестник ТГУ. 2012. Т. 17, № 3. С. 1014–1016.

6. Пегат А. Нечеткое моделирование и управление. М.: Бином. Лаборатория знаний, 2013. 798 с.

7. Ярушкина Н.Г. Основы нечетких и гибридных систем. М.: Финансы и статистика, 2009. 320 с.

8. Глебова Л.В., Медникова О.Л. Методы борьбы с гидратообразованием // Геология, география и глобальная энергия. 2014. № 3. С. 71–73.

УДК 620.93, 532

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОФИЛЯ ЛОПАТОК ПОЛУОТКРЫТОГО КОЛЕСА ДЕТАНДЕРА ДЛЯ ОРГАНИЧЕСКОГО РАБОЧЕГО ТЕЛА

Айрат Заудатович Даминов[1], Рустем Фаритович Камалов[2], Илья Николаевич Соломин[3]

[1,2]Институт энергетики и перспективных технологий ФИЦ КазНЦ РАН,
[3]ЗАО «НПП «Компрессор», г. Казань
[1]daminov@list.ru, [2]rustemran@mail.ru, [3]solil1@yandex.ru

Приводится расчет рабочего колеса детандера термоэлектрической установки, работающей по органическому циклу Ренкина. Расчет проводился для реального газа с использованием модели Пенга-Робинсона. В качестве рабочего тела установки был выбран хладон R245fa. В расчете использованы аппроксимационные значения коэффициентов полинома, описывающего зависимость изобарной теплоемкости от температуры для хладона R245fa.

Ключевые слова: моделирование, органический цикл Ренкина, детандер, термоэлектрическая установка.

MODELING OF THE PROFILE OF BLADES OF THE SEMI-OPEN WHEEL OF DETANDER FOR ORGANIC WORKING BODY

Ayrat Zaudatovich Daminov, Rustem Faritovich Kamalov, Ilya Nikolaevich Solomin

The calculation of the impeller of the expander of a thermoelectric plant operating on the organic Rankine cycle is given. The calculation was carried out for a real gas using the Peng-Robinson model. R245fa freon was chosen as the working medium of the installation. In the calculation, approximation values of the coefficients of the polynomial are used, which describe the temperature dependence of the isobaric heat capacity for the freon R245fa.

Key words: modeling, organic Rankine cycle, expander, thermoelectric installation.

Исследования в области применения низкотемпературной (по сравнению с классическим циклом Ренкина) тепловой энергии для выработки электроэнергии проводились в конце семидесятых в начале восьмидесятых

годов прошлого столетия. На сегодняшний день интерес к технологиям, использующим органический цикл Ренкина, вновь возобновился. Установки, использующие технологии ОЦР, могут использовать теплоту в диапазоне от 90 до 400 °С. Ниже 90 °С более эффективными становятся другие виды циклов термоэлектрических установок, например, цикл Калина, который использует в качестве рабочей жидкости смесь воды и аммиака. Также эффективным решением для таких источников тепла является производство теплоты для целей теплоснабжения с использованием теплового насоса. Начиная с температуры 250 °С и ниже, циклы ОЦР становятся конкурентными с классическими циклами Ренкина [1–3].

В данной работе рассмотрен один из подходов разработки турбины детандера, точнее ее рабочего органа, для установки, работающей по ОЦР на хладоне R245fa, как наиболее подходящего по калориметрическим свойствам для использования в цикле. Расчет рабочего колеса (РК) проведен для идеального и реального газа (пара) данного рабочего тела.

Основная цель работы заключается в достижении максимальной мощности на валу турбины детандера термоэлектрической установки. Данный вид установки для действующего производства разрабатывался исходя из имеющихся на источнике теплоты (водогрейной котельной г. Казани) фактических параметров греющего и охлаждающего теплоносителей.

Для описания термодинамических свойств газа применены данные из источников [4, 5], где приводятся параметры критической точки хладона R245fa.

Для описания состояния идеального газа, используется классическое уравнение, основанное на уравнении Менделеева-Клайперона:

$$p = \frac{RTZ}{v}, \tag{1}$$

где p – абсолютное давление газа, $\text{Н}/\text{м}^2$; v – удельный объем, $\text{м}^3/\text{моль}$; T – абсолютная температура, К; R – газовая постоянная, $\text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$; Z – коэффициент сжимаемости.

Уравнение (1) больше подходит лишь для описания состояния простейших газов. К более сложным газам применяют общеизвестные модели состояния Редлиха–Квона [6]:

$$p = \frac{RT}{v-b+c} - \frac{a(T)}{v(v+b)}, \tag{2}$$

Пенга–Робинсона [7]:

$$p = \frac{RT}{v - b + c} - \frac{a(T)}{v^2 - 2vb + b^2}, \tag{3}$$

а также доработанные модели Редлиха–Куона (Аунгье [8] и Соув [9]).

В уравнениях (2) и (3) коэффициенты a, b и c принимают значения в соответствии с выбираемой моделью.

Для расчета потока реального газа через проточную часть рабочего колеса (РК) (рис. 1) и дальнейшего расчета параметров его геометрии используется наиболее полная модель Пенга–Робинсона (3).

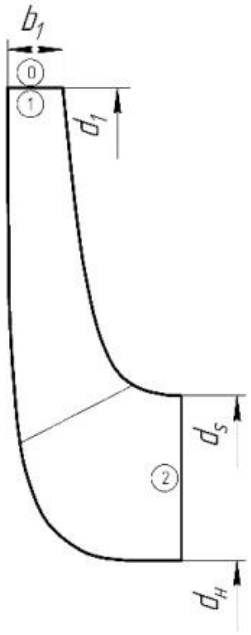


Рис. 1. Меридиональный контур проточной части РК

При этом функция изобарной теплоемкости описывается полиномом третьей степени с коэффициентами, полученными в результате аппроксимации фактических значений:

$$C_p = 246{,}94 + 2{,}4226T - 0{,}0013T^2 + 4 \times 10^{-7} T^3. \tag{4}$$

На основе проведенного термодинамического расчета заданы параметры точек состояния газа на входе и выходе из рабочего колеса (табл. 1).

Расход хладона исходя из заданной мощности и параметров греющего и охлаждающего теплоносителей принят равным 28,47 кг/с. При расчете геометрических параметров колеса, исходя из опыта проектирования и расчетов РК турбинной и компрессорной техники, заданы оптимальные значения и соотношения:

• отношение диаметров РК на выходе и входе $d_2/d_1 = 0{,}56$;

• отношение меридиональных скоростей на входе и выходе из колеса $c_{m2}/c_{m1}=1,23$ (рис. 2);

• отношение диаметра втулки РК к диаметру выходной воронки $d_{\text{н}}/d_2=0,51$.

При этом осевой размер стремится к минимальному значению, угол на входе в колесо к 90°, а угол атаки потоком газа лопатки РК к 0°.

Таблица 1

Параметры газа на входе и выходе из РК

Параметр	Единицы измерения	Вход в РК	Выход из РК
Температура	К	382,17	371,05
Давление	МПа	1,0292	0,72
Плотность	$\text{кг}/\text{м}^3$	52,48	35,9
Энтальпия	кДж/кг	490,34	483,09
Энтропия	$\text{кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$	1,8427	1,8423
C_v		0,95581	0,93411
C_p		1,0891	1,0417
Коэффициент сжимаемости	–	0,82734	0,87144

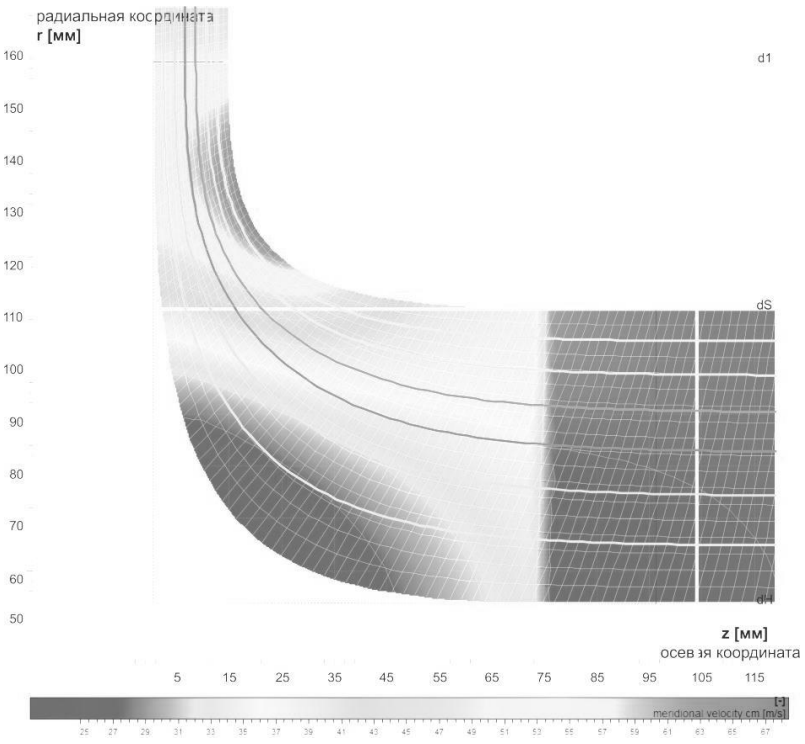


Рис. 2. Значения меридиональных скоростей в проточном контуре РК

Задавшись данными соотношениями, определены диаметр РК и далее все остальные конструктивные параметры. После расчета всех параметров проведена проверка модели течения газа в РК с помощью CFD-расчета в среде ANSYS и доработаны конструктивные параметры геометрии (рис. 3).

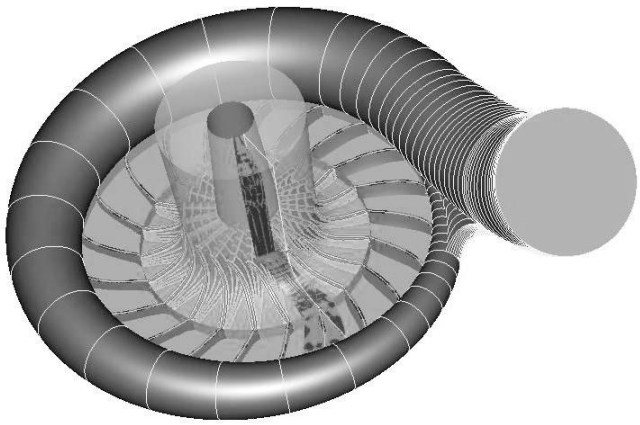


Рис. 3. Рабочее колесо с моделью проточной части

Результаты расчета геометрии РК сведены в табл. 2. Из результатов расчета определено положение рабочей точки турбины.

Таблица 2

Конструктивные параметры РК

Параметр	После расчета геометрии	После CFD-расчета в ANSYS и доработки	Погрешность, %
Диаметр РК на входе d_1, мм	296,5	300,0	1,2
Диаметр втулки РК $d_н$, мм	107,4	107,5	0
Диаметр выходной воронки d_s, мм	207,5	211,5	1,9
Ширина лопаток на входе в РК b_1, мм	16,8	15,5	9,2
Угол входа в РК, °	92,5	90	2,7
Угол выхода из РК, °	37	Распределенные по линейной зависимости 25,9÷44,8	–
Адиабатный КПД	0,77	0,8	3,9

После проведения всех расчетов и уточнений геометрии РК разработана окончательная модель конструкции колеса (рис. 4).

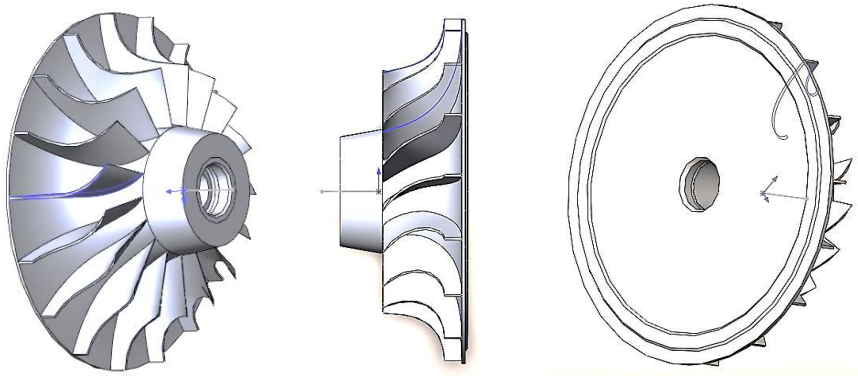


Рис. 4. Окончательная конструкция рабочего колеса

В заключении можно сделать следующие выводы:

1) на основе результатов расчетов генерация электроэнергии для собственных нужд на источниках распределенной энергетики, в частности в водогрейных котельных, возможна при использовании установок, работающих на низкокипящем хладоне;

2) центростремительная турбина детандера термоэлектрической установки с осерадиальным (полуоткрытым) типом РК обладает достаточной эффективностью при работе на хладоне R245fa;

3) полученные коэффициенты полинома изобарной теплоемкости с достаточной точностью описывают параметры реальности хладона R245fa.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Республики Татарстан в рамках научного проекта № 18-48-160033».

Источники

1. Hung T.C., Shai T.Y., Wang S.K. A Review of Organic Rankine Cycles (ORCs) for the Recovery of Low-Grade Waste Heat // Energy. 1997. № 22. P. 661–667.

2. Energetic and exergetic investigation of an organic Rankine cycle at different heat source temperatures / Li J. [et al.] // Energy. 2012. Vol. 38, № 1. P. 85–95. URL: http: //dx.doi.org/10.1016/j.energy.2011.12.032.

3. Recovery of Low-Grade Waste Heat. Low-temperature heat valorisation towards electricity production // Periodic Report Summary. URL: http://cordis.europa.eu/fetch?CALLER=FP7_PROJ_EN&ACTION=D&DOC=1&CAT=PROJ&RCN=96070.

4. Lemmon E.W., Span R. Short Fundamental Equations of State for 20 Industrial Fluids // Chem. Eng. Data. 2006. Vol. 51, № 3. P. 785–850.

5. Coexistence curve of HFC-134a and thermal conductivity of HFC-245fa / Yata, J. [et al] // Fluid Phase Equilibria. 2000. Vol. 174, Is. 1–2. P. 221–229.

6. Redlich O., Kwong J.N.S. On the Thermodynamics of Solutions. V. An Equation of State Fugacities of Gaseous Solutions // Chemical Reviews. 1949. Vol. 44. P. 233–244.

7. Peng D.Y., Robinson D.B. A New Two-Constant Equation of State // Industrial and Engineering Chemistry. 1976. Vol. 15. P. 59–64.

8. Aungier R.H. A Fast, Accurate Real Gas Equation of State for Fluid Dynamic Analysis Applications // Journal of Fluids Engineering. 1995. Vol. 117. P. 277–281.

9. Soave G. Equilibrium constants from a modified Redlich-Kwong equation of state // Chemical Engineering Science. 1972. Vol. 27, № 6. P. 1197–1203.

10. Епифанова В.И. Низкотемпературные радиальные турбодетандеры: учебник для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1974. 448 с.

УДК 621.65.05

ПРИМЕНЕНИЕ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО ПРИВОДА В СИСТЕМАХ ТЕПЛО- И ВОДОСНАБЖЕНИЯ НА ОБЪЕКТАХ ЖКХ

Анастасия Николаевна Долгова[1], Михаил Николаевич Сысоев[2], Алексей Николаевич Сысоев[3]

[1]ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
[2,3]ФГБОУ ВО «РГУПС», г. Ростов-на-Дону
[1]dolgova.an@list.ru, [2]sysoev_mixail@bk.ru, [3]leha.sysoev.2000@mail.ru

В работе рассматривается вариант оптимизации распределения жидкостей на объектах жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ), путем установки частотно-регулируемого привода в системах тепло- и водоснабжения.

Ключевые слова: частотно-регулируемый привод, энергосбережение, автоматизация, насосное оборудование, повышение эффективности, водоснабжение.

APPLICATION OF FREQUENCY-ADJUSTABLE DRIVE IN HEAT AND WATER SUPPLY SYSTEMS ON HOUSING AND UTILITIES

Anastasia Nikolaevna Dolgova, Mikhail Nikolaevich Sysoyev, Alexey Nikolaevich Sysoyev

The paper discusses the option of optimizing the distribution of liquids in housing and communal services (HCS), by installing a frequency-controlled drive in heat and water supply systems.

Key words: variable frequency drive, energy saving, automation, pumping equipment, efficiency increase, water supply.

Повышение энергоэффективности является ключевой задачей развития российской экономики. В полной мере относится это и к сфере ЖКХ, в особенности к отраслям тепло- и водоснабжения. Электроприводы машин и механизмов в сфере ЖКХ (насосы, вентиляторы, компрессоры, котельное оборудование и др.) потребляют более 30 % всей вырабатываемой в стране электроэнергии.

Устранение нерационального расхода электроэнергии, уменьшение экономических затрат и установки оптимальных режимов работы систем тепло- и водоснабжения на объектах ЖКХ достигается путем внедрения автоматизированных систем подкачки воды с использованием частотно регулируемого привода.

Частотно-регулируемый привод (ЧРП) – это система управления частотой вращения ротора электродвигателя, который содержит в себе частотный преобразователь, дающий возможность гибкой регулировки скорости ротора и соответственно снижения потребляемой им мощности.

Для рационального использования энергоресурсов ЧРП устанавливается на насосы горячего и холодного водоснабжения, поскольку их режимы работы отличаются наибольшей нерегулярностью (ночью разбор воды практически отсутствует, а в утренние и вечерние часы находится на максимальном уровне). А поскольку насосы работают с одинаковой мощностью в течение суток, напор резко увеличивается в часы минимального водоразбора, что приводит к утечкам и перерасходу холодной воды, и наоборот, падает в пиковые часы.

Установка ЧРП помогает устранить проблему несовершенства используемого насосного оборудования, применяемого в системах тепло- и водоснабжения.

При пуске насоса, не оснащенного ЧРП, происходит гидравлический удар, способный повредить как разводящие сети, так и внутренние сантехнические системы в присоединенных зданиях, что приводит к повышенным утечкам, а следовательно к перерасходу холодной воды.

Расчетным путем установлено, что путем установки ЧРП на насос жилого дома при максимальном потребном расходе 15 $м^3/ч$ и напоре 60 м современная станция повышения давления с ЧРП дает экономию электроэнергии (по сравнению с обычными установками) около 1–2 кВт на каждый час работы. За год разница достигает 8000 – 16000 кВт/ч. Это позволяет быстро окупить первоначальные вложения и снизить общие затраты.

Установка ЧРП даёт следующие преимущества:

• позволяет создавать напор в системе выше рабочих параметров;

• уменьшает износ основного оборудования за счет плавных пусков;

• экономит электроэнергию в случае переменной нагрузки;

• снижает шум, что очень важно при установке насосов вблизи жилых или служебных помещений.

Источники

1. Бабакин В.И. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов. Уфа: УГНТУ. 2007. 100 с.

2. Соколовский Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием. М.: Академия. 2006. 272 с.

3. Онищенко Г.Б. Электрический привод: учебник для вузов. М.: РАСХН, 2003. 320 с.

4. Кочетков В.Д. Системы регулирования электроприводов переменного тока с микропроцессорным управлением. М.: Информэлектро, 1989. 80 с.

УДК 330; 338; 659; 658

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ОПТИМИЗИРУЮЩИЕ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕ НА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТАХ НЕФТЕГАЗОВОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Ольга Владимировна Еременко[1], Анна Сергеевна Новикова[2]

[1]Филиал РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина в г. Оренбурге,
[2]ШНО РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина
[1]economngp@mail.ru, [2]annov106@mail.ru

Необходимость решения проблем сокращения энергопотребления и роста энергоэффективности нефтегазодобывающих предприятий проявляется тем больше, чем ближе в разработке месторождений они приближаются к завершающей (поздней) стадии, сопровождающейся отсутствием достаточных ресурсов для проведения всего спектра необходимых геолого-технических и энергосберегающих мероприятий, имеющих ключевой характер с точки зрения обеспечения безубыточной деятельности в условиях увеличения обводненности скважин и падения добычи УВС. В статье рассмотрены энергосберегающие инновации, реализуемые на промысловых объектах ООО «Газпром добыча Оренбург».

Ключевые слова: энергосберегающие инновации, беззатратные энергосберегающие мероприятия.

INNOVATIVE TECHNOLOGIES OPTIMIZING POWER CONSUMPTION ON INDUSTRIAL OBJECTS OIL AND GAS ENTERPRISE

Olga Vladimirovna Eremenko, Anna Sergeyevna Novikova

The need to solve the problems of reducing energy consumption and increasing the energy efficiency of oil and gas producing enterprises is manifested the more, the closer they develop in the field development to the final (late) stage, accompanied by the lack of sufficient resources to carry out the full range of necessary geological, technical and energy saving measures that have key in terms of ensuring break-even activity in terms of increasing well water cut and falling hydrocarbon production. The article discusses energy-saving innovations implemented at field facilities of Gazprom Dobycha Orenburg.

Key words: energy-saving innovations, cost-free energy-saving measures.

Оренбургские недропользователи выделяют энергосберегающие инновации в качестве приоритетных, поскольку они представляет собою деятельность, направленную на более эффективное использование энергоресурсов (ТЭР), рост экономического и социального эффекта, а также

снижение техногенного воздействия на окружающую среду [3]. При этом учитывают тот факт, что энергосбережение является элементом системы, последовательно согласующей все изменения в потреблении энергоресурса при реализации энергосберегающих мероприятий. В динамике эти изменения следует оценивать по таким группам показателей деятельности нефтегазового предприятия, как общеэкономические (уровень технологий, износ, движение и воспроизводство основных фондов и др.), организационно-методические (положения нормативно-правовых и законодательных актов) и специфические факторы (сокращение себестоимости промысловой подготовки и транспортировки углеводородов, повышение компонентоотдачи пластов, глубины переработки сырья и т. д.) [6, 7]. Основное значение при реализации энергосберегающих мер (ЭСМ) приобретают вопросы, связанные с правильным подбором оборудования, вариантов его модернизации и реконструкции на основе конкретных характеристик технологического процесса [4].

Несомненными достоинствами такого системного подхода являются:

• достоверная оценка ключевых факторов, оказывающих влияние на энергоэффективность и энергопотребление;

• улучшение бизнес-процессов с помощью внутреннего и внешнего энергоаудита;

• постоянное документирование определенных параметров для достижения энергоцелей;

• адаптация передового мирового опыта через стандарты ISO [1].

Наиболее действенной системой среди них признан стандарт энергоменеджмента ISO 50001:2011, ориентированный на реализацию мер по эффективному энергопотреблению с помощью разнообразных инструментов аппарата энергоменеджмента [2]. На рис. 1 представлены элементы этой системы и этапы ее внедрения в ООО «Газпром добыча Оренбург».

Согласно схеме в обязанности главного энергетика входят:

• сбор данных по энергопотреблению по объектам;

• составление карты энергопотребления;

• разработка предложений усовершенствования элементов энергооборудования, его техобслуживания и ремонта;

• создание автоматизированной системы учета энергопотребления;

• проведение внутреннего энергоаудита;

• расчет энергоэффективности технологических процессов;

• выбор и ранжирование ЭСМ по критериям минимальных инвестиций и максимального эффекта;

• информирование персонала об ЭСМ и др. [5].



Рис. 1. Элементы системы энергоменеджмента ООО «Газпром добыча Оренбург»

Актуальность внедрения ЭСМ обусловлена еще и тем, что в ООО «Газпром добыча Оренбург» в последнее время обозначился резкий рост себестоимости и энергосбережение является действенным инструментом ее оптимизации, так как все затраты на топливно-энергетические ресурсы являются подконтрольными, а их доля в структуре затрат на 1 января 2018 г. составила 37,8 % [8].

Формулируя портфель энергоинноваций, мы исходили из отношения ЭСМ по признаку затрат на их реализацию к беззатратным, условно-затратным, малозатратным и затратным мероприятиям. В 2017 г. среди реализованных ЭСМ беззатратные мероприятия составили 68 %, условнобеззатратные – 16 %, малозатратные – 4 %, затратные – 12 % (рис. 2). Наибольшие инвестиции вложены во внедрение сменных проточных частей типа ГТН-7 к газоперерабатывающим агрегатам.

Руководствуясь сложившейся практикой, были отобраны и приведены в таблице наименее затратные мероприятия, показавшие наибольшую экономию электрической и тепловой энергии:

• установка частотных регуляторов на электродвигателях насосов установки У370 газоперерабатывающего завода, обеспечивающая снижение расхода электроэнергии и затрат на ремонт насосного оборудования;

• обустройство технологии срабатывания отходящего пара среднего давления при очистке газа от сернистых соединений в пар низкого давления через паровую турбину мощностью 500 кВт для экономии электроэнергии в размере 58 млн руб./год;

• размещение компенсирующих устройств в узлах нагрузки внутренней сети ГПЗ с целью сокращения потерь электроэнергии на 5 %.;

• установка ограничительных шайб на установках 2У350/355 для непрерывной продувки с котлов при условии снижении расхода продувочной воды и возвращении тепла с паровым конденсатом на ТЭЦ и др.

Показатели эффективности энергосберегающих инноваций
на производственных объектах ООО «Газпром добыча Оренбург»

Наименование энергосберегающего мероприятия	Инвестиции, тыс. руб.	ЧДД, тыс. руб.	Срок окупаемости, лет
ЧРП на насосах У370	2 931,14	5 4845,18	0,3
ПВМ на установках У07,08	29000,00	57 225,32	3,6
Компенсаторы реактивной мощности в сетях 0,4 и 6 кВ	9 469,00	19 893,32	3,4
Тепловая изоляция адсорберов У190/192	2 348,94	13 366,15	0,3
Подача газа: на ДКС-2 через резервный коллектор при ППР установок сероочистки с установок У190/192 в топливную сеть ГПЗ в период подготовки к ППР	беззатратное ЭСМ	2 141,18 345,60	–
Дополнительные ограничительные шайбы на линиях непрерывной продувки с котлов У50, 2У350/355	250,51	17 897,90	0,1
Теплоизоляционное покрытие краской «Иолит-3» паропроводов цеха № 8	274,00	4 555,95	0,3
Всего	44 927,69	170 260,6	–

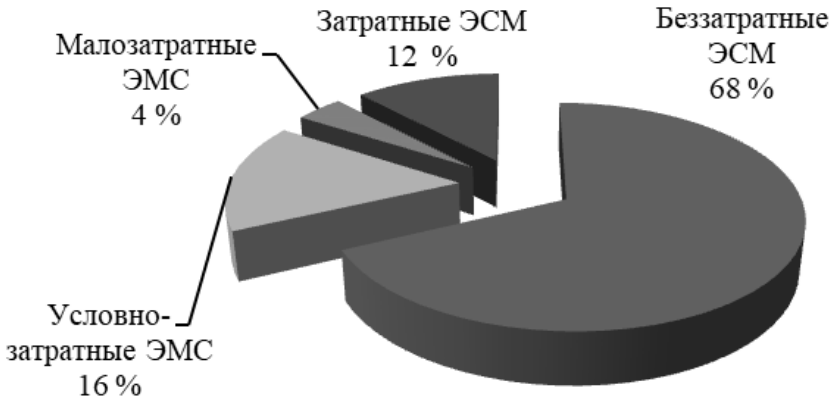


Рис. 2. Структура реализованных ЭСМ в ООО «ГДО» (2017 г.)

В целом реализация комплекса энергосберегающих инноваций позволит при уровне инвестиций в размере 44 млн руб. получить чистый дисконтированный доход в размере 172 млн руб. и обеспечит экономию природного газа на собственные технологические нужды в размере 2 млн $м^3$ ежегодно.

Кроме этого, стоит продолжить реализацию ЭСМ по программам «Оптимизации технологических процессов, рациональному использованию сырья и материалов, вторичному использованию МТР», а также «Рациональному использованию топлива и ГСМ за счет сокращения работы двигателей автомобилей на холостом ходу, применения инновационных средств диагностики». В 2017 г. данные мероприятия позволили сэкономить вспомогательные материалы на сумму 12,3 млн руб.

Таким образом, учитывая значительную энергоемкость технологических процессов нефтегазового предприятия, следует совершенствовать систему энергоменеджмента в направлении сокращения технологических потерь и внедрения ЭСМ.

Источники

1. Внедрение системы энергоменеджмента на предприятиях по стандарту ISO 50001 URL: http://studopedia. ru/2_63095_vnedrenie-sistemi-energomenedzhmenta-na-predpriyatiyah-posta ndartu-ISO-.html.

2. Еременко О.В. Организационно-экономический механизм реализации инноваций в рамках энергоменеджмента газоперерабатывающего завода // Управление экономическими системами. 2017, № 4(98). С. 14–24.

3. Еременко О.В. Цели управления эколого-экономической системой региональной нефтегазодобывающей компании при переориентации на инновационное развитие // Экологические проблемы промышленно развитых и ресурсодобывающих регионов: пути решения: сб. тр. II Всерос. молодеж. науч.-практ. конф. / под ред. С.Г. Костюк [и др.]. Кемерово, 2017. С. 207.

4. Новикова А.С. Инновации, обеспечивающие надежное энергоснабжение производственных объектов Оренбургского газохимического комплекса / Наследие И.М. Губкина: интеграция образования, науки и практики в нефтегазовой сфере. Губкинцы – энергия будущего: матер. студ. секции Междунар. науч.-практ. конф. / под ред. Г.Л. Коваленко. Саратов, 2018. С. 198–204.

5. Еременко О.В., Новикова А.С. Инновационный механизм стимулирования труда в различных сегментах деятельности региональных нефтегазовых компаний // Достижения, проблемы и перспективы развития нефтегазовой отрасли: матер. Межунард. науч.-практ. конф. Альметьевск, 2018. Т. 3. С. 235–241.

6. Организация энергосбережения (энергоменеджмент): учеб. пособие / под. ред. В.В. Кондратьева. М.: ИНФРА-М, 2014. 175 с.

7. Шпаков В.А., Еременко О.В. Особенности управления качеством инновационного потенциала и инновационной активностью нефтегазодобывающих компаний России. Ч. II. Корпоративные и региональные аспекты // Управление качеством в нефтегазовом комплексе. 2017. № 1. С. 26–30.

8. Шпаков В.А., Еременко О.В. Инновационные подходы в организации энергоменеджмента нефтегазодобывающей компании // Промышленность: новые экономические реалии и перспективы развития: сб. ст. I Всерос. науч.-практ. конф с Междунар. участием: в 2 ч. Оренбург, 2017. Ч. 1. С. 176–178.

УДК 532.517.2, 536.247

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОПЕРЕНОСА ПРИ ЦИРКУЛЯЦИОННОМ ПОДОГРЕВЕ МАЗУТА В РЕЗЕРВУАРЕ РВС-3000

Рустем Фаритович Камалов[1], Виктория Олеговна Здор[2], Айнур Ильсурович Шакиров[3]

[1,2]ИЭПТ ФИЦ КазНЦ РАН, [3]ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

[1]rustemran@mail.ru, [2]zdor_victoria@mail.ru, [3]ajnur.shakirov.99@mail.ru

Исследование направлено на решение задачи конвективного теплообмена при циркуляционном подогреве мазута в резервуаре хранения РВС-3000.

Ключевые слова: математическая модель, мазутное хозяйство, численные исследования, циркуляционный подогрев, резервуар хранения.

INVESTIGATION OF HEAT TRANSFER AT CIRCULATING HEATING OF MAZUT IN THE RVS-3000 RESERVOIR

Rustem Faritovich Kamalov, Victoria Olegovna Zdor, Ainur Ilsurovich Shakirov

The study is aimed at solving the problem of convective heat exchange during the circulation heating of fuel oil in the RVS-3000 storage tank.

Key words: mathematical model, fuel oil facilities, numerical studies, circulation heating, storage tank.

При постановке математической модели приняты следующие допущения: нестационарность процессов теплопереноса обусловливается зависимостью от времени температуры мазута в резервуаре хранения; теплофизические свойства мазута – плотность, теплоемкость, теплопроводность и кинематическая вязкость, зависят от температуры; течение струи мазута ламинарное, реологическое поведение ньютоновское.

Исходная система уравнений движения и переноса энергии, описывающая процесс теплопереноса при циркуляционном подогреве мазута в резервуаре, в общей тензорной формулировке при принятых допущениях имеет вид:

$$\rho c_p \frac{dT}{dt} = \mathrm{div}\left(\lambda \mathrm{grad T}\right);$$

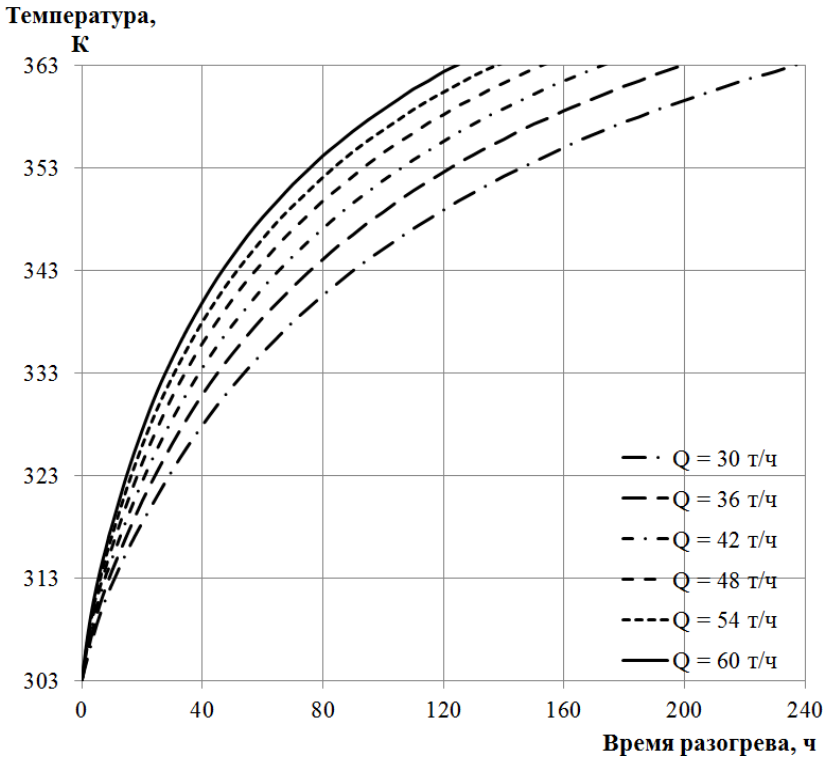
$$\frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{1}{\rho}\mathrm{div T} + \vec{F};$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \mathrm{div}\vec{v} = 0,$$

где $\vec{v}$ – вектор скорости; T – температура; ρ, c_p и λ – плотность, удельная теплоемкость и теплопроводность мазута; T – тензор напряжений, $\vec{F} = \alpha g \rho\left(T - T_{mazut}\right)$ – объемная сила, влияющая на процесс истечения струи мазута из насадка; α – коэффициент объемного расширения, 1/К; g – ускорение свободного падения, $\text{м}/\text{с}^2$; T_{mazut} – температура мазута на выходе из насадка, К.

Численные исследования теплопереноса при циркуляционном подогреве мазута М100 проведены для стального вертикального резервуара РВС-3000. Мазут в резервуаре хранится в режиме холодного резерва при $T_{\text{Х}} = 303$ К. Расход мазута задавался $G_{\text{м}} = 8,33 \div 16,67$ кг/с, что соответствует 50–100 % с шагом 10 % производительности мазутоподогревателя ПМ-10-60. Температура мазута на выходе из мазутоподогревателя $T_{\text{вых}} = 388$ К.

На рисунке представлены температура и время прогрева мазута в резервуаре в зависимости от режима работы мазутоподогревателя. Откуда видно, что наиболее медленный нагрев мазута в резервуаре происходит при работе мазутоподогревателя в 50 % от номинальной мощности и прогрев мазута во всем объеме резервуара до 363 К происходит за 240 ч. При максимальной мощности мазутоподогревателя время выхода из режима холодного резерва на температуру горячего резерва составляет 125 ч.



Зависимости температуры и времени прогрева мазута в резервуаре от режима работы мазутоподогревателя

В связи с тем, что температура мазута в резервуарах резервных мазутных хозяйств ТЭС должна поддерживаться на уровне 60–70 °С, то время выхода на эту температуру всего резервуара при возможных аварийных ситуациях составляет от 27 до 55 ч.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Республики Татарстан в рамках научного проекта № 18-48-160035.

УДК 532.517.2, 536.242

ИССЛЕДОВАНИЕ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ТЕПЛООБМЕНА В МАЗУТОПОДОГРЕВАТЕЛЕ ПМ-10-60

Рустем Фаритович Камалов[1], Айнур Ильсурович Шакиров[2]

[1]ИЭПТ ФИЦ КазНЦ РАН, [2]ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

[1]rustemran@mail.ru, [2]ajnur.shakirov.99@mail.ru

Исследование направлено на решение задачи конвективного теплообмена при ламинарном течении высоковязкого жидкого топлива в каналах мазутоподогревателя ПМ-10-60 с интенсифицированными поверхностями теплообмена в виде поперечной дискретной шероховатости.

Ключевые слова: математическая модель, мазутное хозяйство, численные исследования, интенсификация теплообмена, мазутоподогреватель.

STUDY OF HEAT EXCHANGE INTENSIFICATION IN PUMP HEATER PM-10-60

Rustem Faritovich Kamalov, Ainur Ilsurovich Shakirov

The study is aimed at solving the problem of convective heat transfer in the case of a laminar flow of highly viscous liquid fuel in the channels of the PM-10-60 fuel oil heater with intensified heat exchange surfaces in the form of transverse discrete roughness.

Key words: mathematical model, fuel oil facilities, numerical research, heat transfer intensification, fuel oil heater.

Постановка задачи о стационарном теплообмене при течении мазута в дискретно-шероховатых каналах (ДШК) проводилась при следующих допущениях: течение стационарное и ламинарное; реологическое поведение характеризуется наличием вязких свойств; плотность, удельная теплоемкость, теплопроводность и вязкость зависят от температуры; силы тяжести входят в уравнения неявно через избыточное давление.

Система уравнений, описывающая изучаемый процесс теплообмена, в общей тензорной формулировке при принятых допущениях имеет вид:

$$\vec{v} \cdot \operatorname{grad} T = a\Delta T + \frac{\Phi}{\rho c_p};$$

$$\rho\left(\operatorname{grad}\vec{v} \cdot \vec{v}\right) = -\operatorname{grad} P + \operatorname{div}\mathrm{T}^0;$$

$$\operatorname{div}\vec{v} = 0,$$

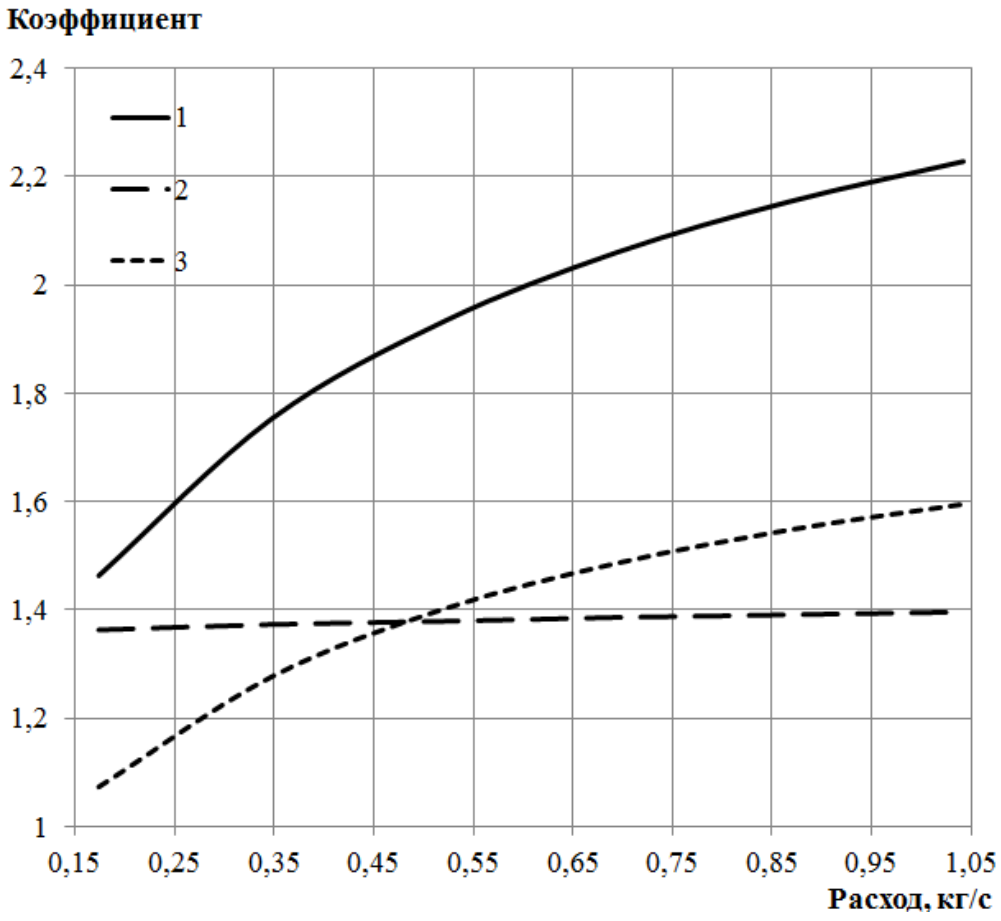
где $\vec{v}$ – вектор скорости; T – температура; $a = \lambda/\rho c_p$ – коэффициент температуропроводности; ρ, c_p, λ – плотность, удельная теплоемкость и теплопроводность мазута; $\Phi = \mu(I_2)I_2$ – диссипативная функция; P – давление; T^0 – девиатор тензора напряжений.

В ходе численного моделирования получены результаты распределения температурных и гидродинамических характеристик мазута М100 в трубках мазутоподогревателя ПМ-10-60.

Численные исследования проводились при следующих условиях: массовый расход жидкости через одну трубку мазутоподогревателя составляет $Q = 0{,}174...1{,}042$ кг/с, что соответствует расходу через весь подогреватель $Q = 10...60$ т/ч с шагом 10 т/ч, температура пара на стенке $T_{\text{ст}} = 473$ К (граничные условия I рода), начальная температура мазута

$T_0 = 303$ К. Геометрические размеры канала: диаметр трубки $D = 0{,}038$ м, длина канала $l = 10$ м, отношение шага между выступами к диаметру $S/D = 0,66$, отношение ширины выступа к диаметру $b/D = 0,2$, отношение высоты выступа к диаметру $h/D = 0{,}1$, выступы сферические.

На рисунке представлены результаты численных исследований теплообмена и гидродинамики в трубке мазутоподогревателя. При сравнении ДШК и гладкого канала выявлено, что в исследуемом канале интенсификация теплообмена составляет 1,463…2,228 раза, а увеличение гидравлического сопротивления за счет выступов – 1,363…1,396 раза. Критерий теплогидродинамической эффективности в данном случае составляет 1,073…1,595, что показывает эффективность исследуемого ДШК при различных расходах мазута: чем выше расход, тем больше данный критерий.



Зависимости отношений коэффициентов от расхода для ДШК и гладкого канала: *1* – Нуссельта; *2* – гидравлического сопротивления; *3* – критерия теплогидродинамической эффективности

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Республики Татарстан в рамках научного проекта № 18-48-160035.

УДК 631.436

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОВОГО БАЛАНСА ПОЧВЫ (ФРЕЗЕРНОГО ТОРФА) ПРИ ИНФРАКРАСНОМ НАГРЕВЕ

Денис Федорович Карпов[1], Антон Александрович Синицын[2]

ФГБОУ ВО «ВоГУ», г. Вологда
[1]karpov_denis_85@mail.ru, [2]nee-energo@yandex.ru

Для изучения процессов тепловлагопереноса в исследуемом объекте необходимо знать тепловой баланс. По результатам экспериментов выполнен расчет теплового баланса сыпучей полидисперсной среды на примере фрезерного торфа при условиях нагрева источником инфракрасного излучения.

Ключевые слова: сыпучий полидисперсный материал, фрезерный торф, инфракрасный нагрев, источник инфракрасного излучения, тепловлажностный режим, деятельная поверхность, тепловой и радиационный балансы, альбедо.

SOME RESULTS OF RESEARCH OF THERMAL BALANCE OF SOIL (MILLED PEAT) WITH INFRARED HEATING

Denis Fedorovich Karpov, Anton Aleksandrovich Sinitsyn

To study the processes of heat and moisture transfer in the object under study, it is necessary to know the heat balance. According to the results of the experiments, the heat balance of the flowing polydisperse medium was calculated using the example of milled peat under conditions of heating by an infrared radiation source.

Key words: bulk polydisperse material, milled peat, infrared heating, infrared radiation source, heat and humidity conditions, active surface, heat and radiation balances, albedo.

При решении дифференциальных уравнений тепломассообмена процессы, происходящие на границе раздела сред, закладываются в граничные условия. Задание граничных условий осуществляется двумя путями [1]: либо определением хода изменения температуры и влажности во времени на поверхности исследуемого тела, либо установлением теплового баланса на его границе. В первом случае решение и результат сильно упрощаются, так как вместо сложного выражения для теплового баланса со всеми его компонентами присутствуют известные температура и влажность. Физически понятно, что потенциалы энергии и массы являются результатом всех энергетических воздействий на деятельной поверхности материала, которые могут заменить весь сложный комплекс элементов теплового баланса. Данный путь имеет существенный недостаток, так как он не раскрывает всесторонне физическую картину процессов, идущих на границе исследуемого объекта.

Изучение теплового баланса дает возможность понять в полной мере физику явлений, важнейшие энергетические особенности материала и их органическую связь с окружающей средой. Таким образом, процессы тепло- и массопереноса в слое вещества должны быть рассмотрены не изолировано, а как результат полного теплового баланса, охватывающего в единое целое верхний слой объекта и нижний слой атмосферы [2].

Потенциалы энергии и массы в любой точке сыпучего полидисперсного материала могут изменяться под действием следующих факторов [3, 4]: тепломассообмен с внешней средой (инфракрасное излучение, ирригационные процессы, кондиционирование микроклимата); теплопроводность, конвекция и излучение между фазами вещества, диффузия влаги, термодиффузионный эффект; тепломассообмен с воздухом (конвективный теплообмен, адвекция, испарение и конденсация водяного пара); внутренние химические реакции и биологические процессы (теплота смачивания, радиоактивный распад).

Поток электромагнитного излучения, поступающий на поверхность тела при инфракрасном нагреве, преобразуется во внутреннюю (тепловую) энергию. Нагрев верхнего слоя полидисперсного материала активизирует процессы тепломассопереноса, происходящие между его деятельной поверхностью и окружающей средой, а также между смежными слоями, которые вызывают изменения температуры и влагосодержания вещества во времени и по глубине залегания.

Для аналитического описания тепловлажностного режима полидисперсного материала при условиях инфракрасного нагрева необходимо исследовать его тепловой баланс (рис. 1), который включает приходные, расходные и аккумулятивные статьи.

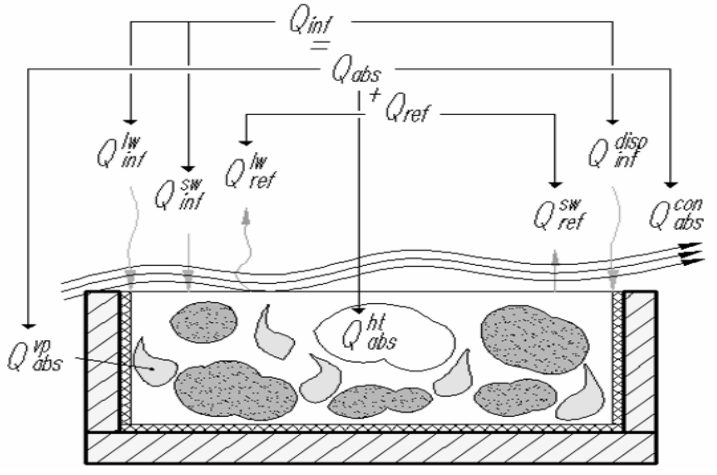


Рис. 1. Схема теплового баланса полидисперсного материала при инфракрасном нагреве

Поток электромагнитного излучения Q_{inf} (рис. 1) от источника инфракрасного излучения падает на поверхность сыпучего материала, где преобразуется во внутреннюю энергию вещества. Основным элементом всех тепловых эффектов на деятельной поверхности приемника излучения, где происходит трансформация лучистой энергии в тепловую, является притекающая к ней прямая коротковолновая радиация Q_{inf}^{sw}. Кроме того, итоговая величина Q_{inf} включает в себя рассеянную Q_{inf}^{disp} (притекает к деятельной поверхности после рассеяния энергии молекулами газов, входящих в состав воздуха, пылинками, инородной смесью, ионами) и длинноволновую Q_{inf}^{lw} (часть прямой радиации, поглощенной водяными парами, атмосферными газами и пылью) радиацию.

В список расходных статей теплового баланса Q_{ref} входят коротковолновая суммарная радиация Q_{ref}^{sw} и длинноволновое излучение Q_{ref}^{lw} сыпучего вещества. Разность между Q_{inf}^{lw} и Q_{ref}^{lw} образует эффективное излучение Q_{eff}.

Радиационный баланс Q_{rad} равен разности потоков падающей Q_{inf} и отраженной Q_{ref} теплоты от поверхности приемника. Аккумулятивная составляющая теплового баланса Q_{rad} расходуется на нагрев глубинных горизонтов Q_{rad}^{ht}, испарение влаги из материала Q_{rad}^{vp} и турбулентный теплообмен с пограничным слоем воздуха Q_{rad}^{con}.

Для определения приходных, расходных и аккумулятивных составляющих теплового баланса сыпучего полидисперсного материала используют показатель отражательной способности поверхности вещества – альбедо, которое рассчитывается по уравнению [5]:

$$A = \frac{Q_{ref}}{Q_{inf}} \cdot 100\% = \frac{Q_{inf} - Q_{rad}}{Q_{inf}} \cdot 100\%. \qquad (1)$$

В работах [6, 7] авторы свидетельствуют о низкой отражательной способности торфа, равной соответственно 9 и 10–15 %. Фрезерный торф в условиях проводимых измерений имел плотное, ровное сложение и относительно невысокую влажность $W = 1{,}2$ г/г (при влагоемкости $W_{\max} = 5{,}0$ г/г), что, вероятно, способствовало повышению теплоотражательных свойств его поверхности.

По результатам проведенных экспериментов, подробно описанных в работах [2, 8], получили альбедо деятельной поверхности исследуемого полидисперсного материала – фрезерного торфа $A = 34{,}7\ \%$.

При известном коэффициенте A, а также регистрации хода изменения $Q_{inf} = Q_{inf}\left(0, \tau\right)$ преобразователем плотности теплового потока имеем возможность для расчета по уравнению (1) остальных составляющих теплового баланса на деятельной поверхности торфяной почвы – Q_{ref} и Q_{rad} (рис. 2).

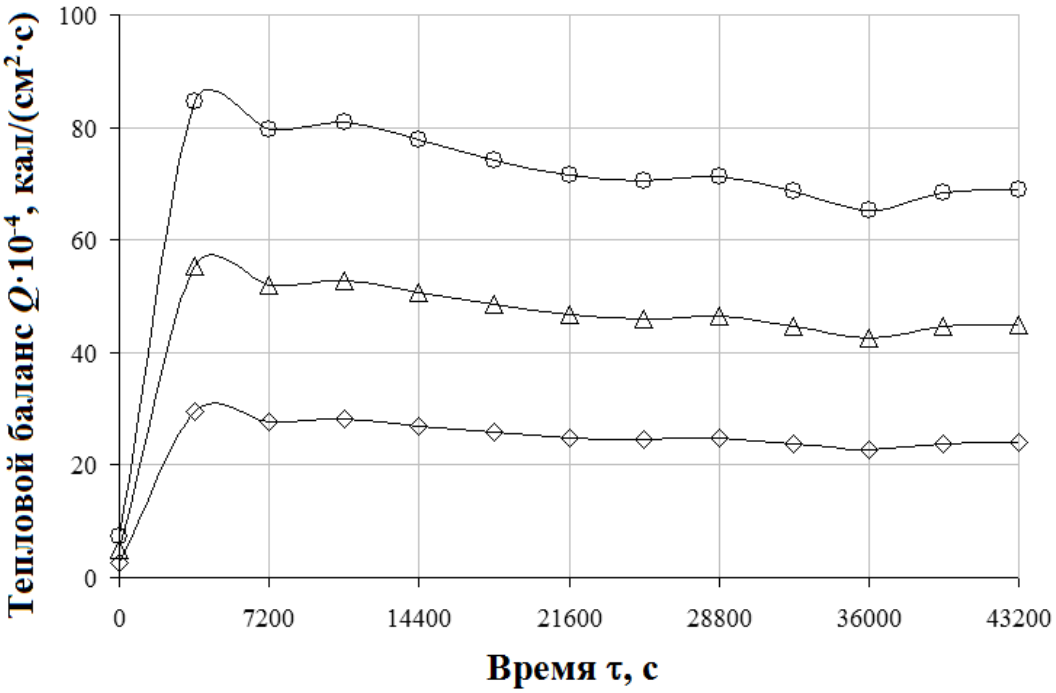


Рис. 2. Графическое представление результатов расчета теплового баланса фрезерного торфа Q: ○ – прямая радиация Q_{inf}; Δ – радиационный баланс Q_{rad}; ◊ – отраженный поток энергии Q_{ref}

Важнейшим результатом решения теплового баланса сыпучего полидисперсного материала является определение радиационного баланса вещества. Дальнейшие исследования аккумулятивной составляющей Q_{rad} позволят идентифицировать граничные условия второго рода (по энергии и массе на границе тела), необходимые при постановке и решении краевой задачи тепловлагопереноса. Постановка и решение краевой задачи тепловлагопереноса создает условия и возможности для моделирования, прогнозирования и управления тепловлажностным режимом материала во времени и по глубине залегания в зависимости от тепловых процессов, происходящих на его деятельной поверхности.

Источники

1. Чудновский А.Ф. Физика теплообмена в почве. Л., М.: Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1948. 220 с.

2. Исследование процессов тепломассопереноса в слое почвы на примере фрезерного торфа при инфракрасно-лучистом обогреве: учеб. пособие / М.В. Павлов [и др.]. Вологда: ВоГУ, 2015. 192 с.

3. Лыков А.В. Явления переноса в капиллярно-пористых телах. М.: Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1954. 296 с.

4. Хэнкс Р.Дж., Ашкрофт Дж.Л. Прикладная физика почв. Температура и влажность почвы. Л.: Гидрометеоиздат, 1985. 151 с.

5. Шеин Е.В. Курс физики почв. М.: Изд-во МГУ, 2005. 432 с.

6. Антонов В.Я., Малков Л.М., Гамаюнов Н.И. Технология полевой сушки торфа. М.: Недра, 1981. 239 с.

7. Рекультивация выработанных торфяных месторождений (биологический этап) для сельскохозяйственного использования в центральном экономическом районе РСФСР: рекомендации / Т.С. Коренова [и др.]; под ред. А.Е. Быковской. М.: Россельхозиздат, 1987. 33 с.

8. Устройство для определения альбедо деятельной поверхности материала: пат. 2456558 Рос. Федерация № 2011109327/28; заявл. 11.03.11; опубл. 20.07.12. Бюл. № 20.

УДК 536.2.022:69

СРЕДСТВО И МЕТОД ТЕПЛОВОГО КОНТРОЛЯ ОСНОВНЫХ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ

Денис Федорович Карпов

ФГБОУ ВО «ВоГУ», г. Вологда
karpov_denis_85@mail.ru

Представлено описание средства (устройства) и метода комплексного определения основных теплофизических свойств строительных материалов и изделий: коэффициентов температуропроводности и теплопроводности, теплоемкости. Определение коэффициента температуропроводности основано на регистрации нестационарного температурного поля объекта контроля в период его нагрева. Вычисление коэффициента теплопроводности выполнено для условий стационарного теплового режима объекта контроля, а теплоемкости – как производной коэффициентов теплопроводности и температуропроводности. Результаты практического применения средства и метода теплового контроля сопоставлены с данными действующих нормативных документов страны и других авторов.

Ключевые слова: источник инфракрасного излучения, строительный материал, изделие, температурное поле, коэффициент температуропроводности, теплопроводность, теплоемкость.

MEANS AND METHOD OF HEAT CONTROL OF THE MAIN THERMOPHYSICAL PROPERTIES OF CONSTRUCTION MATERIALS AND PRODUCTS

Denis Fedorovich Karpov

A description is given of the means (device) and the method of complex determination of the basic thermophysical properties of building materials and products: coefficients of thermal diffusivity and thermal conductivity, heat capacity. The determination of the thermal diffusivity is based on the registration of the non-stationary temperature field of the test object during its heating. The calculation of the thermal conductivity is made for the conditions of the stationary thermal regime of the test object, and the heat capacity – as a derivative of the thermal conductivity and thermal diffusivity. The results of the practical application of the means and method of thermal control are compared with the data of the current regulatory documents of the country and other authors.

Key words: infrared radiation source, building material, product, temperature field, thermal diffusivity, thermal conductivity, heat capacity.

В области строительной теплофизики до сих пор одной из наиболее актуальных является проблема создания точных, надежных и простых в реализации методов и устройств определения теплофизических свойств строительных материалов [1].

Теплотехнический расчет наружных ограждающих конструкций, построение нестационарного температурного поля оболочки здания, оценка уровня тепловой защиты строительного объекта и т. д. невозможны без знания целого комплекса теплофизических параметров строительных материалов и изделий, к которым, в первую очередь, относятся коэффициенты теплопроводности и температуропроводности, теплоемкость. Проблемы энергоресурсосбережения в области строительства и защиты окружающей среды от тепловых загрязнений также могут быть решены только при наличии достоверной информации о теплофизических свойствах материалов наружных ограждений зданий.

Известно большое количество контактных и бесконтактных методов и устройств комплексного определения теплофизических свойств строительных материалов и изделий [1]. Эти методы основаны на теории стационарной и нестационарной теплопроводности [2]. Основными недостатками существующих способов проведения теплофизических измерений являются техническая трудность их реализации и математическая сложность обработки

полученных экспериментальных данных. Упрощение конструкции измерительного устройства и соответствующего ему метода комплексного определения теплофизических свойств строительных материалов и изделий позволит повысить оперативность и надежность получения требуемых результатов.

На рис. 1 представлен чертеж средства (устройства) теплового контроля основных теплофизических свойств строительных материалов и изделий [3].

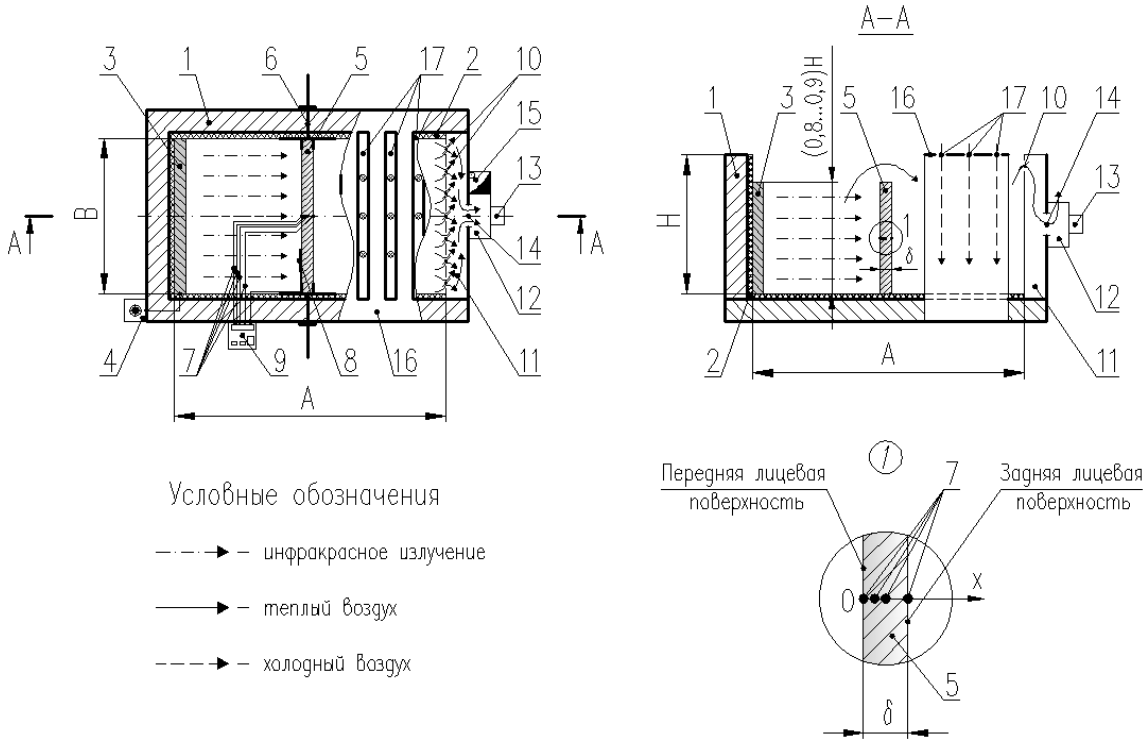


Рис. 1. Средство (устройство) теплового контроля основных теплофизических свойств строительных материалов и изделий: *1* – корпус; *2* – тепловая изоляция; *3* – источник инфракрасного излучения; *4* – регулятор тепловой мощности; *5* – строительный материал (изделие); *6* – фиксирующие элементы; *7* – термопреобразователи; *8* – преобразователь плотности теплового потока; *9* – измерительный блок; *10* – перфорированная перегородка; *11* – канал для отвода нагретого воздуха; *12* – вентилятор; *13* – электрический двигатель; *14* – всасывающий патрубок; *15* – нагнетательный патрубок; *16* – крышка; *17* – вентиляционные отверстия

В корпусе *1* устройства с внутренними линейными размерами $A \times B \times H$ при условии $A/B > 2$, изнутри покрытого слоем тепловой изоляции *2*, установлен источник инфракрасного излучения *3*. Ширина излучающей поверхности источника инфракрасного излучения соответствуют ширине В корпуса устройства, а высота равна $(0{,}8...0{,}9)H$. Тепловую мощность источника инфракрасного излучения регулируют с помощью регулятора тепловой мощности *4*. Строительный материал (изделие) *5* высотой,

соответствующей высоте излучающей поверхности источника инфракрасного излучения, закреплен в корпусе устройства на расстоянии от источника инфракрасного излучения с помощью фиксирующих элементов *6*. Центры источника инфракрасного излучения и строительного материала расположены на одной оси. В центре на поверхностях и в толще строительного материала размещены термопреобразователи *7*. На передней лицевой поверхности строительного материала установлен преобразователь плотности теплового потока *8*. Термопреобразователи и преобразователь плотности теплового потока подсоединены к измерительному блоку *9* устройства. За перфорированной перегородкой *10*, расположенной напротив задней лицевой поверхности строительного материала, регулируемые отверстия в верхней части которой предназначены для пропускания нагретого воздуха, размещен канал *11* для отвода нагретого воздуха из корпуса устройства. Вентилятор *12*, работающий на всасывание с помощью электрического двигателя *13*, соединен с каналом для отвода нагретого воздуха через всасывающий патрубок *14* и с окружающей средой – через нагнетательный патрубок *15*. Для восполнения нагретого воздуха, удаляемого из устройства в окружающую среду, на крышке *16* измерительного прибора за строительным материалом расположены вентиляционные отверстия *17* для забора воздуха из окружающей среды.

Строительный материал (изделие) помещают в открытый корпус устройства и закрепляют внутри него с помощью фиксирующих элементов. По окончании установки строительного материала в корпусе устройства сверху на корпус устанавливают крышку, которая полностью перекрывает габариты устройства, включают источник инфракрасного излучения с предварительно отрегулированной тепловой мощностью и электрический двигатель вентилятора. В начальный момент времени $\tau = 0$ температурное поле строительного материала, установленного с помощью фиксирующих элементов в корпусе устройства, однородно и численно равно температуре окружающей среды. В момент включения источника инфракрасного излучения на переднюю лицевую поверхность строительного материала равномерно подают поток электромагнитного излучения, который впоследствии преобразуется во внутреннюю энергию строительного материала. Во избежание перегрева устройства нагретый воздух из корпуса устройства отводят в окружающую среду через регулируемые отверстия, расположенные в верхней части перфорированной перегородки, и канал. Приточный воздух из окружающей среды поступает через вентиляционные отверстия, расположенные на крышке устройства. Организованный воздухообмен

в корпусе устройства осуществляют с помощью всасывающего и нагнетательного патрубков вентилятора, на валу которого размещен электрический двигатель. Температурное состояние строительного материала в координатах $x = 0$, $\delta/4$, $\delta/2$ и δ за период проведения тепловых измерений регистрируют термопреобразователи. По данным термопреобразователей строят температурное поле строительного материала вида $t = t(x, \tau)$. Плотность теплового потока, идущего от источника инфракрасного излучения в направлении к передней лицевой поверхности строительного материала, регистрирует за период проведения тепловых измерений преобразователь плотности теплового потока, установленный на передней лицевой поверхности строительного материала.

Период нагрева строительного материала τ'_{ht}, с, рассчитывают по формуле [4]:

$$\tau'_{ht} = \delta^2 / a'_t, \qquad (1)$$

где δ – толщина строительного материала; a'_t – предварительно заданный коэффициент температуропроводности.

Пусть по данным термопреобразователей известно уравнение температурного поля строительного материала, которое имеет вид $t = t(x, \tau_{ht})$ в период нагрева $\tau \in [0, \tau_{ht}]$. Тогда коэффициент температуропроводности строительного материала a_t, м^2/с, можно найти через дифференциальное уравнение теплопроводности [4]:

$$a_t = \left[\partial t(x, \tau)/\partial \tau\right]_{x=0} \Big/ \left[\partial^2 t(x, \tau)/\partial x^2\right]_{x=0}, \qquad (2)$$

где t – температура, °С; x – координата, м; τ – время, с.

В стационарном тепловом режиме $\tau_{st} > \tau_{ht}$ теплопроводность строительного материала λ_t, Вт/(м·°С), определяют по уравнению теплопроводности для плоской стенки [2]:

$$\lambda_t = q\delta/(t_{c1} - t_{c2}), \qquad (3)$$

где q – плотность теплового потока, падающего на переднюю лицевую поверхность строительного материала (по данным преобразователя плотности теплового потока); t_{c1}, t_{c2} – значения температуры на передней и задней лицевых поверхностях строительного материала, соответственно.

Объемную теплоемкость строительного материала c_V, Дж$/\left(\text{м}^3 \cdot °\text{C}\right)$ определяют по найденным коэффициентам температуропроводности (2) и теплопроводности (3):

$$c_V = \lambda_t / a_t, \tag{4}$$

где λ_t – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°C); a_t – коэффициент температуропроводности, м^2/с.

По предварительно заданной плотности и найденным коэффициенту температуропроводности и теплопроводности строительного материала определяют его удельную массовую теплоемкость c_m, Дж$/\left(\text{кг} \cdot °\text{C}\right)$:

$$c_m = \lambda_t / (a_t \rho), \tag{5}$$

где ρ – плотность строительного материала, кг$/$м^3.

По результатам проведенных экспериментально-расчетных исследований строительного материала (изделия) на примере силикатного кирпича (3 пустотный М150 по ГОСТ 379-2015, $\rho = 1800$ кг$/$м^3, $\varphi = 2...5$ %) получили: коэффициент температуропроводности $a_t = 5{,}09 \cdot 10^{-7}$ м^2/с; коэффициент теплопроводности $\lambda_t = 0{,}804$ Вт/(м·°C); объемная теплоемкость $c_V = 1580$ кДж$/\left(\text{м}^3 \cdot °\text{C}\right)$; удельная массовая теплоемкость $c_m = 0{,}830$ кДж$/\left(\text{кг} \cdot °\text{C}\right)$.

Полученные результаты практического применения средства (устройства) и метода теплового контроля исследуемого строительного материала сопоставимы с данными других авторов, завода-изготовителя и нормативными величинами [1, 5].

Представленные средство (устройство) и метод теплового контроля предназначены для комплексного определения основных теплофизических свойств строительных материалов и изделий: коэффициентов температуропроводности и теплопроводности, теплоемкости. Могут применяться для теплофизических измерений однородных строительных, теплопроводных и теплоизоляционных материалов и изделий.

Источники

1. Исследование теплопроводности и температуропроводности твердого тела при стационарном и нестационарном тепловых режимах: учеб. пособие / А.А. Синицын [и др.]. Вологда: ВоГУ, 2014. 176 с.

2. Синицын А.А., Карпов Д.Ф., Павлов М.В. Теория и практика теплообмена: учеб. наглядное пособие. Вологда: ВоГТУ, 2013. 71 с.

3. Устройство и способ комплексного определения основных теплофизических свойств твердого тела: пат. 2530473 Рос. Федерация № 2013119005/28; заявл. 23.04.13; опубл. 10.10.14. Бюл. № 28.

4. Способ определения температуропроводности твердого тела при нестационарном тепловом режиме: пат. 2502989 Рос. Федерация № 2012129603/28; заявл. 12.07.12; опубл. 27.12.13. Бюл. № 36.

УДК 536.413.541.661

ТЕПЛОВЫЕ И УПРУГИЕ СВОЙСТВА МОНОХАЛЬКОГЕНИДОВ ГАЛЛИЯ

Мехти Магомед оглы Курбанов[1], Мургуз Мургуз оглы Годжаев[2], Самандар Джафар оглы Мамедов[3]

СГУ, г. Сумгаит

[1]qurbanov.mehti@mail.ru, [2]qocayev.52@mail.ru, [3]semender54@mail.ru

В работе на основе экспериментальных данных коэффициентов теплового расширения, изотермической сжимаемости и теплоемкости была исследована плотность упаковок атомов в кристаллической решетке халькогенидов галлия. В результате исследовании выяснилось, что значения плотности упаковок уменьшаются при переходе от сульфида к теллуриду галлия.

Ключевые слова: тепловое расширение**,** теплоемкость, изотермическая сжимаемость, халькогениды, кристаллические параметры, плотность упаковки, химическая связь.

THERMAL AND ELASTIC PROPERTIES GALLIUM MONOCHALCOGENIDES

Mehdi Magomed ogly Kurbanov, Murguz ogly Gojayev Murguz, Jafar ogly Mamedov Samandar

On the basis of experimental data on the coefficients of thermal expansion, isothermal compressibility and heat capacity, the results of calculations of the packing density of atoms in the crystal lattice of gallium chalcogenides are carried out. It turned out that the value of the packing density decreases with the transition from sulphide to gallium telluride.

Key words: thermal expansion, heat capacity, isothermal compressibility, chalcogenides, crystalline parameters, packing density, chemical bonding.

Как известно, прочность твердого тела и величина межатомных химических связей зависит от плотности упаковок атомов в кристаллической решетке. В работах [1, 2] представлены формулы, связывающие термодинамические параметры с плотностью упаковок атомов в решетке:

$$b = \frac{C_P \cdot \chi_T}{3\alpha} \cdot \rho; \quad (1)$$

$$\frac{C_P}{C_V} = 1 + \frac{3\alpha T}{b}, \quad (2)$$

где b – плотность упаковок атомов в кристаллической решетке; α – коэффициент линейного теплового расширения; ρ – плотность вещества; T – абсолютная температура; χ_T – коэффициент изотермической сжимаемости; C_P и C_V – теплоемкость при постоянном давлении и объеме.

В геометрии совершенных кристаллов относительная плотность упаковки определяется как доля объема атома по сравнению с общим объемом, который занят структурой. Теоретически особенно просты расчеты для кубических решеток, так как в этих решетках число атомов в элементарной ячейке известно и легко вычислить ионный радиус и общий объем ячейки. Однако в сложных соединениях расчет плотности упаковок атомов в кристаллической решетке несколько затрудняется, так как в этих кристаллах атомы или ионы не имеют сферической формы. Ионный радиус определяется из условий минимума энергий кристаллической решетке. Поэтому, зная экспериментальные данные тепловых параметров и используя формулы (1) и (2), можно вычислить плотность упаковки атомов в кристаллической решетке.

В настоящей работе, используя экспериментальные значения α, C_P, C_V, χ_T для GaS, GaSe и GaTe, мы вычислили b и сравнили его значения, определенные из обоих формул.

Экспериментальная часть. По методике, описанной в работе [3] были синтезированы соединения халькогенидов галлия. Рентгенографическим методом проверена однофазность и определены кристаллические структуры. Оказалось, что GaS и GaSe кристаллизуются в гексагональной структуре с параметрами решетки a = 3,585 Å, c = 15,501 Å, c/a = 4,321, проверочная группа P_6/mmc для GaS и a = 3,735 Å, c = 15,887 Å, c/a = 4,245, проверочная группа C_6/mmc для GaSe, GaTe кристаллизуется в моноклинной решетке и имеет параметры решетки a = 23,761 Å, b = 4,068 Å, c = 10,462 Å.

Плотность всех соединений определена пикнометрическим методом: $\rho = 3{,}75 \cdot 10^3$ кг/м^3 для GaS; $\rho = 5{,}03 \cdot 10^3$ кг/м^3 для GaSe и $\rho = 5{,}44 \cdot 10^3$ кг/м^3 для GaTe.

Для измерения теплового расширения и изотермической сжимаемости из синтезированных слитков изготовлены образцы цилиндрической формы длиной 0,03 м и диаметром 0,005 м.

Измерения коэффициентов теплового расширения α и изотермической сжимаемости χ_T проведены на дилатометрической установке, описанной в работе [4]. Относительная погрешность измерений составила 0,5 %,

Результаты измерений приведены в табл. 1. Из таблицы видно, что во всех соединениях характер температурной зависимости, так же как коэффициент теплового расширения и коэффициент изотермической сжимаемости почти одинаковы т. е. при относительно низких температурах α – увеличивается с возрастанием температуры, начиная от 200 К рост α – несколько ослабляется и постепенно приходит к постоянному значению. В случае коэффициента изотермической сжимаемости во всех температурных интервалах значение χ_T – слабо зависит от температуры. Температурные зависимости α и χ_T, а также изменения их значений при переходе из одного состава к другому связываются с изменением межатомной химической связи в данном ряду. Так как при переходе от GaS к GaSe и GaTe ослабевает межатомная химическая связь и таким образом увеличиваются значения как α, так и χ_T.

Таблица 1

T, К	$\alpha \cdot 10^{-6}$, 1/К	$\chi_T \cdot 10^{-12}$, м^2/Н	C_P, кал/(моль·К)	b (1)
GaS				
100	5,35	7,61	24,73	0,56
150	5,76	8,62	34,25	0,55
200	7,34	8,99	34,93	0,56
250	8,12	9,03	41,46	0,57
300	9,11	9,51	43,36	0,56
GaSe				
100	6,25	8,86	31,96	0,54
150	8,55	10,25	39,79	0,53
200	9,43	10,81	44,60	0,54
250	9,67	11,04	45,64	0,55
300	10,75	11,06	47,51	0,54
GaTe				
100	8,71	10,08	32,03	0,36
150	11,01	12,05	39,05	0,39
200	13,04	13,49	44,26	0,39
250	15,21	13,82	47,65	0,39
300	16,70	14,19	49,61	0,38

Для вычислений плотности упаковок b в соединениях халькогенидов галлия использованы экспериментальные данные теплоемкости при постоянном давлении C_p [5, 6]. Эти данные, а также вычисленные значения плотности упаковок также приведены в табл. 1. Из таблицы видно, что в соединениях GaS, GaSe и GaTe плотность упаковок относительно меньше, так как, согласно литературным данным, более плотноупакованных кристаллах значение b приближается к значению 0,76 [1].

Сравнение b в различных соединениях, мы выяснили, что его значения составляют ~ 0,56 для GaS; ~ 0,54 для GaSe и ~ 0,38 для GaTe, т. е. при переходе от GaS к GaSe и GaTe значение b уменьшается. Такое изменение b свидетельствует о том, что в соединениях халькогенидах галлия, при переходе от серы к селену и теллуру в ряду халькогенидов галлия происходит ослабление межатомной химической связи между атомов в кристаллической решетке. Эта мысль подтверждается и с изменением значений α и χ_T так как при переходе от GaS к GaSe и GaTe α и χ_T – увеличиваются.

Используя термодинамическое соотношение $C_P - C_V = \frac{9\alpha^2 VT}{\chi_T}$, мы вычислили разность теплоемкостей при постоянном давлении C_P и объеме C_V для GaS, GaSe и GaTe [7, 8]. Затем пользуясь экспериментальными значениями C_P, вычислили C_V и нашли отношение C_P/C_V. Все полученные значения приведены в табл. 2.

Для проверки достоверности полученных данных плотности упаковок, определенных из формулы (1), были проведены также вычисления плотности упаковок по формуле (2), а затем проведено сравнение полученных данных.

Сравнение показало, что значение плотностей упаковок, вычисленных по формулам (1) и (2), почти одинаковы. Значения плотности упаковок для GaS, GaSe и GaTe, вычисленные по формуле (2), также приведены в табл. 2.

Таблица 2

T, К	$C_P - C_V$, кал/(моль·К)	C_V, кал/(моль·К)	C_P/C_V	b (2)
GaS				
100	0,074	24,656	1,003	0,53
150	0,171	34,079	1,005	0,54
200	0,386	34,544	1,012	0,56
250	0,522	40,938	1,013	0,57
300	0,601	42,767	1,014	0,58

Окончание табл. 2

GaSe				
100	0,131	31,83	1,004	0,47
150	0,369	39,42	1,008	0,48
200	0,391	44,21	1,012	0,50
250	0,670	44,97	1,015	0,49
300	0,801	46,71	1,018	0,53
GaTe				
100	0,224	31,866	1,007	0,36
150	0,615	38,435	1,013	0,37
200	0,693	43,567	1,016	0,35
250	0,981	46,669	1,021	0,37
300	1,809	47,812	1,038	0,39

Используя экспериментальные данные коэффициентов теплового расширения, изотермической сжимаемости и теплоемкости, в данной работе была определена плотность упаковок атомов в кристаллической решетке GaS, GaSe и GaTe. Оказалось, что ее значение уменьшается при переходе от GaS к GaSe и GaTe. Такое изменение связывается с ослаблением межатомной химической связи между атомами в данном ряду.

Источники

1. Баталов В.С., Пелецкий В.Э. Использование дилатометрии для измерения температурной зависимости сжимаемости металлов и сплавов // Физика металлов и металловедение. 1969. № 4. 212 с.

2. Колишевич Г.И., Гальпертина Т.Н., Гельд П.В. Теплоемкость и тепловое расширение CoSb // Неорганические материалы. 1976. № 6. 1119 с.

3. Qurbanov M.M., Məmmədov S.C. GaS, GaSe və GaTe monokristallarının istidən genişlənmə əmsalının qiymətləri əsasında atomların rəqslərinin harmoniklik və qeyri harmoniklik dərəcəsinin təyin edilməsi // SDU, Elmi Xəbərlər. 2016. Cild 16, № 4. Səh 6–9.

4. Годжаев М.М., Зарбалиев М.М., Курбанов М.М. Дилатометр для измерения ТКЛР твердых тел в широком интервале температур // Измерительная техника. 1985. № 2. 44–48 с.

5. Теплоемкость некоторых полупроводников $A^{III}B^{VI}$. Теплофизические свойства твердых тел / И.Г. Керимов [и др.] Киев: Наукова думка. 1971. 202 с.

6. Теплоемкость сульфида, селенида и теллурида галлия при низких температурах / К.К. Мамедов [и др.] // Инженерно-физический журнал. 1980. № 6. 1005 с.

7. Əsgərov B.M. Termodinamika və statistik fizika // Bakı Dövlət Universiteti. 2005. Səh. 71.

8. Qurbanov M.M., Qocayev M.M., Məmmədov S.C., Dəmirov A.H. $(TlGaSe_2)_{1-x}(Tl\dot{I}nS_2)_x$ (x=0,1; 0,2) bərk məhlullarının istilik – fiziki xassələri // Journal of Qafqaz University – Physics. 2016. Vol. 4, № 1. Səh. 75–79.

УДК 697.974

ОХЛАЖДЕНИЕ НАСЫЩЕННОГО ВЛАГОЙ ВОЗДУХА ПЕРЕД ПГУ-420 В ТЕПЛООБМЕННИКАХ КОМПЛЕКСНОГО ВОЗДУХООЧИСТИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА

Сергей Владимирович Лукин[1], Юлия Сергеевна Черникова[2]

ВоГУ, г. Вологда
[1]s.v.luk@yandex.ru, [2]upkaramelka@mail.ru

В статье рассмотрено два варианта охлаждения насыщенного влагой воздуха в теплообменнике, где воздух охлаждается до точки росы и ниже точки росы.

Ключевые слова: охлаждение, насыщенный влагой воздух, точка росы, теплоемкость, теплообменник, водяной эквивалент.

COOLING SATURATED WATER AIR BEFORE PGU-420 IN HEAT EXCHANGERS OF THE COMPLEX AIR CLEANING DEVICE

Sergey Vladimirovich Lukin, Julia Sergeevna Chernikova

The article considers two options for cooling saturated air in a heat exchanger, where the air is cooled to the dew point and below the dew point.

Key words: cooling, saturated air, dew point, heat capacity, heat exchanger, water equivalent.

Для охлаждения воздуха перед ПГУ-420 в летний период времени можно использовать теплообменники (ТО), установленные в системе воздухозабора комплексного воздухоочистительного устройства (КВОУ).

Рассмотрим охлаждение насыщенного влагой воздуха, когда его теплоемкость становится переменной.

По температурам воздуха $t_1' = 20, 25, 30, 35$ °С и переменной относительной влажности $\varphi = 60, 70, 80, 100$ % на *I–d* диаграмме определим температуру точки росы, где начинается конденсация водяного пара, влагосодержание – *d*, г/кг, сухого воздуха, а также удельную энтальпию – *h*, кДж/кг, сухого воздуха [1].

При влажности исходного воздуха меньше 100 % условно разделим теплообменник на две части: в первой части воздух охлаждается до точки росы с теплоемкостью c = 1 кДж/кг·К, и соответствующим водяным эквивалентом, во второй части воздух охлаждается до температуры ниже точки росы с эффективной теплоёмкостью $c_{эф}$ и другим водяным эквивалентом.

Полная площадь поверхности теплообменника $F = F_1 + F_2$, м^2, где F_1 – площадь первой части, F_2 – площадь второй части теплообменника. Проводим расчет методом последовательных приближений, т. е. сначала полагаем, что в теплообменнике не будет происходить конденсация водяного пара, используя при этом полную площадь теплообменника F, м^2, и теплоемкость c, равную 1 кДж/кг·К:

$$Q = \frac{t_1' - t_2'}{\frac{1}{k \cdot F} + \frac{1}{2W_1} + \frac{1}{2W_2}}, \qquad (1)$$

где t_1', t_2' – температуры воздуха и охлаждающего теплоносителя на входе в ТО; W_1 и W_2 – водяные эквиваленты воздуха и теплоносителя.

Проведем вариантные расчеты величины Q при переменных параметрах наружного воздуха t_1' и водяном эквиваленте W_2 = 200; 500; 1000 кВт/К и постоянных параметрах W_2 = 656 кВт/К, t_2' = 0,1 °С, k = 182 Вт/(м^2·К), F = 1 101,24 м^2.

Определяем уменьшение температуры воздуха в ТО: $\delta t_1 = Q/W_1$, а также температуру охлажденного воздуха t_1'', °С, по выражению:

$$t_1'' = t_1' - \delta t_1. \qquad (2)$$

Полученные величины сравниваем с температурой точки росы, если $t_1'' < t_{рос}$, то нужно уменьшать площадь теплообменника до тех пор, пока не будет достигнуто равенство: $t_1'' = t_{рос}$. Полученная площадь и будет F_1, а $F_2 = F - F_1$.

Далее по той же методике проводим расчет с площадью теплообменника, равной F_2.

При этом нам необходимо найти эффективную теплоемкость воздуха $C_{эф}$, кДж/кг·К, так как температура воздуха понизится до температуры точки росы и ниже, а значит начнется конденсация водяного пара:

$$C_{\text{эф}} = \frac{\Delta h}{\Delta t_1'}. \quad (3)$$

Используя эффективную теплоемкость и расход атмосферного воздуха на ГТУ $G_{10} = 656$ кг/с, определим, что водяной эквивалент W_1, кВт/К, составит:

$$W_1 = C_{\text{эф}} \cdot G_{10}. \quad (4)$$

Тепловой поток Q, кВт, передаваемый в ТО, определяем с помощью уравнения [2]:

$$Q = \frac{t_{\text{т.росы}} - t_2'}{\frac{1}{k \cdot F} + \frac{1}{2W_1} + \frac{1}{2W_2}}, \quad (5)$$

где $t_{\text{т.росы}}$ – температура точки росы, К; t'_2 – температуры охлаждающего теплоносителя на входе в ТО, К; W_1 – водяной эквивалент воздуха, кВт/К; W_2 – водяной эквивалент теплоносителя, кВт/К.

Изменение влагосодержания Δd находим по выражению, г/кг:

$$\Delta d = d_1(t_1') - d_2(t_1' - \delta t_1). \quad (6)$$

Общий выход конденсата считаем по формуле, кг/с:

$$G_{\text{конд}} = \Delta d - \frac{G_1}{1\,000}, \quad (7)$$

где $G_1 = 656$ кг/с.

Из рис. 1 следует, что, например, при увеличении водяного эквивалента W_2 с 200 до 500 кВт/К и температуре атмосферного воздуха $t_1' = 25$ °С с φ = 80 % охлаждение силового воздуха δt_1 увеличилось с 4,2 К до 4,46 К, на 5,83 %.

Анализируя рис. 2 можно увидеть, что при увеличении водяного эквивалента W_2 с 200 до 500 кВт/К и температуре атмосферного воздуха $t_1' = 25$ °С с φ = 60 % охлаждение силового воздуха δt_1 увеличилось с 4,6 до 5,62 К (на 18,15 %). Также из рис. 2 видно, что при φ = 60 % охлаждение силового воздуха происходит без конденсации водяного пара, находящегося в воздухе.

Из рис. 3 следует, что при увеличении водяного эквивалента W_2 с 200 до 500 кВт/К и температуре атмосферного воздуха $t_1' = 25$ °С с φ = 100% охлаждение силового воздуха δt_1 увеличилось с 1,31 до 1,63 К

(на 19,63 %). Сопоставляя рис. 2 и 3 можно заметить, что при увеличении относительной влажности φ с 60 до 100 % с температурой атмосферного воздуха $t_1' = 25$ °С и W_2 = 500 кВт/К охлаждение силового воздуха δt_1 уменьшилось с 5,62 до 1,63 К (на 71 %). Исходя из этого можно сделать вывод,что охлаждать силовой воздух следует только до точки росы, дальнейшее охлаждение дает гораздо меньший эффект.

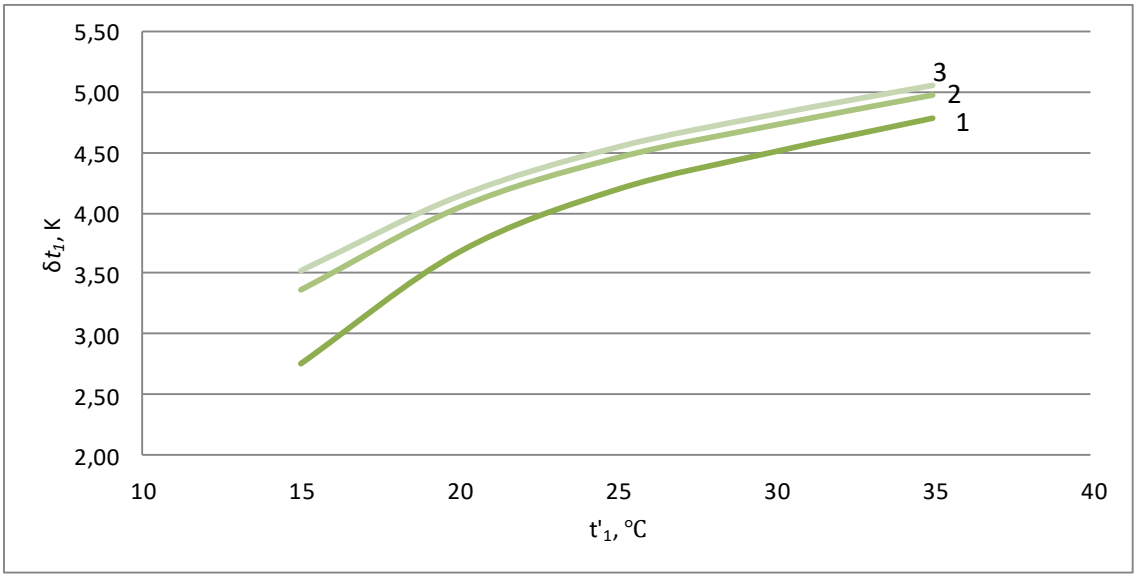


Рис. 1. Зависимость охлаждения δt_1 силового воздуха в ТО от температуры атмосферного воздуха t_1' при F = 1 101,24 м^2 и φ = 80 %: *1* – W_2 = 200 кВт/К ; *2* – W_2 = 500 кВт/К ; *3* – W_2 = 1 000 кВт/К

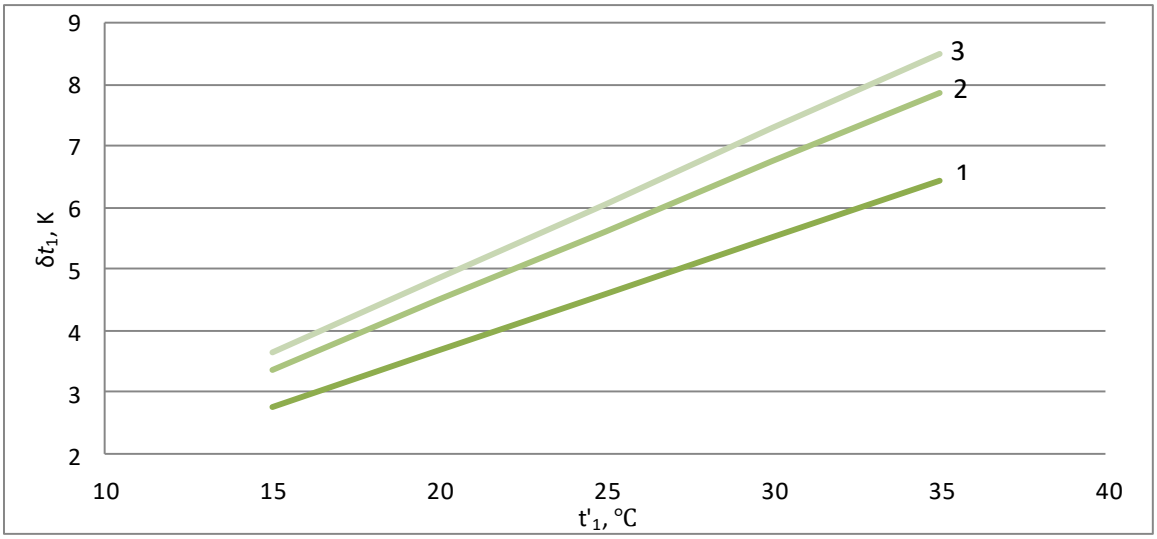


Рис. 2. Зависимость охлаждения δt_1 силового воздуха в ТО от температуры атмосферного воздуха t_1' при F = 1 101,24 м^2 и φ = 60 %: *1* – W_2 = 200 кВт/К ; *2* – W_2 = 500 кВт/К ; *3* – W_2 = 1 000 кВт/К

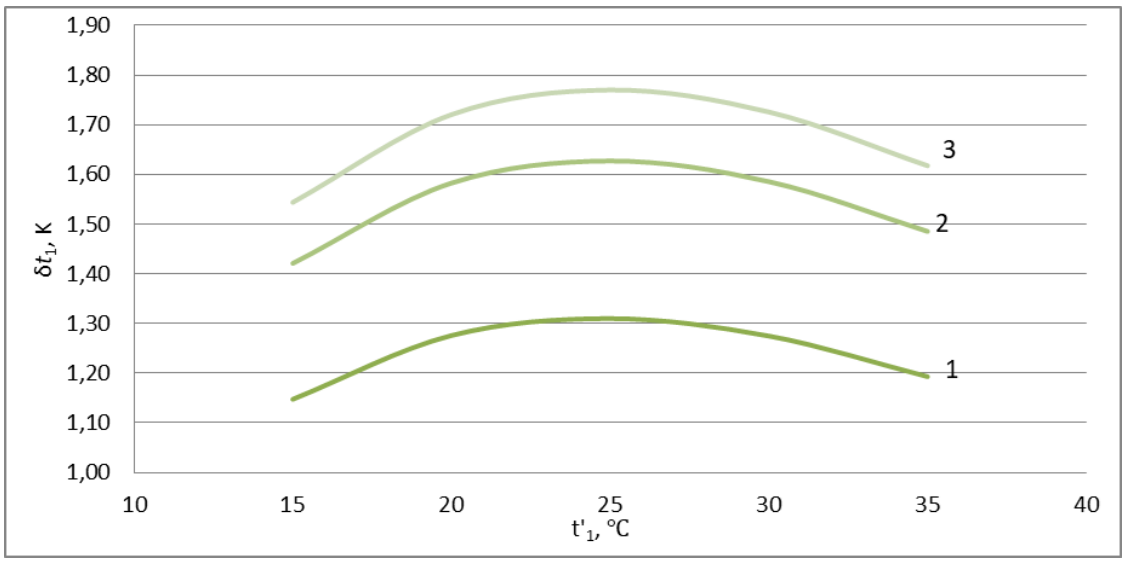


Рис. 3. Зависимость охлаждения δt_1 силового воздуха в ТО от температуры атмосферного воздуха t_1' при F = 1 101,24 м^2 и φ = 100 %: *1* – W_2 = 200 кВт/К ; *2* – W_2 = 500 кВт/К ; *3* – W_2 = 1 000 кВт/К

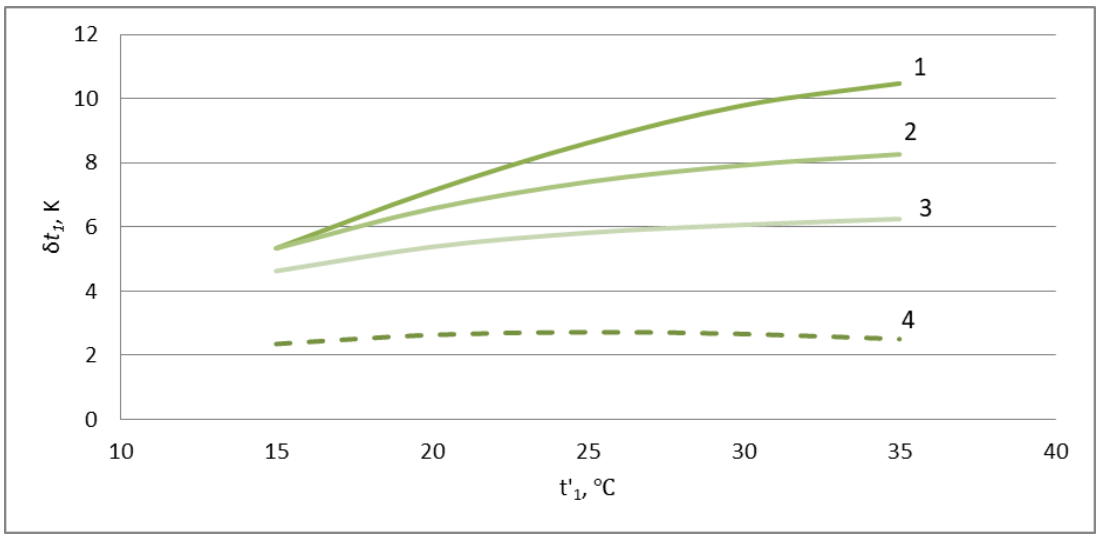


Рис. 2. Зависимость охлаждения δt_1 силового воздуха в ТО от температуры атмосферного воздуха t_1' при F = 2 202,48 м^2 W_2 = 500 кВт/К : *1* – φ = 60 %; *2* – φ = 70 %; *3* – φ = 80 %; *4* – φ = 100 %

Анализируя рис. 4, можно увидеть, что, при увеличении относительной влажности φ с 60 до 100 % и увеличении площади ТО до $F = 2202{,}48$ м^2 с температурой атмосферного воздуха $t_1' = 25$ °С и W_2 = 500 кВт/К охлаждение силового воздуха δt_1 уменьшилось с 8,62 до 2,72 К (на 68,45 %). Исходя из этого можно сделать вывод, что увеличение площади ТО на охлаждение силового воздуха сказалось благоприятно, а увеличение относительной влажности энергетически менее выгодно.

Источники

1. Юрманов Б.Н., Иванова Ю.В. Кондиционирование воздуха общественных зданий: учеб. пособие. СПб.: СПбГАСУ, 2009. 123 с.

2. Цанев С.В., Буров В.Д., Ремезов А.Н. Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций: учеб. пособие для вузов / под ред. С.В. Цанева. М.: Изд-во МЭИ, 2002. 584 с.

УДК 696.6

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Нурмамед Яшар оглы Мамедов

АзАСУ, г. Баку, Республика Азербайджан
nurmammad.mammadov@azmiu.edu.az

Решение задач энергосбережения и эффективного использования тепловой энергии в современных зданиях в первую очередь связано с целым рядом недостаточно проработанных научно-технических проблем строительной теплофизики, таких как теплопроводность и влажностный режим сложных наружных конструкций, теплоустойчивость и общий теплообмен помещения, воздушный режим здания, нестационарный совместный тепло-, влаго- и воздухообмен и долговечность конструкций здания.

Энергосбережение в строительстве и эксплуатации современных зданий с каждым годом становится все более актуальным в связи с резким удорожанием теплоэнергетических, материальных и трудовых ресурсов.

Мировая энергетика представляет сегодня одну из самых мощных, активно функционирующих глобальных систем, определяющих самые разные стороны жизни человеческого общества и во многом обуславливающих направление и темпы развития мировой экономики.

В статье обсуждаются вопросы применения современных информационных технологий в строительстве зданий нового поколения.

Ключевые слова: наружные конструкции, тепловая энергия, энергоэффективность, микроклимат, окружающая среда, оптимальное управление.

ANALYSIS OF THE POSSIBILITIES OF THE APPLICATION OF MODERN INFORMATION TECHNOLOGIES IN ENERGY EFFICIENT CONSTRUCTION

Nurmamed Yashar Mamedov

Solving the problems of energy saving and efficient use of thermal energy in modern buildings is primarily associated with a number of insufficiently developed scientific and technical problems of building thermal physics, such as thermal conductivity and humidity

regime of complex external structures, heat resistance and general heat exchange of a room, air mode of a building, non-stationary joint heat, moisture and air exchange and durability of building structures.

Energy saving in the construction and operation of modern buildings every year is becoming increasingly important due to the sharp rise in the cost of heat and power, material and labor resources.

The world energy industry today represents one of the most powerful, actively functioning global systems, defining the most diverse aspects of the life of human society and in many respects determining the direction and pace of development of the world economy.

The article discusses the use of modern information technology in the construction of new-generation buildings.

Key words: external structures, thermal energy, energy efficiency, microclimate, environment, optimal control.

Во многих странах мира огромное количество тепловой энергии расходуется впустую из-за неэффективного выбора наружных конструкций зданий, нерационального распределения тепловой энергии между потребителями, бесхозяйственного управления режимом потребления тепловой энергии и т. д.

К таким странам, к сожалению, следует отнести Азербайджан и другие страны СНГ, которые развивали свою экономику на принципах экстенсивного использования, а не на принципах рационального использования тепловой энергии, ставших присущими экономике развитых стран мира после первого энергетического кризиса в 1973 г.

Анализ состояния дел в тепловом хозяйстве республики показал массу насущных и перспективных проблем. Сложившаяся ситуация в системе теплоснабжения города Баку характеризуется технической, технологической и организационной отсталостью, низкой экономичностью, несостоятельностью и надежностью в самых экстремальных ситуациях. Поэтому увеличение доли объемов структуры теплоэнергетической системы с одновременным проектированием потенциальных и энергоэффективных зданий и увеличение качества их энергообеспечения является первоочередным этапом решения проблемы повышения эффективности энергетической отрасли республики.

В настоящее время существуют множества математических моделей оптимального управления, планирования и распределения тепловой энергии, однако в реальных условиях использование их зачастую бывает затруднено. В первую очередь это касается оперативного управления и распределения

тепловой энергии между потребителями, когда возникает проблема оперативной корректировки исходной информации и обратной связи о фактическом расходе. При этом приходится сталкиваться с неопределенностью целей, возникающих при выполнении одновременно разных заданий по управлению и обеспечении. необходимого значения при экстремальных климатических условиях или аварийных ситуациях. В результате воздействия возмущающих факторов (климатические параметры окружающей среды, условия эксплуатации зданий, организационные факторы, аварийные ситуации и т. д.), а также неполноты и неточности исходной информации основные управляемые параметры оказываются нечеткими. В этой связи сегодня практически во всех оперативно – диспетчерских пунктах операторы в основном используют свои собственные правила решения, основанные на собственном опыте и интуиции. Такие эвристические решения не гарантируют математической оптимальности, не всегда оказываются адекватными реальным условиям и реализуемыми на практике.

Очевидно, что дальнейшее совершенствование системы планирования, управления и распределения тепловой энергии между потребителями разной категории, повышение эффективности и надежности эксплуатации современных зданий, особенно в экстремальных случаях, связаны с переходом на новую систему моделирования, в частности на новую информационную технологию, и созданием на ее основе качественно новых систем оптимального и оперативного управления, распределения и эксплуатации.

С приходом в сферу строительной индустрии «интеллектуальных» технологий появилась возможность поднять показатели качества и энергоэффективности (безопасность, оптимальный комфорт, информационный сервис, оптимальное управление, эффективное использование тепловой энергии и т. д.). Все инженерные системы таких зданий управляются единым центром, что позволяет снизить теплоэнергетические ресурсы, экономить расходы на содержание обслуживающего персонала, уменьшить вероятность аварий, прогнозировать и планировать режим потребления тепловой энергии [1].

Глубокие изменения на мировом строительном рынке и в связи с этим необходимость разработки современных энергосберегающих технологий заставляют предприятия и компании этой отрасли внедрять в производство все более мощные системы проектирования и управления на всех информационных уровнях, обеспечивая при этом оптимальное использование энергетических ресурсов и других потенциалов. А это определяет новый этап развития научной концепции управления микроклиматом помещений и энергопотреблением, обеспечивающий возможность эффективного использования энергоресурсов.

В настоящее время интенсивный рост потребления тепловой энергии вызывает необходимость в разработке современных схем автоматического управления технологическим режимом системы, сбора данных с замерных датчиков и вычислительных комплексов, их хранения, отображения и обработки, основанных на использовании информационных технологий [2, 3].

Эти системы должны реализовать следующие основные функции:

• информационное обеспечение контроля и управления всех уровней;

• обработку данных измерений и решение различных задач автоматического и диспетчерского управления;

• реализацию управляющих функций;

• противоаварийную защиту технологического процесса и оборудования.

В настоящее время отечественными и зарубежными специалистами разработаны значительное количество исследований по моделированию и оптимизации режима распределения тепловой энергии и обеспечению микроклимата в современных зданиях [4, 5]. Однако разработанные методы являются детерминированными, не учитывают реальные условия эксплуатации зданий.

Получаемые с помощью этих разработок решения по распределению тепловой энергии между потребителями и обеспечению их качественным воздухом соответствуют только конкретным граничным условиям и находятся на границе допустимой области. Поэтому даже незначительные изменения граничных условий могут не только существенно изменить оптимальное решение, но и вывести его из области технологически допустимых режимов и привести к аварийной ситуации. Такие оптимальные решения не всегда могут быть приемлемыми для практики, так как они в реальных условиях зачастую бывают неработоспособными

Специалисты планово – производственных, а также диспетчерских служб обычно на практике используют свои собственные решения, основанные на их опыте и интуиции. Такие правила хотя и не гарантируют математической оптимальности, но иногда оказываются адекватными реальным условиям.

Современные здания с непрерывным характером эксплуатации являются сложными системами, состоящими из десятков подсистем, которые в свою очередь связаны между собой и характеризуются десятками параметрами. Применение современных информационных технологий для эксплуатации и управления микроклиматом и потреблением тепловой энергии этих зданий позволяет поднять на новый качественный уровень социальные условия проживающих там людей и поможет решить проблему оптимизации энергосбережения.

Предполагаем, что современное информационно-технологическое управление микроклиматом и потреблением тепловой энергии для зданий может развиваться по двум взаимосвязанным между собой направлениям.

Первое направление определяется эффективностью реализации теоретической базы знаний технологических процессов, которые создают основы динамичного развития показателей организационно-экономической системы предприятий по выработке тепловой энергии.

Второе направление – использование эффективных и оптимальных систем управления системами по обеспечению микроклимата и потреблению тепловой энергии, объединяющими не только все уровни и компоненты автоматизированного и автоматического управления, но и технические системы, с помощью которых реализуются технологические процессы указанных систем.

В центральных диспетчерских службах накоплен значительной опыт практического применения поддержки необходимых качественных воздушных условий на различных уровнях управления.

По нашему мнению, в системах по обеспечению микроклимата экологически чистого здания с эффективным использованием тепловой энергии необходимо внедрять: комплексы моделирования и оптимизации режимов работы данных систем, электронно-диспетчерские журналы, системы сбора и обработки режимно-технологической и климатологической (наружного и внутреннего воздуха) информации, системы реального времени, системы графического представления объектов (генеральный план территории и планы этажей отдельных зданий), различные комплексы режимно-технологических задач, подсистемы управления отдельных зданий или помещений.

Эти программные средства позволяют моделировать сложные многоункциональные системы по обеспечению оптимального распределения тепловой энергии между потребителями, оценивать возможные управленческие и диспетчерские решения не только в условиях нормального функционирования системы, но и при существенных изменениях, влияющих на систему факторов (резкое изменение климатических показателей окружающей среды, изменение эксплуатационных условий, возникновение аварийной ситуации и т. д.).

Для автоматизации управления и регулирования систем обеспечения микроклимата зданий можно использовать геоинформационные программно-аппаратные комплексы, которые осуществляют отбор, отображение, обработку, анализ и распространение информации о пространственно-распределенных объектов на основе электронных карт, связанных с ними

баз данных и технологий. Такие технологии предусматривают компьютерную поддержку регулирования, оперативность обработки данных, обеспечивают высокую точность, а также компьютерное моделирование системы с гидравлическим расчетом и анализом режима функционирования всей системы [6].

Однако системы управления микроклиматом и оптимальное распределение тепловой энергии между потребителями должны не только иметь интерфейсы для приема и рассылки информации, но и обладать способностью к автоматической обработке поступившей информации. При этом степень полезности программных комплексов для управления технологическими режимами процесса климатизации определяется не только достоверностью исходной информации, но и адекватностью используемых математических моделей объектов центральных систем (климатизации и распределения тепловой энергии).

Несмотря на то что в современном мире информационных технологий десятилетие сравнимо с веком прогресса в традиционных технологиях, при разработке моделей центральных систем климатизации и распределения тепловой энергии до сих пор применяются модели и решения 60-х годов прошлого века.

В настоящее время проблема математического моделирования указанных систем обострилась в связи с применением новых технологий, а также с необходимостью обоснования экономической эффективности применяемых способов управления новыми энергосберегающими технологиями в системах обеспечения микроклимата и оптимального распределения тепловой энергии между потребителями.

В любой информационно-технологической системе управления микроклиматом необходимо предусмотреть накопление, передачу, обработку первичной информации и систему представления в требуемом виде информации о принятых решениях и на основе этих решений разработать систему надежного выполнения технологических операций по обработке, транспортировке и подаче в помещения в необходимом количестве качественного воздуха и тепловой энергии [6].

Однако окружающая среда и внутренний климат зданий представляют собой сложные комплексы, для которых практически невозможно проведение полного и комплексного объема натурных испытаний. Причем объективная недостижимость полного объема испытаний связана с бесконечными множествами всевозможных непредсказуемых изменений параметров окружающей среды и возможных сценариев эксплуатации систем

(поддержание требуемых параметров внутреннего воздуха), семантичным многообразием исходной информации, подлежащей оперативной обработке в реальном времени и множеством функции программного обеспечения, подлежащим соответствующим проверкам на испытаниях. Поэтому до внедрения таких систем должны быть решены такие задачи как:

• системный анализ параметров наружного и внутреннего воздуха;

• разработка эффективных алгоритмов и математических моделей принятия управленческих решений;

• разработка унифицированных объектно-ориентированных моделей имитации и оптимизации технологических объектов по обеспечению микроклимата зданий (помещений) и оптимальному распределению тепловой энергии между потребителями;

• разработка методики и соответствующих математических моделей для оценки и мониторинга надежности систем автоматизированного управления и т. д.

Имитационное моделирование предназначено для исследования системы с фиксированной топологией и заданной конфигурацией параметров. Оно также может использоваться для проверки допустимости конкретной комбинации параметров внешней и внутренней среды, т. е. как средство тестирования и сопоставленного анализа технических решений по управлению микроклиматом зданий.

При составлении математических моделей необходимо стремиться к получению простейших моделей при достаточной точности расчетных данных.

Одним из распространенных недостатков практики создания систем управления микроклиматом многофункциональных зданий является детерминированный программный подход к данной проблеме. При этом используются различные классические подходы для моделирования физических процессов в технических системах с теми или иными, иногда существенными допущениями. В результате модель описывается линейными или нелинейными математическими уравнениями, которые решаются аналитическими, численными или вероятностно-статистическими методами. В результате полученные решения не всегда обеспечивают достаточную гибкость требованиям микроклимата. Это обусловлено тем, что во-первых, на функционирование микроклимата влияют многие случайные факторы и учет всех этих факторов в модели практически невозможен. Во-вторых,

эти системы являются системами открытого типа, с нечетко прогнозируемыми параметрами воздуха, с периодически изменяемыми условиями эксплуатации и параметрами состояния самих зданий (или помещений). В результате решение сопровождается большими вычислительными трудностями:

• имеется большая область неопределенности многих параметров модели;

• высокая неточность измеряемых параметров;

• неадекватный учет в модели параметров процессов, в частности на стыке разных технологических решений;

• присутствие в модели эмпирических коэффициентов и зависимостей;

• для идентификации параметров модели невозможно получить данные в реальном времени с заданной частотой и т. д.

Для выхода из сложившейся ситуации используются различные методы моделирования и оптимизации, которые учитывают стохастический характер изменения параметров окружающий среды, а также случайный характер эксплуатации системы климатизации и оптимального распределения тепловой энергии между потребителями. Иногда модель представляет собой управляемый нестационарный Марковский процесс, в котором управление воздействует на вероятность перехода системы из одного состояния в другое [6]. Если системы климатизации и распределения тепловой энергии рассматриваются как технические системы, а задачи проектирования и оптимизации формулируются как выбор наиболее экономичного варианта, удовлетворяющего установленной норме, надежности и вероятности выполнения тех или иных соотношений, тогда модель не позволяет учесть материальный ущерб потребителей.

В новых условиях, которые сформировались в результате внедрения различных информационно-технологических систем управления микроклимата зданий, появилась как необходимая, так и реальная возможность применения нейронных сетей и нечетких регуляторов для анализа и обработки информации при решении задач управления.

Методы интерпретации и представления обученных нейронных сетей в настоящее время развиваются в различных направлениях. Широкие возможности применения нейронных сетей при управлении производством обусловлены тем, что по технологии применения этой методики формируется структура, в которой все типы несовершенных знаний (неточности,

неопределенности и др.) могут быть представлены соответствующим образом и объединены для обработки. Кроме того, с применением различных программных комплексов управления типа SCADA накапливается огромная информация об объектах управления, которую можно использовать для адаптации моделей [6].

Следует отметить, что нейронные сети с большим успехом можно применять для диагностирования параметров климата зданий, управления микроклиматом, а также для оптимального распределения тепловой энергии между потребителями. Так как информационная среда диагностики и управления климатом зданий должна обеспечивать необходимую точность и достоверность выявления, идентификации, определения параметров воздуха. Нейросетевые алгоритмы же позволяют исключить избыточность и противоречивость информации, работают в условиях неполной информации.

Таким образом, при решении задач эффективного и рационального управления микроклиматом зданий для обеспечения потребителей качественным воздухом, а также для рационального распределения тепловой энергии с целью энергосбережения необходимо рассмотреть проблему не в узком, а в глобальном смысле за счет использования современных и экономически рентабельных технологий.

Источники

1. Табунщиков Ю.А., Бродач М.М., Шилкин Н.В. Энергоэффективные здания. М.: АВОК-ПРЕСС, 2003. 200 с.

2. Мамедов Н.Я. Вероятностно-статистические характеристики режима неравномерного потребления тепловой энергии для зданий // Вестник Томского Государственного строительного университета. 2009. № 2(23). С. 152–159.

3. Мамедов Н.Я. Моделирование режима потребления тепловой энергии для зданий с учетом влияния метеорологических и эксплуатационных факторов // Теоретическая и прикладная механика Баку 2009. № 2. С. 119–124.

4. Мамедов Н.Я., Жила В.А., Соловьева Е.Б. Применение теории интеллектуальных систем для управления режимом потребления тепловой энергии в зданиях // Вестник МГСУ. 2009. № 1. С. 188–193.

5. Бродач М.М. Повышение тепловой эффективности зданий оптимизационными методами: автореф. дис. … канд. тех. наук. М., 1988. 22 с.

6. Алиев Р.А., Алиев Р.Р., Теория интеллектуальных систем и ее применение. Баку: Çaşıoğlu, 2001. 720 с.

УДК 621.311

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ВИДОВ ДЕФЕКТОВ НА ДЛИТЕЛЬНОСТЬ РЕМОНТА ТРЕХКОНТУРНОГО КОТЛА-УТИЛИЗАТОРА

Сергей Владимирович Новичков[1], Александр Сергеевич Морычев[2]

СГТУ имени Гагарина Ю.А., г. Саратов

[1,2]novishkovsv@mail.ru

На основе сетевых моделей проанализировано изменение общей длительности ремонта трехконтурного котла-утилизатора в зависимости от объемов ремонтных операций.

Ключевые слова: сетевой график, критический путь, котел-утилизатор, ремонт, такелаж, барабан, гидроиспытание.

ANALYSIS OF THE EFFECT OF DEFECTS TYPES ON THE DURATION OF REPAIRS OF A THREE-CURRENT UTILIZER BOILER

Sergey Vladimirovich Novichkov, Alexander Sergeevich Morychev

On the basis of network models, the change in the total duration of repair of a three-circuit waste heat boiler was analyzed depending on the volume of repair operations.

Key words: network schedule, critical path, waste heat boiler, repair, rigging, drum, hydrotest.

Современный уровень энергетических мощностей предъявляет высокие требования не только к экономичной и бесперебойной работе оборудования на энергообъектах, но требует проведения организационных мероприятий по техническому обслуживанию и ремонту оборудования, которые обеспечивали бы его надежную и длительную работу без вынужденных остановов на ремонт.

Ремонтный процесс характеризуется высокой динамичностью и проводится в жестко ограниченные сроки. Перечень, объем и сроки выполнения работ по техническому обслуживанию и ремонту теплотехнического оборудования устанавливаются в соответствии с требованиями заводских инструкций по их эксплуатации и других действующих документов.

Существенную организационную помощь в проведении плановых ремонтов энергетического оборудования оказывает сетевой график, который определяет виды работ, последовательность и продолжительность их выполнения, состав бригады. Путь с максимальной продолжительностью выполнения работ называется критическим, и именно он определяет общую

продолжительность работ. Для приведения критической продолжительности сетевой модели к директивной продолжительности необходимо просмотреть работы для выявления и корректировки завышенных временных оценок. Это проводится с целью изыскания возможности изменения принятой технологии ремонта и возможности выведения работ в параллель. Необходимо рассмотреть возможность сокращения длительности работ путем применения механизмов или совершенных методов производства, а также увеличение численности рабочих [1]. При этом надо учитывать, что не все ремонтные операции допускают возможность ускорения путем увеличения числа работающих (размер рабочего места, характер работ, наличие специального инструмента).

На основе построения сетевых моделей было проанализировано изменение общей длительности ремонта трехконтурного котла-утилизатора. Котел-утилизатор (КУ) предназначен для утилизации теплоты отработавших газов газотурбинной установки, которые охлаждаются в последовательно расположенных по ходу газов поверхностях нагрева. К установке принят утилизационный котел трех давлений без дожигания производства ОАО «ЭМАльянс» типа Еп-307/350/47-13,0-565/560/247. Применение горизонтального типа барабанного котла-утилизатора трех давлений, с естественной циркуляцией и встроенным в барабан низкого давления деаэрирующим устройством позволяет уменьшить потребление электроэнергии на собственные нужды по сравнению со схемами с деаэраторами и принудительной циркуляцией в испарительных контурах котла (отсутствие циркуляционных насосов и питательных насосов низкого давления).

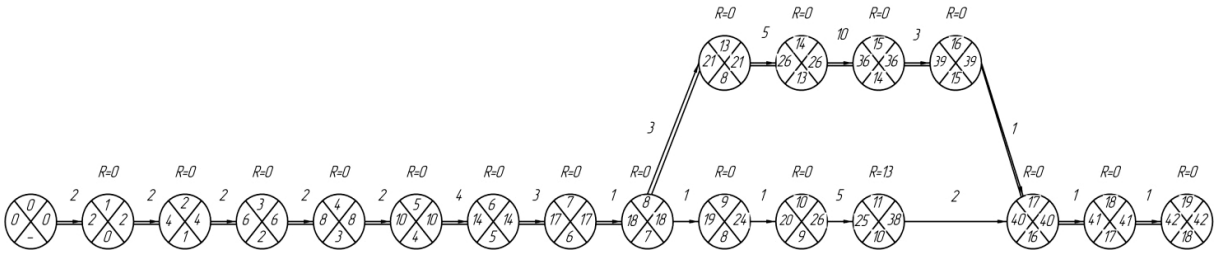
Подбор ремонтных операций производился исходя из следующих нормативных положений. Согласно ПБ 10-574-03 до начала производства работ внутри барабана или коллектора котла, соединенного с другими работающими котлами трубопроводами (паропровод, питательные, дренажные, спускные линии и т. п.), а также перед внутренним осмотром или ремонтом элементов, работающих под давлением, котел должен быть отсоединен от всех трубопроводов заглушками, если на них установлена фланцевая арматура. В случае если арматура трубопроводов пара и воды бесфланцевая, отключение котла должно производиться двумя запорными органами при наличии между ними дренажного устройства диаметром условного прохода не менее 32 мм, имеющего прямое соединение с атмосферой. Приводы задвижек, а также вентилей открытых дренажей и линии аварийного слива воды из барабана должны быть заперты на замок так, чтобы исключалась возможность ослабления их плотности при запертом

замке. Ключи от замков должны храниться у ответственного за исправное состояние и безопасную эксплуатацию котла, если на предприятии не установлен другой порядок их хранения. Осмотр котлов-утилизаторов проводится через люки и лазы, обеспечивающие возможность контроля за состоянием поверхностей нагрева, обмуровки, а также за изоляцией обогреваемых частей барабанов и коллекторов. Также, согласно ПБ 10-574-03, допуск людей внутрь котла должен производиться только по письменному разрешению (наряду-допуску), выдаваемому в установленном порядке.

Работы в газоходах могут производиться лишь после того, как место работы будет провентилировано и надежно защищено от проникновения газов и пыли от работающих котлов путем закрытия и уплотнения заслонок с запором их на замок или устройства временных кирпичных стен. Необходимо знать, что время пребывания людей в газоходе при температуре 50–60 °С не должно превышать 20 минут. Кроме того, котел должен быть надежно отделен от общего газопровода в соответствии с производственной инструкцией.

Рассматривались варианты следующих объемов ремонтных операций:

1) осмотр котла-утилизатора без выявления дефектов и замены элементов (сетевая модель представлена на рисунке);



Сетевая модель осмотра котла-утилизатора без выявления дефектов

2) вскрытие котла-утилизатора с заменой поверхностей нагрева контура высокого давления;

3) вскрытие котла-утилизатора с заменой поверхностей нагрева контура высокого давления и ремонтом поверхностей нагрева контура среднего давления;

4) замена поверхностей нагрева всех контуров.

В первом варианте основными ремонтными операциями являлись следующие работы: гидроиспытание котла, осмотр и дефектация труб, промывка барабанов, зачистка металла под контроль, осмотр барабанов, оформление документации по результатам осмотра. Критический путь составил 42 календарных дня.

Во 2-м варианте при замене поверхностей контура высокого давления котла-утилизатора учитывались следующие виды работ: останов и подготовке котла к ремонту, разбор обмуровки под монтажный проём, сборка такелажной схемы, демонтаж, дефрагментация старых поверхностей нагрева, монтаж новых, разборка такелажных схем, восстановление изоляции и обмуровки элементов котла. Наибольшие временные затраты приходятся на работы, связанные с заменой поверхностей нагрева пароперегревателя высокого давления (ППВД) – 106 календарных дней.

В 3-м варианте рассматривалась замена поверхностей нагрева контура высокого давления и ремонт поверхностей контура среднего давления. Перечень работ при замене поверхностей нагрева аналогичен работам 2-го варианта, а ремонт контура среднего давления состоял из дефектации и замены отдельных пакетов поверхностей нагрева, их креплений. Критический путь в данном варианте также лежит по линии замены поверхностей нагрева ППВД и составляет 106 календарных дней.

В 4-м варианте рассматривалась замена поверхностей всех контуров нагрева (высокого, среднего и низкого давлений). Критический путь лежал по линии замены поверхностей нагрева пароперегревателя низкого давлений (ППНД) и составил 114 календарных дней.

Рассмотренные выше ремонтные операции, выявленные критические пути и работы, лежащие на критических путях, сведены в таблицу.

Общая длительность ремонта трехконтурного котла-утилизатора и объем ремонтных операций

Номер варианта	Мероприятие	Длительность ремонта (критический путь), дни	Ремонтные работы, лежащие на критическом пути
1	Осмотр котла-утилизатора без выявления дефектов	42	Осмотр барабанов
2	Замена поверхностей нагрева контура высокого давления, контуры среднего и низкого давлений – без изменений	106	Замена ППВД
3	Замена поверхностей нагрева высокого давления, ремонт поверхностей нагрева контура среднего давления, контур низкого давления – без изменений	106	Замена ППВД
4	Замена поверхностей нагрева всех контуров	114	Замена ППНД

Из таблицы видно, что длительность ремонта котла-утилизатора, связанная с заменой пароперегревателя низкого давления на 8 дней больше длительности ремонтных операций, связанных с заменой пароперегревателя высокого давления котла-утилизатора. Состав и длительность работ на начальном и заключительном этапах ремонта приняты одинаковыми, включающими осмотр поверхностей нагрева, гидроиспытание, составление дефектной ведомости.

По результатам анализа общей длительности ремонта трехконтурного котла-утилизатора в зависимости от объемов ремонтных операций можно сделать следующий вывод. Наибольшая длительность ремонтных работ наблюдается при ремонте поверхностей пароперегревателя высокого давления. Это объясняется тем, что ППВД представляет собой толстостенный элемент, вследствие чего в местах сварных соединений (входной коллектор ППВД и паропроводов высокого давления) возникают значительные напряжения. В зависимости от величин возникающих напряжений, характеристик материала и коррозионного воздействия среды повреждения могут происходить по различным механизмам: малоцикловой и многоцикловой усталости, ускоренной коррозии, связанной с усталостным повреждением и образованием окисной пленки, ускореннной ползучести при пульсации температур. Это означает более длительные операции по термической обработке деталей, сварных соединений и т. д., что приводит к увеличению сроков ремонта. Сроки ремонта могут также увеличиваться с увеличением величины параллельных работ в связи с дополнительной занятостью ремонтного персонала.

Источники

1. Рожнатовский В.Д. Сетевое планирование и управление при производстве ремонтов энергетического оборудования. М.: МЭИ, 2005. 81 с.

УДК 621.311.2

ИССЛЕДОВАНИЯ СНИЖЕНИЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ ГОРОДСКИХ ТЭЦ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

Ирина Алексеевна Ростунцова

ФГБОУ ВО «СГТУ имени Гагарина Ю.А.», г. Саратов
Rostunzeva@mail.ru

Представлена аналитическая модель оценки экологического воздействия теплоэнергетического оборудования на окружающую среду. В основу разрабатываемой модели положен макрокинетический закон протекания брутто-реакции образования

оксидов азота в зоне высоких температур, отражающий закономерности образования оксидов азота по термическому механизму. Получены концентрации кислорода и азота в зоне реакции в зависимости от режимов работы горелок и топки котла, а также от возможного их изменения за счет ввода добавочной влаги. Определены аналитические зависимости скорости реакции, концентрации оксидов азота и коэффициента выхода оксидов азота при сжигании топлива с учетом ввода влаги.

Ключевые слова: теплоэнергетическое оборудование, концентрация оксидов азота, аналитическая модель, скорость реакции образования оксидов азота, константы реакции.

STUDIES TO REDUCE THE INFLUENCE OF URBAN CHPP ON THE ENVIRONMENT

Irina Alekseevna Rostuntsova

An analytical model for assessing the environmental impact of thermal energy equipment on the environment is presented. The developed model is based on the macrokinetic law of the flow of the gross reaction of the formation of nitrogen oxides in the high-temperature zone, which reflects the regularities of the formation of nitrogen oxides by a thermal mechanism. Concentrations of oxygen and nitrogen in the reaction zone were obtained depending on the operating modes of the burners and the furnace of the boiler, as well as on their possible change due to the addition of additional moisture. The analytical dependences of the reaction rate, the concentration of nitrogen oxides and the yield coefficient of nitrogen oxides during fuel combustion taking into account the input of moisture are determined.

Key words: heat and power equipment, concentration of nitrogen oxides, analytical model, reaction rate of formation of nitrogen oxides, reaction constants.

Экологическая нагрузка ТЭЦ, находящейся в пределах существующей городской застройки, определяется воздействием на атмосферный воздух выбросов загрязняющих веществ при сжигании органического топлива. Актуальной задачей является теоретическая оценка экологического воздействия объектов энергетики на окружающую среду, позволяющая быстро и с достаточной точностью определять допустимое загрязнение атмосферного воздуха и степень снижения вредных выбросов при внедрении природоохранных технологий.

Первым этапом в разработке аналитической модели образования вредных выбросов в факеле энергетической установки является исследование физико-химических механизмов образования вредных выбросов, в частности одного из наиболее токсичных компонентов в составе дымовых газов – оксидов азота NO_X при сжигании различных видов топлива.

В рамках данной разработки проведено теоретическое исследование возможности образования термических, быстрых и топливных оксидов азота на различных уровнях прохождения дымовых газов по тракту энергетической установки, а также факторов, влияющих на количественную характеристику выхода оксид азота при сжигании топлива.

Из проведенного анализа установлено, что преобладающее влияние на формирование концентраций NO_X в зоне активного горения оказывают термические оксиды азота, для снижения образования которых целесообразно регулировать температурный уровень и концентрацию свободного кислорода, что возможно осуществлять путем ввода влаги в топочные процессы. Исходя, из последнего разработана аналитическая модель исследования образования вредных выбросов с учетом ввода влаги в зону горения. При этом ввод влаги рассматривается как один из наиболее доступных способов снижения выбросов оксидов азота на действующих котлах ТЭС. Применение водотопливных смесей может проводиться различными модификациями: сжиганием водомазутных эмульсий, путем зональной подачи влаги через специальные аппараты, вводом воды в горячий воздух в воздуховоды котла и др. [3].

В основу разрабатываемой модели положен макрокинетический закон протекания брутто-реакции образования оксидов азота в зоне высоких температур. Методика отражает закономерности образования NO_x в основном по термическому механизму Я.Б. Зельдовича, исходя из избирательного воздействия дополнительно вводимой влаги преимущественно на термические оксиды азота. В методике определено влияние, оказываемое на образование оксидов азота температурного уровня, концентрации реагирующих веществ и время нахождения их в зоне высоких температур. При разработке модели образования оксидов азота с учетом ввода влаги использовались известные положения, изложенные в работах Я.Б. Зельдовича, И.Я. Сигала, Т.Б. Эфендиева и ряда других авторов.

Для определения концентраций оксидов азота, образующихся в процессе горения, в использовался метод разложения экспоненты, согласно которому концентрация NO находится из выражения:

$$C_{\mathrm{NO}} = \left(\frac{dC_{\mathrm{NO}}}{d\tau} \right) \tau_{\mathrm{NO}}, \qquad (1)$$

где $\frac{dC_{\mathrm{NO}}}{d\tau}$ – скорость реакции образования оксидов азота при максимальной температуре факела $T_{\max}$, % об/с; τ_{NO} – условное время реакции, с.

С учетом макрокинетического закона выход оксидов азота будет описываться уравнением:

$$\frac{dC_{\mathrm{NO}}}{d\tau} = 2K_{\mathrm{II}}C_{\mathrm{O}_2}C_{\mathrm{N}_2}, \qquad (2)$$

где K_{II} – константа скорости реакции, $(\%\ \text{об/с})^{-1}$; C_{O_2} и C_{N_2} – объемные концентрации соответственно атомарного кислорода и молекулярного азота в зоне максимальной температуры $T_{\max}$, % об.

Концентрация атомарного кислорода зависит от максимальной температуры в зоне горения. При температурах выше 1800–2000 К ее можно найти из условия равновесия при горении с избытком окислителя по формуле:

$$C_{\mathrm{O}} = [K]\cdot\sqrt{C_{\mathrm{O}_2}}, \qquad (3)$$

где $[K]$– константа равновесия, $(\%\ \text{об/с})^{-0,5}$; C_{O_2} – концентрация кислорода в продуктах сгорания, % об.

Константы K_{II} и $[K]$ могут быть определены по выражениям:

$$K_{\mathrm{II}} = 6{,}1\cdot 10^{7}\cdot\exp\left(-\frac{75\ 400}{R\cdot T_{\max}}\right), \qquad (4)$$

$$[K] = 0{,}75\cdot 10^{4}\cdot\exp\left(\frac{59\ 300}{K\cdot T_{\max}}\right), \qquad (5)$$

где R – универсальная газовая постоянная, R = 8,326 $\text{Дж}/(\text{моль}\cdot\text{К})$; $T_{\max}$ – максимальная температура факела, К.

Подставив уравнения (3)–(5) в уравнение (2), получим следующее соотношение для определения скорости образования оксидов азота:

$$\frac{dC_{\mathrm{NO}}}{d\tau} = 2\cdot T_{\mathrm{II}}\cdot\sqrt{C_{\mathrm{O}_2}}\cdot C_{\mathrm{N}_2} = 9{,}15\cdot 10^{11}\cdot\sqrt{C_{\mathrm{O}_2}}\cdot C_{\mathrm{N}_2}\cdot\exp\left(-\frac{134\ 700}{R\cdot T_{\max}}\right), \qquad (6)$$

Концентрации кислорода и азота в зоне реакции определяются согласно принятому в методике допущению при окислении азота воздуха. При этом указанные концентрации зависят от параметров, характеризующих режимы работы горелок и топки котла, а также от возможного их изменения за счет ввода добавочной влаги:

$$C_{O_2} = \frac{21 \cdot V^0 \cdot \left(\alpha_{гор} + 0{,}5 \cdot \Delta\alpha_т - 1\right)}{V_г^0 + \left(\alpha_{гор} + 0{,}5 \cdot \Delta\alpha_т - 1\right) \cdot V^0 + \vartheta_п \cdot g_{впр}}; \quad (7)$$

$$C_{N_2} = \frac{79 \cdot V^0 \cdot \left(\alpha_{гор} + 0{,}5 \cdot \Delta\alpha_т - 1\right)}{V_г^0 + \left(\alpha_{гор} + 0{,}5 \cdot \Delta\alpha_т - 1\right) \cdot V^0 + \vartheta_п \cdot g_{впр}}, \quad (8)$$

где $\alpha_{гор}$ – коэффициент избытка воздуха в горелках; $\Delta\alpha_т$ – присосы воздуха в топке; $V_г^0$ и V^0 – теоретические объемы соответственно продуктов сгорания и воздуха, $м^3/м^3\left(м^3/кг\right)$; $\vartheta_п$ – удельный объем пара, $м^3/кг$; $g_{впр}$ – водотопливное отношение, $кг_{воды}/м^3_{топлива}\left(кг_{воды}/кг_{топлива}\right)$.

Подставив уравнения (7)–(8) в уравнение (6) и сделав ряд преобразований, получим зависимость изменения скорости образования оксидов азота от количества вводимой влаги:

$$\left(\frac{dC_{NO}}{d\tau}\right)g = 9{,}15 \cdot 10^{11} \cdot \frac{L_1}{\sqrt{\left(L_2 + \vartheta \cdot g_{впр}\right)^3}} \cdot \exp\left(-\frac{L_3}{T_{max}}\right), \quad (9)$$

где

$$L_1 = \sqrt{21 \cdot V^0 \cdot \left(\alpha_{гор} + 0{,}5 \cdot \Delta\alpha_т - 1\right)} \cdot \left[79 \cdot V^0 \cdot \left(\alpha_{гор} + 0{,}5 \cdot \Delta\alpha_т - 1\right)\right]; \quad (10)$$

$$L_2 = V_г^0 + \left(\alpha_{гор} + 0{,}5 \cdot \Delta\alpha_т - 1\right) \cdot V^0; \quad (11)$$

$$L_3 = \frac{134\ 700}{R}. \quad (12)$$

При расчете уровня максимальных температур T_{max} с учетом ввода влаги в зону горения использовалась методика, в основу которой положено определение адиабатической температуры в топке и критерия Больцмана.

Адиабатическая температура горения рассчитывается по известной зависимости, когда все тепловыделение в топке воспринимается продуктами сгорания с учетом поправки на дополнительно вводимую влагу.

Получены зависимости адиабатической температуры горения T_{max}, критерия Больцмана и максимальной температуры дымовых газов в ядре факела T_a от условий теплообмена и с учетом влияния ввода влаги.

В итоге получены аналитические зависимости для определения концентраций оксидов азота $C^{g}_{NO_2}$, г/м^3, учитывающие ввод дополнительной влаги в топку котла и коэффициент выхода оксидов азота при сжигании топлива также с учетом ввода влаги (табл. 1):

$$C^{g}_{NO_2} = 286,99 \cdot 10^{11} \cdot \frac{L_1 \cdot A_T}{\sqrt{(L_2 + \vartheta_п)} \cdot g_{впр}} \cdot \exp\left[-\frac{L_3}{T_{max}} \right] \times$$
$$\times \frac{T^4_{max} - T_{max} - T_{max}\Delta T^4}{T^4_{max} \cdot (T_{max} - \Delta T)^4}. \qquad (13)$$

Таблица 1

Расчет теоретической зависимости образования оксидов азота от количества вводимой влаги в топку котла

Расчетные параметры	Водотопливное отношение $g_{впр}$, %					
	0	10	20	30	40	50
Максимальная температура факела T_{max}, К	2010	1997	1983	1969	1956	1942
Объемная концентрация атомарного кислорода C_{O_2}, % об.	1,3170	1,3030	1,2890	1,2750	1,2639	1,2470
Объемная концентрация молекулярного азота C_{N_2}, % об.	71,602	70,575	69,547	68,520	68,150	66,465
Скорость образования оксидов азота $dC_{NO_2}/d\tau$, % об.	0,1577	0,1272	0,0966	0,0661	0,0585	0,0049
Концентрация оксидов азота в топке C_{NO_2}, г/м^3	0,2500	0,2040	0,1580	0,1392	0,1204	0,1114

Используя зависимость (13) можно оценить коэффициент выхода оксидов азота при сжигании топлива с вводом влаги:

$$K^{вых}_{NO_2} = \frac{286,99 \cdot 10^{11}}{C^{g}_{NO_2}} \cdot \frac{L_1 \cdot A_T}{\sqrt{(L_2 + \vartheta_п)} \cdot g_{впр}} \cdot \exp\left(-\frac{L_3}{T_{max}} \right) \times$$
$$\times \frac{T^4_{max} - T_{max} - T_{max}\Delta T^4}{T^4_{max} \cdot (T_{max} - \Delta T)^4}. \qquad (14)$$

Экспериментальная проверка аналитических зависимостей (13) и (14) выполнена для энергетического котла БКЗ-320-140 ГМ, для которого проводились опытные замеры концентраций оксидов азота с впрыском воды в тракт горячего воздуха [4].

Экспериментальная зависимость изменения концентраций оксидов азота в зависимости от вводимой влаги в топку котла приведена в табл. 2.

Таблица 2

Экспериментальная зависимость изменения концентраций оксидов азота в зависимости от вводимой влаги в топку

Расчетные параметры	Водотопливное отношение $g_{\text{впр}}$, %					
	0	10	20	30	40	50
Концентрация оксидов азота в топке C_{NO_2}, г/м^3	0,2530	0,2065	0,1600	0,1410	0,1220	0,1130

Как видно из анализа табл. 1 и 2, получена достаточная сходимость экспериментальных результатов и теоретических данных, рассчитанных по предлагаемой методике. Максимальная величина отклонений расчетной величины концентрации NO_2 от экспериментальных значений не превышает 1,5 %.

Для учета реальных условий эксплуатации котлов аналитическая модель дополнена математической моделью расчета процесса горения и расчета топочной камеры.

В математической модели представлен сложный комплекс процессов, происходящих при факельном горении, включая аэродинамику топочной камеры и теплообмен с поверхностями нагрева. В данной модели производится позонный расчет максимальной температуры горения, скорости изменения температуры горения с учетом всех возможных режимов работы топочной камеры, что позволяет проследить влияние темпов охлаж-дения, начального и конечного состава продуктов сгорания, регулируемых путем ввода активных добавок (воды) с целью снижения концентраций вредных выбросов.

С использованием прикладного языка программирования разработан программный комплекс макрокинетической модели снижения образования выбросов при проектировании природоохранных мероприятий, учитывающий совместно аналитическую (кинетическую) модель расчета образования вредных выбросов в топке котла, а также математическую модель расчета процесса горения и расчета топочной камеры, с помощью которого просто и оперативно, а также с достаточной точностью можно произвести определение выбросов оксидов азота котельными установками.

Источники

1. Котлер В. Р., Беликов С. Е., Верещетин В. А. Использование газа на тепловых электростанциях США и проблемы экологии // Электрические станции. 2004. № 4. С. 66–68.

2. Математическая теория горения и взрыва / Я.Б. Зельдович [и др.]. М.: Наука, 1980. 478 с.

3. Курочкин А. В. , Беляев А. Ф., Беликов С. Е. Уменьшение выбросов оксидов азота за счет режимных мероприятий при сжигании природного газа // Промышленная энергетика. 2004. № 12. С. 49–52.

4. Шупарский А.И. Снижение выбросов оксидов азота при вводе воды в воздуховоды котлов // Теплоэнергетика. 1991. № 8. С. 104–107.

УДК 621.311

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ БЛОКОВ АЭС ИНТЕНСИФИКАЦИЕЙ ТЕПЛООБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ КОНДЕНСАЦИИ ПАРА

Ирина Алексеевна Ростунцова[1], Александр Андреевич Дмитриев[2]

СГТУ имени Гагарина Ю.А., г. Саратов

[1,2]Rostunzeva@mail.ru

Проведена оценка влияния загрязнения поверхности охлаждения конденсатора турбины АЭС на теплообменные процессы. Разработаны методические положения оценки воздействия этих загрязнений на экономичность работы энергоблока с точки зрения снижения теплообмена в конденсаторе. В целях повышения эффективности выработки электроэнергии атомной электростанцией рассмотрены вопросы улучшения условий теплообмена в конденсаторах турбин, позволяющие повысить экономичность за счет углублении вакуума и увеличения теплоперепада турбины. Представлены результаты расчета изменения мощности турбоустановки при углублении вакуума в конденсаторе.

Ключевые слова: загрязнение поверхности охлаждения конденсатора, теплообмен в конденсаторе, коэффициент теплопередачи, оценка эффективности системы шарикоочистки.

INCREASE OF ENERGY EFFICIENCY OF NPP BLOCKS BY INTENSIFICATION OF HEAT-EXCHANGE PROCESSES IN CONDENSING STEAM

Irina Alekseevna Rostuntsova, Alexander Andreevich Dmitriev

The effect of contamination of the cooling surface of the condenser condenser of the NPP turbine on heat exchange processes was evaluated. Developed methodological provisions for assessing the impact of these pollutants on the efficiency of the power unit

in terms of reducing heat transfer in the condenser. In order to improve the efficiency of electric power generation by a nuclear power plant, the issues of improving the heat exchange conditions in turbine condensers are discussed, which make it possible to increase efficiency by deepening the vacuum and increasing the heat flow turbine. The results of the calculation of the change in the power of the turbo-installation with the deepening of the vacuum in the condenser are presented.

Key words: condenser cooling surface contamination, heat exchange in the condenser, heat transfer coefficient, assessment of the effectiveness of the ball cleaning system.

Частой причиной ухудшения вакуума в конденсаторе паровой турбины является загрязнение трубной системы с водяной стороны. Ухудшение вакуума происходит как вследствие увеличения термического сопротивления за счет загрязнения трубок, так и за счет некоторого сокращения расхода воды через конденсатор вследствие повышения гидравлического сопротивления. Нежелательное выпадение веществ в виде отложений на внутренних поверхностях охлаждающих трубок вызывает микрозагрязнением. Важнейшей эксплуатационной задачей является предотвращение загрязнения конденсаторов паровых турбин, а в случае его возникновения – определение оптимальных способов очистки конденсаторов с минимальными затратами и по возможности без ограничения нагрузки. Интенсивность загрязнения конденсаторов зависит в основном от качества охлаждающей воды, типа водоснабжения, времени года и условий эксплуатации системы циркуляционного водоснабжения.

Из теплового цикла следует, что КПД турбинной установки тем выше, чем ниже температура (и, следовательно, давление) пара за последней ступенью турбины. При изменении конечного давления пара на 1 кПа экономичность турбинной установки ТЭС изменяется примерно на 1–2 %. Повышение экономичности при углублении вакуума получается, прежде всего, за счет увеличения теплоперепада турбины. Поэтому для турбин с малым теплоперепадом, в частности для турбин насыщенного пара, относительное изменение теплоперепада увеличивается, что дает большой выигрыш по экономичности [1].

Оценка влияния загрязнения трубок на параметры в конденсаторе проведено путем расчета изменения коэффициента теплопередачи от степени загрязнения. Значение коэффициента теплопередачи лежит в диапазоне 2000–5000 $\text{Вт}/\left(\text{м}^2 \cdot \text{град}\right)$ или может быть определено по эмпири-ческой формуле Л.Д. Бермана, полученной для $t_{1\text{в}} < 35$ °С и $w_{\text{в}} = 0{,}9 \div 3{,}0$ м/с [2]:

$$K = 4\,070 \cdot \beta \cdot \Phi_w \cdot \Phi_t \cdot \Phi_z \cdot \Phi_d. \qquad (1)$$

Здесь:

• β – коэффициент, учитывающий чистоту трубок конденсатора:

$$\beta = \beta_{\text{с}} \cdot \beta_{\text{м}},$$

где $\beta_{\text{с}}$ – коэффициент, зависящий от ожидаемого состояния поверхности охлаждения конденсатора ($\beta_{\text{с}}$ = 0,5÷1 при оборотном водоснабжении); $\beta_{\text{м}}$ – коэффициент, зависящий от материала и толщины трубок ($\beta_{\text{м}}$ = 0,85);

• Φ_w – множитель учитывающий влияние скорости охлаждающей воды $w_{\text{в}}$:

$$\Phi_w = \left(\frac{1{,}1 w_{\text{в}}}{d_2^{0{,}25}} \right)^x, \tag{2}$$

$$x = 0{,}12\beta\left(1 + 0{,}15 t_{1\text{в}}\right); \tag{3}$$

• Φ_t – множитель учитывающий влияние температуры охлаждающей воды $t_{1\text{в}}$ при $t_{1\text{в}} \le 35$ °С:

$$\Phi_t = 1 - b(\beta)^{0{,}5} \cdot (35 - t_{1\text{в}})^2 \cdot 10^{-3}; \tag{4}$$

$$b = 0{,}52 - 0{,}0072 d_{\text{к}}, \tag{5}$$

где $d_{\text{к}}$ – удельная паровая нагрузка конденсатора, $\text{г}/\left(\text{м}^2 \cdot \text{с}\right)$;

• Φ_z – множитель учитывающий влияние ходов воды в конденсаторе при z = 2:

$$\Phi_z = 1 \text{ при } \Phi_z = 1 + \left(\frac{z-2}{15} \right) \cdot \left(1 - \frac{t_{1\text{в}}}{35} \right), \tag{6}$$

• Φ_d – множитель, учитывающий влияние паровой нагрузки конденсатора:

$$\Phi_d = \frac{D_{\text{к}}}{D_{\text{к}}^{\text{тр}}} \cdot \left(2 - \frac{D_{\text{к}}}{D_{\text{к}}^{\text{тр}}} \right); \tag{7}$$

$$D_{\text{к}}^{\text{тр}} = \delta \frac{D_{\text{ном}}}{D_{\text{к}}} = \left(0{,}9 - 0{,}012 \cdot t_{1\text{в}}\right) \cdot \frac{D_{\text{ном}}}{D_{\text{к}}}, \tag{8}$$

где $\frac{D_{\text{ном}}}{D_{\text{к}}}$ – номинальная паровая нагрузка конденсатора, $\text{кг}/\text{с}$.

Результаты расчета коэффициента теплопередач в зависимости от степени загрязнения поверхности представлены в табл. 1 и на рисунке.

Таблица 1

Результаты расчета влияния загрязнения трубок на теплообмен в конденсаторе

Параметр	Значение коэффициента чистоты трубок конденсатора β		
	0,5	0,6	0,9
Коэффициент теплопередачи k, $Вт/(м^2 \cdot град.)$	1 223,43	1 632,2	2 183,54
Температура циркуляционной воды $t_к$, °С	30,2	30,9	31,6
Температура насыщения пара в конденсаторе, °С	34	35	36
Давление насыщения в конденсаторе, КПа	4	4,5	4,8

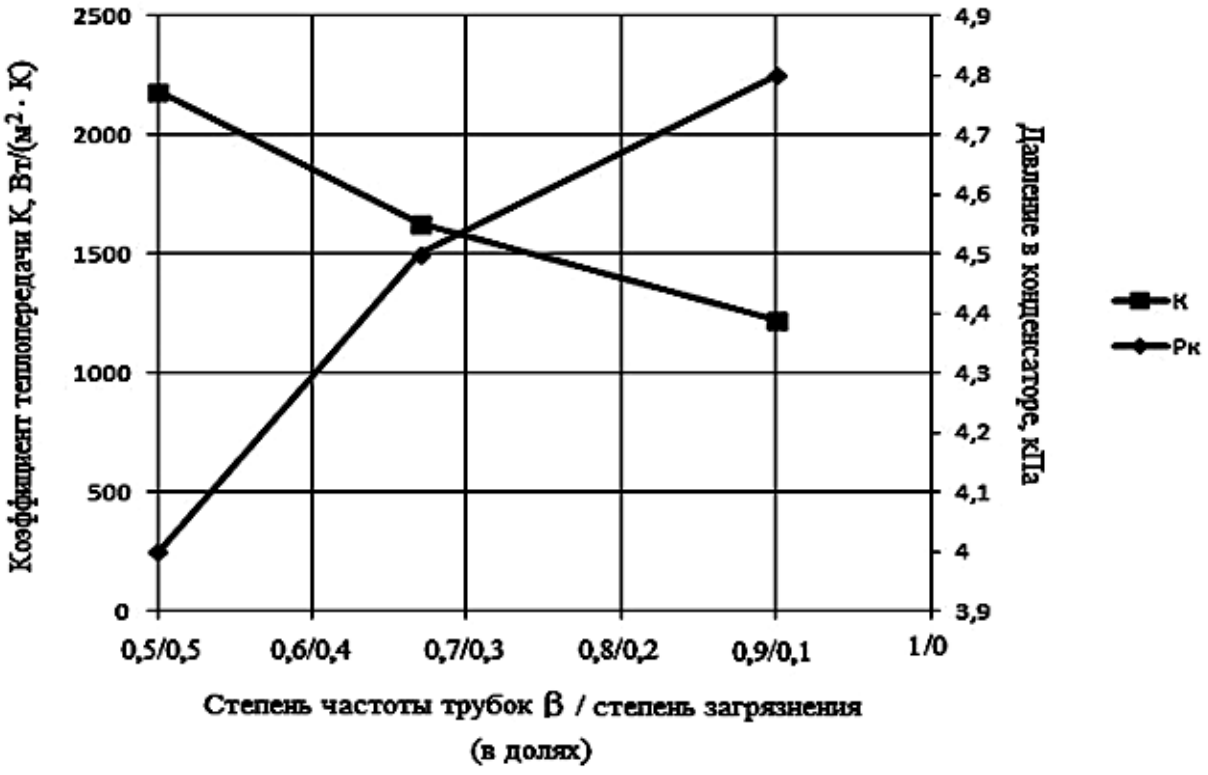


Рис. 1. Зависимость коэффициента теплопередачи и давления в конденсаторе от степени загрязнения трубок: k – коэффициент теплопередачи, Вт/(м^2· град); $P_к$ – давление в конденсаторе, кПа

Расчетами подтверждено, что загрязнение поверхности охлаждения конденсатора негативно влияет на коэффициент теплопередачи. Это в свою очередь приводит к ухудшению параметров в конденсаторе, в частности наблюдается рост абсолютного давления.

Определение прироста мощности энергоблока за счёт углубления вакуума в конденсаторе. Изменение мощности турбины будет определяться в соответствии с формулой:

$$\Delta N_{\text{Т}} = \Delta N_{\text{тр}} - \Delta N_{\text{н}}. \tag{9}$$

Здесь:

• $\Delta N_{\text{тр}}$ – изменение мощности турбины при углублении вакуума в конденсаторе, МВт:

$$\Delta N_{\text{тр}} = \left(D_k + D_{kp}\right) \cdot \left(\left(h_2 - h_{2p}\right) - \Delta h_{\text{в.с}}\right), \tag{10}$$

где D_k – расход пара в конденсатор при номинальном режиме, кг/с; D_{kp} – дополнительный расход пара в конденсатор при увеличении вакуума в конденсаторе, кг/с; h_2 и h_{2p} – энтальпия пара в конце реального процесса расширения при номинальном режиме и при режиме с улучшенным вакуумом, кДж/кг; $\Delta h_{\text{в.с}}$ – изменение потерь с выходной скоростью в расчётном варианте, кДж/кг;

• $\Delta N_{\text{н}}$ – изменение мощности циркуляционных насосов, МВт:

$$\Delta N_{\text{н}} = \frac{G_k H_{\text{н}}}{\rho_{\text{в}} \eta_{\text{н}}}, \tag{11}$$

где $H_{\text{н}}$ – напор, развиваемый циркуляционным насосом, кПа; $\rho_{\text{в}}$ – плотность воды, м^3/кг; $\eta_{\text{н}} = 0{,}8$ – КПД насоса; G_k – расход циркуляционной воды, кг/с:

$$G_k = \frac{\left(D_k + D_{kp}\right)\left(h_2 - h_{2p}\right) \cdot \eta_{\text{н}}}{\left(t_{2\text{в}} - t_{1\text{в}}\right) \cdot C_{pv}}, \tag{12}$$

где $t_{2\text{в}}$, $t_{1\text{в}}$ – температура циркуляционной воды на выходе и входе в конденсатор, °С.

Результаты расчета прироста мощности при углублении вакуума в конденсаторе приведены в табл. 2.

Таблица 2

Расчёт изменения мощности турбоустановки при углублении вакуума в конденсаторе

Обозначение	Размерность	Режимы с ухудшенным вакуумом – высокое абсолютное давление			Достижение стандартного вакуума – снижение абсолютного давления
P_{2p}	кПа	4,8	4,5	4	3,9
G_k	кг/с	8 098,6	9 516,1	10 683,3	13 585,6
$\Delta N_{\text{тр}}$	МВт	3,72	6,51	10,67	13,82
$\Delta N_{\text{н}}$		0,23	0,31	0,68	1,12
$\Delta N_{\text{Т}}$		3,49	6,21	10	12,7

Расчёт экономического эффекта за счёт выработки дополнительной электроэнергии в результате углубления вакуума. Исходные данные: прирост мощности энергоблока: $\Delta N_{\text{т}} = 12,7$ МВт; число часов работы блока $h_{\text{тр}} = 7\,430$ ч/год; средняя мощность блока $N = 1\,198$ МВт; удельный расход тепла при средней нагрузке: $q_{\text{т}} = 3\,140\ \dfrac{\text{МВт}\cdot\text{ч}}{\text{кВт}\cdot\text{ч}}$.

Р а с ч ё т: Дополнительная годовая выработка электроэнергии:

$$\Delta N_{\text{т}}^{\text{год}} = \Delta N_{\text{т}}^{\text{год}} \cdot h_{\text{тр}} = 12,7 \cdot 7\,430 \cdot 10^3 = 94\,361\ \left(\text{тыс.кВт}\cdot\text{ч}\right)/\text{год}. \quad (13)$$

Экономия энергии составит:

$$\Delta Э_{\text{т}}^{\text{год}} = \Delta N_{\text{т}}^{\text{год}} q_{\text{т}} = 94\,361 \cdot 10^3 \cdot 3\,140 \cdot 10^{-6} = 296\,294\ \left(\text{МВт}\cdot\text{ч}\right)/\text{год}. \quad (14)$$

Эффект от дополнительной выработки:

$$\Delta Э_{\text{т}} = 3\,140\ \left(\text{МВт}\cdot\text{ч}\right)/\left(\text{кВт}\cdot\text{ч}\right).$$

При тарифе на электроэнергию $T_{\text{ээ}} = 2,7$ руб./$\left(\text{кВт}\cdot\text{ч}\right)$:

$$\Delta Э_{N_p} = \Delta Э_{\text{т}}^{\text{год}} \cdot T_{\text{ээ}} = 296\,294 \cdot 2,7 = 799,993\ \text{млн руб./год}. \quad (15)$$

Расчёт экономического эффекта за счёт дополнительной выработки электроэнергии в результате исключения чисток конденсатора. Исходные данные: число чисток конденсатора $n_{\text{ч}} = 6$ раз/год; снижение мощности турбины при чистке конденсаторов $\Delta N_{\text{ч}} = 800$ МВт.

Р а с ч ё т: Суммарная недовыработка:

$$\Delta N_{\text{ч}}^{\Sigma} = 400 \cdot 10^3 \cdot 10^{-1} = 40\,000\ \text{кВт}. \quad (16)$$

Годовая недовыработка электроэнергии:

$$\Delta N_{\text{ч}}^{\text{год}} = \Delta N_{\text{ч}}^{\Sigma} \cdot n_{\text{ч}} = 40\ 000 \cdot 10^3 \cdot 6 = 24\ 000\ \left(\text{тыс. кВт} \cdot \text{ч}\right)/\text{год}. \quad (17)$$

Эффект от дополнительной выработки:

$$\Delta Э_{\text{т}} = \Delta N_{\text{ч}}^{\text{год}} \cdot T_{\text{ээ}} = 24\ 000 \cdot 2,7 = 64\ 800\ \text{млн руб./год}. \quad (18)$$

В настоящее время для очистки трубок конденсатора нашла широкое применение система шариковой очистки (СШО) [3]. В системе применяются пористые резиновые шарики диаметром, несколько большим внутреннего диаметра теплообменных трубок конденсатора, циркуляция которых позволяет удалять различного рода отложения с внутренней поверхности трубок.

С использованием методических положений в работе [4] проведена оценка экономической эффективности применения СШО. Расчеты выполнены применительно к блоку с ВВЭР-1200 с турбоустановкой К-1200-6,8/50.

Получены следующие результаты эффективности работы СШО:

• прирост мощности энергоблока $\Delta N_{\text{т}} = 12,7$ МВт;

• капитальные вложения в СШО:

$$\text{К} = \text{К}_{\text{СШО}} + \text{К}_{\text{СМР}} = 2\ 200,3 \text{ млн руб.};$$

• дополнительная годовая выработка электроэнергии:

$$\Delta N_{\text{т}}^{\text{год}} = \Delta N_{\text{т}} \cdot h_{\text{тр}} = 194\ 361\ \left(\text{тыс. кВт} \cdot \text{ч}\right)/\text{год};$$

• экономия энергии составит:

$$\Delta Э_{\text{т}}^{\text{год}} = \Delta N_{\text{т}}^{\text{год}} \cdot g_{\text{т}} = 296\ 294\ \left(\text{МВт} \cdot \text{ч}\right)/\text{год};$$

• эффект от дополнительной выработки:

$$\Delta Э_{N_p} = \Delta Э_{\text{т}}^{\text{год}} \cdot T_{\text{ээ}} = 799,993 \text{ млн руб./год};$$

• годовые результаты от внедрения СШО составят:

$$R_t = 865,1 \text{ млн руб./год};$$

• годовые затраты от внедрения СОШ:

$$\text{И}_{\text{ам}} = a_{\text{ам}} \cdot \text{К} = 154,021 \text{ млн руб./год};$$

• экономический эффект от применения СШО составит:

$$Э_t = R_t - \text{И}_{\text{ам}} = 711,1 \text{ млн руб./год};$$

• чистый дисконтированный доход за период 11 лет составит 791,47 млн руб;

• срок окупаемости системы шарикоочистки – 5,5 лет.

Выводы. 1. Проведен анализ влияния загрязнения трубок конденсатора на эффективность работы турбоустановки.

2. По методическим положениям выполнено определение прироста мощности энергоблока за счёт улучшения вакуума в конденсаторе и рассчитан экономический эффект от применения системы шарикоочистки конденсатора.

Источники

1. Стерман Л.С., Лавыгин В.М., Тишин С.Г. Тепловые и атомные электрические станции: учебник для вузов по направлению «Теплоэнергетика». 5-е изд., стереотип. М.: Издательский дом МЭИ, 2010. 464 с.

2. Ледуховский Г.В., Поспелов А.А. Конденсационные установки паровых турбин: расчет энергетических характеристик: учеб. пособие. Иваново: ФГБОУ ВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», 2014. 112 с.

3. Методы очистки от накипи // ЗевсТрубопровод: сайт. URL: http:// www.zevs-irp.ru/methods (дата обращения: 17.09.18).

4. Ростунцова И.А., Шевченко Н.Ю. Оценка эффективности внедрения системы очистки низкопотенциальной части энергоблока // Инновационные технологии в обучении и производстве: матер. XI Всерос. заочн. науч.-практ. конф.: в 2 т. Волгоград, 2017. Т. 1. С. 43–44.

УДК 621.313

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ: ОТЕЧЕСТВЕННЫЙ И ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ

Ольга Сергеевна Чехонина[1], Азат Назипович Хуснутдинов[2]

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

[1,2]ol.chexonina@yandex.ru

В статье был проанализирован опыт зарубежных стран и определено перспективное направление внедрения тепловых насосов. Так же были выделены ограничения для внедрения тепловых насосов.

Ключевые слова: жилищно-коммунальное хозяйство, тепловой насос, потенциал энергосбережения.

PROSPECTS OF APPLICATION OF HEAT PUMPS: DOMESTIC AND FOREIGN EXPERIENCE

Olga Sergeevna Chekhonina, Azat Nazipovich Khusnutdinov

The article analyzed the experience of foreign countries and identified a promising direction for the introduction of heat pumps. Restrictions for the introduction of heat pumps were also highlighted.

Key words: housing and communal services, heat pump, energy saving potential.

Жилищно-коммунальное хозяйство (ЖКХ) России представляет собой крупнейший энергоемкий многоотраслевой комплекс, который включает в себя жилищный фонд общей площадью 3 млрд кв. м, многопрофильную инженерную инфраструктуру, которая обеспечивает поставку потребителям услуг электро-, тепло-, водоснабжения и т. д. В настоящее время в ЖКХ РФ сложилась неблагоприятная ситуация: низкая эффективность использования ресурсов; значительный износ основных фондов; недостаточное использование энергосберегающих технологий. Если сравнивать Россию со странами, имеющими схожий климат, то удельный расход энергии в РФ в 1,5 раза выше, чем в развитых странах.

Для поиска наиболее эффективных направлений реализации потенциала энергосбережения обратимся к опыту Японии, чьи методы в энергоэффективности оказались наиболее успешными.

Одним из наиболее актуальных направлений развития энерго-сберегающих технологий в Японии является применение тепловых насосов, которые представляют собой парокомпрессионные холодильные установки. Выделяют две основные сферы применения насосов – горячее водоснабжение на всей территории и отопление зданий в холодных регионах.

Насосы состоят из следующих компонентов: компрессор, конденсатор, расширительный вентиль и испаритель. Работа компрессора идет не столько на производство теплоты, сколько на ее перемещение. Поэтому затрачивая всего 1 кВт электрической мощности на привод компрессора, можно получить теплопроизводительность конденсатора около 5 кВт. Принцип получения тепла с помощью теплового насоса отличается от традиционных систем нагрева [1].

Системы отопления, работающие от теплового насоса, отличаются экологической чистотой, так как работают без сжигания топлива и не производят вредных выбросов в атмосферу. Среди достоинств теплового насоса выделяют снижение капитальных затрат за счет отсутствия газовых коммуникаций, безопасность эксплуатации благодаря отсутствию взрывоопасного газа, возможность одновременного получения от одной установки отопления, горячего водоснабжения и кондиционирования.

Стоит отметить ограничения, которые препятствуют активному использованию тепловых насосов в России. Во-первых, высокие удельные капитальные вложения, во-вторых, ограничения по температуре на выходе из теплового насоса, в-третьих, неоднородность теплового потенциала грунта в региональном разрезе, а также фактор охлаждения грунта при эксплуатации тепловых насосных установок.

Учитывая темпы малоэтажного строительства в субъектах федерации, прогнозы Минэкономразвития РФ роста тарифов на электроэнергию и газ и прогнозируемый темп инфляции, можно оценить спрос на установку тепловых насосов на цели теплоснабжения жилых зданий. На перспективу до 2030 г. в стране в целом может быть востребовано порядка 3,4–4,4 ГВт теплонасосной мощности, что составляет 9–11 % от вводимой тепловой мощности малоэтажной застройки. Их установка позволит экономить топливо в количестве около 3,8 млн т условного топлива в год [2].

Источники

1. Шубин И.Л., Спиридонов А.В. Проблемы энергосбережения в российской строительной отрасли // Энергосбережение. 2013. № 1. С. 15–21.

2. Голикова Г.А., Максимчук О.В. Анализ проблем и обоснование предпосылок реализации потенциала энергосбережения в ЖКХ: зарубежный и отечественный опыт // Экономика строительства. 2014. № 2. С. 3–11.

Секция 4. АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ИНЖЕНЕРНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

УДК 378

ИНДЕКС ИНКЛЮЗИВНОГО РОСТА КАК ИНСТРУМЕНТ СПРАВЕДЛИВОЙ ОЦЕНКИ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ МУНИЦИПАЛЬНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ: НА ПРИМЕРЕ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН

Дамир Ринатович Байгильдин

Исполком, Пестречинский муниципальный район
Damir.Baygildin@tatar.ru

Республика Татарстан является одним из ключевых в социально-экономическом отношении регионов Российской Федерации. Учитывая традиционные индикаторы социально-экономического благополучия, среди которых объем производства товаров и услуг, численность занятых, объем доходов консолидированного бюджета, инвестиции в основной капитал и другие, можно отметить, что по итогам 2017 г. Татарстан занимает четвертую строчку в интегральном рейтинге социально-экономического положения субъектов России [1].

INDEX OF INCLUSIVE GROWTH AS A TOOL OF FAIR ESTIMATION OF SOCIO-ECONOMIC DEVELOPMENT OF MUNICIPAL FORMATIONS: ON THE EXAMPLE OF THE REPUBLIC OF TATARSTAN

Damir Rinatovich Baygildin

The Republic of Tatarstan is one of the key socio-economic regions of the Russian Federation. Taking into account traditional indicators of socio-economic well-being, including the volume of production of goods and services, the number of employees, the volume of revenues of the consolidated budget, investments in fixed capital and others, it can be noted that by the end of 2017, Tatarstan ranks fourth in the integral socio-economic rating subjects of Russia [1].

На сегодняшний день в Республике Татарстан разработан целый комплекс мероприятий по планомерному улучшению благосостояния и уровня жизни всех слоев населения посредством развития социальной инфраструктуры, диверсификации экономики, а также повышения инвестиционного потенциала региона. Базисом развития республики выступает обновленная стратегия социально-экономического развития, стержнем которой является создание наиболее благоприятных условий для накопления, развития и успешного функционирования человеческого капитала. Наряду

с региональным уровнем, муниципалитеты также преследуют цель повышения социально-экономического положения своей территории. Каждое муниципальное образование имеет собственную стратегию социально-экономического развития, постоянно обновляемые план мероприятий по реализации стратегии и прогноз социально-экономического развития муниципального образования. Для оценки эффективности реализации стратегии социально-экономического развития муниципальных образований, а также для выявления болевых точек регулярно проводится рейтингование районов по уровню социально-экономического развития. Муниципалитеты ранжируются на основании интегрального индекса, рассчитанного исходя из шести абсолютных и восьми относительных показателей, представленных в табл. 1.

Таблица 1

Показатели интегрального рейтинга социально-экономического развития муниципальных образований

Абсолютные показатели	Относительные показатели
Объем добавленной стоимости предприятий, тыс. руб.	Объем добавленной стоимости предприятий на душу населения, тыс. руб.
Инвестиции в основной капитал по полному кругу (за исключением бюджетных средств), тыс. руб.	Инвестиции в основной капитал по полному кругу (за исключением бюджетных средств) на душу населения, тыс. руб.
Общая площадь жилых домов, введенных в эксплуатацию, кв. м	Общая площадь жилых домов, введенных в эксплуатацию на душу населения, кв. м
Налоговые и неналоговые доходы, руб.	Налоговые и неналоговые доходы на душу населения, руб.
Отгружено товаров собственного производства, тыс. руб.	Отгружено товаров собственного производства на душу населения, тыс. руб.
Валовая продукция сельского хозяйства для муниципальных районов, тыс. руб.	Валовая продукция сельского хозяйства на одного человека, работающего в сельском хозяйстве для муниципальных районов, тыс. руб.
	Покупательная способность заработной платы (соотношение средней начисленной заработной платы к МПБ), раз
	Уровень зарегистрированной безработицы, %

В ходе анализа методики ранжирования муниципальных образований по уровню социально-экономического состояния были выявлены некоторые особенности. Так, высокий уровень ввода жилья служит одним из индикаторов, определяющих уровень социально-экономического развития муниципального образования. С одной стороны, рост объемов ввода жилья

подразумевает повышение доходов и уровня жизни населения, рост численности и продолжительности жизни населения, переселение местных жителей из ветхого и аварийного жилого фонда. Однако, взглянув на показатели ввода жилья в муниципальных образованиях Республики Татарстан, можно отметить, что высокий уровень ввода жилья обеспечивается за счет близости к городским округам республики. Так например, Пестречинский, Лаишевский, Зеленодольский, Высокогорский и Верхнеуслонский районы, окружающие г. Казань, за первые 6 месяцев 2018 г. ввели в эксплуатацию около 26 % от всей жилой площади в Республике Татарстан [2]. Аналогично ситуация складывается в Тукаевском районе (4,5 % от всей введённой жилой площади в Республике Татарстан), который является спутником городского округа Набережные Челны [2]. Таким образом, объективность использования данного показателя для отображения реального социально-экономического положения муниципалитетов является сомнительной. Напротив, стоит задуматься об учете данного показателя с точки зрения нагрузки на существующую социальную (детские сады, школы, больницы, спортивные и культурные учреждения), транспортную (дороги, общественный транспорт), коммунальную инфраструктуры района (вода, канализация, электроэнергия, газификация), а также на органы местного самоуправления. При активном росте ввода жилья инфраструктура муниципалитета зачастую развивается не симметрично, тем самым повышается нагрузка на существующую инфраструктуру, что в результате может привести к серьезным негативным социальным последствиям.

Показатель покупательной способности заработной платы (соотношение средней начисленной заработной платы к минимальному потребительскому бюджету), используемый для отображения социально-экономического положения муниципального образования, на наш взгляд является довольно общим в связи с тем, что он учитывает средневзвешенную заработную плату в целом на крупных, средних и малых предприятиях района. Однако, если взглянуть на статические данные, например, Пестречинского муниципального района, то стоит отметить, что средняя заработная плата на малых и средних предприятиях района более чем в 1,4 раза меньше, чем на крупных предприятиях. В то время как вклад малых и средних предприятий в экономику района довольно существенный: именно малые предприятия обеспечивают около 38 % валового территориального продукта, а также трудоустраивают более 25 % занятых в экономике района [3]. Следовательно, 25 % населения зарабатывают в 1,3 раз меньше, чем средний показатель, использованный для ранжирования районов по уровню

социально-экономического развития. Тем самым использование средневзвешенного показателя заработной платы, на наш взгляд, ведет к необъективной оценке социального-экономического положения района.

Наряду с этим при оценке социально-экономического положения муниципалитета используются уровень безработицы, налоговые и неналоговые доходы муниципального образования. Безработица, которая рассчитывается исходя из численности людей, стоящих на учете в центре занятости, в большинстве муниципалитетах республики колеблется в пределах 0,35–0,5 % от экономически активного населения, что на наш взгляд является довольно заниженным показателем [3]. Во-первых, по разным обстоятельствам ни все безработные встают на учет, а также некоторая часть населения задействована на сером рынке труда. При оценке безработицы по методике международной организации труда (МОТ) доля безработных в муниципальных образованиях республики из всего гораздо выше, около 4–5 % [3]. Учет заниженного уровня безработицы при рейтинговании может привести к ошибочной политике в области труда, а также снижению инвестиционной привлекательности территории, что в свою очередь негативно скажется на социально-экономическом положении муниципалитета.

Кроме этого довольно затруднительно сделать вывод социальном-экономическом положении в муниципалитете на основании элементарного учета валовой доходности бюджета от налоговых и неналоговых поступлений. На наш взгляд, учет уровня самообеспеченности муниципального образования может быть более информативным. Так, муниципалитет, будучи наиболее приближенным к местному населению при высокой самообеспеченности может самостоятельно реализовывать большую часть проектов исходя из потребностей своего населения, а не зависеть от региональной политики.

Отображают ли показатели, включенные в методику ранжирования муниципальных образований Республики Татарстан реальный уровень жизни населения, экономическое развитие и инвестиционную привлекательность муниципалитета – вопрос спорный. Однако очевидно, что показатели и методика, используемые при оценке развития муниципального образования, требуют некоторой доработки, ориентированной на более глубокий анализ и охват всех слоев населения. В связи с этим предлагается рассмотреть методику оценки положения государств, предложенную Всемирным экономическим форумом (ВЭФ) под названием «Индекс инклюзивного развития», с целью возможного адаптирования ее к настоящим условиям муниципалитетов Республики Татарстан [4].

Инклюзивное развитие подразумевает социально ориентированный экономический рост, направленный на формирование более справедливого распределения ресурсов и благ в обществе, как в материальном, так и в нематериальном виде. Участниками ВЭФ для оценки инклюзивного развития стран был предложен индекс инклюзивного развития, который составляется на основании 12 показателей, разделенных на 3 группы (табл. 2).

Таблица 2

Показатели, определяющие индекс инклюзивного развития

Категория	Показатели
Экономический рост и развитие	ВВП на душу населения, $ Производительность труда – ВВП на одного работника, $ Ожидаемая продолжительность здоровой жизни, г. Занятость населения, %
Социальная вовлеченность	Коэффициент расслоения общества по доходам (от 0 до 100) Уровень бедности, % Коэффициент расслоения общества по распределению богатства (от 0 до 100) Скорректированные чистые сбережения % от ВВП
Преемственность поколений и устойчивость развития	Парниковая интенсивность ВВП, выбросов CO_2 на доллар Государственный долг, % от ВВП Коэффициент демографической нагрузки, %

Индекс инклюзивного развития оценивает не просто производственные мощности страны, а учитывает также параметры социального, демографического и экологического состояния, тем самым более полно отражая реальное положение дел в стране. Так, Соединенные Штаты Америки – крупнейшая экономически развитая страна мира (занимает первое место по объему валового внутреннего продукта (ВВП) и лишь 23-е (из 30) по инклюзивности среди развитых стран) [4].

Методика вычисления индекса инклюзивного развития состоит из двух последовательных математических действий. В связи с тем, что показатели, используемые при вычислении, являются количественными, на первом этапе посредством использования шкалы Лайкерта от 1 до 7, каждый индикатор преобразовывается в индекс.

Показатели, более высокое значение которых указывает на благоприятный эффект, преобразовываются по следующей формуле, где значение 1 соответствует наихудшему результату, а значение 7 – наилучшему показателю:

$$6 \times \frac{A_{\text{страна}} - A_{\text{мин}}}{A_{\text{макс}} - A_{\text{мин}}} + 1,$$

где $A_{\text{страна}}$ – значение показателя в определенном государстве; $A_{\text{мин}}$ и $A_{\text{макс}}$ – минимальное и максимальное значения показателя в группе анализируемых государств.

Для показателей, более высокое значение которых указывает на неблагоприятный эффект, индекс рассчитывается по следующей формуле, где 1 – наилучший результат, а 7 соответствуют наихудшему показателю:

$$-6 \times \frac{A_{\text{страна}} - A_{\text{мин}}}{A_{\text{макс}} - A_{\text{мин}}} + 7.$$

На втором этапе модифицированные показатели объединяются в три категории (см. табл. 2), по формуле:

$$\text{Категория}_{\text{а}} = \frac{\sum_{\text{к=1}}^{\text{К}} \text{Индикатор}_{\text{к}}}{\text{К}}.$$

В результате каждой стране присваивается ранг по трем категориям, который отражает наиболее ясную картину социально-экономического положения государства с учетом всех слоев населения и экологической обстановки [5].

Полноценное заимствование методики, предложенной специалистами ВЭФ, в настоящих условиях невозможно, а также вероятнее всего не даст значительных качественных изменений в оценке муниципалитетов республики. Однако потребность в справедливой оценочной системе, которая будет информировать общество и государство о реальном положении дел на самой нижней ступени власти, а также помогать устойчивому и инклюзивному социально-экономическому развитию муниципального образования, очевидна. Таким образом, взяв за основу методику ВЭФ и стявя своей главной целью благосостояние каждого жителя, необходимо скорректировать «Индекс инклюзивного развития» с учетом особенностей муниципалитетов Республики Татарстан.

Источники

1. Рейтинг социально-экономического положения субъектов РФ. Итоги 2017 года // РИА Рейтинг. URL: http://vid1.rian.ru/ig/ratings/rating_regions_2018.pdf (дата обращения: 04.09.18).

2. Рейтинг социально-экономического развития муниципальных образований Республики Татарстан за январь–июль 2018 года // Официальный сайт Министерства экономики Республики Татарстан. URL: http:// mert.tatarstan.ru/rus/reyting-munitsipalnih-obrazovaniy-v-2018-godu.htm (дата обращения: 04.09.18).

3. Паспорт муниципального образования «Характеристика уровня социально-экономического развития муниципального образования Пестречинский муниципальный район» // Официальный сайт территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Республике Татарстан. URL: http://www.tatstat.gks.ru/ (дата обращения 01.09.18).

4. The Inclusive Development Index 2018 // World economic forum – 2018. URL: http://www3.weforum.org/docs/WEF_Forum_IncGrwth_2018.pdf (дата обращения: 02.09.18).

5. The Inclusive Growth and Development Report 2017 // World economic forum. URL: http: //www3.weforum.org/docs/WEF_Forum_IncGrwth_2017.pdf (дата обращения: 02.09.18).

УДК 378.662.168

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ИНЖЕНЕРНОМ ОБРАЗОВАНИИ

Вячеслав Юрьевич Гришаев[1], Валентин Павлович Соломатин[2]

НИТПУ, г. Томск
[1,2]Lotner03@gmail.com

В статье описаны возможности и необходимые средства обеспечения современного инновационного образовательного процесса на основе компьютерных технологий. Предложена система учебных модулей, обеспечивающая необходимые уровни и профили физического, математического и инженерного образования. Сформулирована концепция инновационного образовательного процесса с использованием современных программно-информационных средств.

Ключевые слова: инновации, инженерия, образование, информационные технологии, образование, технология, образование, интеллектуал, образование, образование, сфера образования.

MODERN TECHNOLOGIES IN ENGINEERING EDUCATION

Vyacheslav Yuryevich Grishaev, Valentin Pavlovich Solomatin

Possibilities and necessary means of providing modern innovative educational process on the basis of computer technologies are discussed. A system of training modules providing the necessary levels and profiles of physical, mathematical and engineering education is proposed. The concept of innovative educational process using modern software and information means is formulated

Key words: innovations, engineering, education, information technologies, education, technology, education, intellectual, education, education, sphere of education.

Современные технологии прочно зашли в жизнь человека. Мы каждый день узнаём о внедрении новых ITтехнологий в индустрии, образовании и телекоммуникации. Развиваются общественные технологии, при помощи которых осуществляется управление отдельными людьми и соц группами.

Технология – это совокупность знаний о методиках и средствах обработки материалов.

Педагогическая технология – это набор форм, методов, способов, приемов обучения и воспитательных средств, используемых учебном процессе с обеспечением комфортного положения для студентов и педагогов, приводящих к достижению прогнозируемого образовательного результата.

Технология образования представляет собой комплекс, охватывающий:

• представление планируемых итогов обучения;

• диагностику текущего состояния обучаемых;

• комплект моделей обучения;

• систему критериев выбора оптимальной модели для решения конкретных задач образовательного процесса.

Технология образования характеризуется научным (педагогическая технология как раздел педагогической науки, исследующий рациональные пути обучения и воспитания), процессуально-описательным (педагогическая технология как описание педагогического процесса, система способов, принципов и правил, применяемых в обучении и воспитании) и процессуально-реализационным (педагогическая технология как осуществляемая на практике система действий, реальный педагогический процесс) аспектами.

Технологиям образования должны быть присущи:

• концептуальность (педагогическая технология должна опираться на определённую научную концепцию);

• системность (педагогическая технология обязана владеть всеми признаками системы: логикой процесса и связью его частей, целостностью);

• управляемость (предполагает возможность диагностического целеполагания, планирования, проектирования процесса изучения, поэтапной диагностики, варьирования средств и методов с целью коррекции результатов);

• эффективность (современные педагогические технологии существуют в конкурентных условиях и должны быть эффективными по результатам и оптимальными по затратам, гарантировать достижение определённого стандарта обучения);

• воспроизводимость (подразумевает возможность применения педагогической технологии в других однотипных образовательных учреждениях, другими субъектами).

По уровню использования технологии разделяются на общедидактические (характеризуют образовательный процесс в целом в данном регионе, учебном заведении, на определённой ступени обучения), предметные (совокупность методов и средств, используемых для реализации обучения и воспитания в рамках одного предмета), локальные (представляют собой технологию отдельных частей учебно-воспитательного процесса).

По ориентации на структуру личности образовательные технологии подразделяют на информационные (формирование воззрений, познаний, возможностей и умений по дисциплинам), операционные (формирование способов умственных действий), чувственно-нравственные (формирование сферы этических и эстетических отношений), саморазвивающие (формирование самоуправляющих устройств личности), эвристические (развитие креативных способностей); прикладные (формирование результативно-практической сферы).

Информационные образовательные технологии – технологии обучения, научных исследований и управления, базирующиеся на применении вычислительной и другой информационной техники, а также программного, информационного и методического обеспечения.

В настоящее время образовательная деятельность в системе высшего образования РФ осуществляется с применением следующих средств обучения: электронные учебники, мультимедийные и экспертные системы, электронные библиотечные каталоги, банки и базы данных.

Телекоммуникационные сетевые образовательные технологии – технологии обучения, связи и управления, базирующиеся на использовании компьютерных сетей телевизионных, спутниковых и радиовещательных линий связи.

В сфере образования применяются массовые (интернет), региональные (национальные), отраслевые (RELARN, «Ранет») и локальные сети.

Наибольшую актуальность имеют инновации в сфере высшего образования, нацеленные на формирование личности специалиста, его возможности к научно-технической и инноваторской работе, на обновление содержания образовательного процесса, и на переориентацию приоритета на процесс самообучения.

В последние годы развитие образовательных технологий привело к появлению наукоёмких образовательных технологий (НОТ), которые предполагают интеграцию наиболее действенных технологий образования в целостную систему. НОТ охватывают психические, общепедагогические,

дидактические и частнометодические аспекты взаимодействия преподавателей, научных сотрудников и инженеров со студентами при действенном применении в учебном процессе самых передовых IT-средств.

Концептуальные основы реализации НОТ складываются следующим образом: разностороннее сотрудничество и личный контакт педагога и обучаемых; увеличение производительности персональной образовательной творческой деятельности обучаемых; обязательная связь научных и учебных исследований студентов с содержанием образовательного процесса; оптимизация содержания лекционных курсов с целью сокращения объёма аудиторных занятий; наращивание объёма самостоятельной работы студентов; обеспечение психического комфорта обучаемых, диагностика их возможностей и академических.

За последнее десятилетие в высшем техническом образовании РФ накоплен значительный опыт по разработке и практическому применению передовых образовательных технологий [2].

По нашему мнению, анализ положительного опыта и нововведения российских и иностранных институтов, научно-педагогических школ и отдельных педагогов, их взаимодействие, экспериментальная апробация и обширное практическое внедрение современных технологий являются одним из главнейших направлений работы по модернизации высшей технической школы РФ.

Источники

1. Артюгина Т.Ю. Современные образовательные технологии: изучаем и применяем: учеб.-метод. пособие. Архангельск: АО ИППК РО, 2009. 58 с.

2. Инновации в высшей технической школе России: сб. ст. / М-во образования Российской Федерации, Российский мониторинговый ком. Международного о-ва по инженерной педагогике (IGIP), Центр инноваций в инженерном образовании Московского автомобильно-дорожного ин-та (гос. технического ун-та); А.Ф. Киселев [и др.]. Вып. 1. Состояние и проблемы модернизации инженерного образования. М.: МАДИ (ГТУ), 2002. 446 с.

3. Инновации в высшей технической школе России: сб. ст. / М-во образования Российской Федерации, Российский мониторинговый ком. Международного о-ва по инженерной педагогике (IGIP), Центр инноваций в инженерном образовании Московского автомобильно-дорожного ин-та (гос. технического ун-та); А.Ф. Киселев [и др.]. Вып. 2. Современные технологии в инженерном образовании. М.: МАДИ (ГТУ), 2002. 503 с.

УДК 316.628

МОТИВАЦИЯ АБИТУРИЕНТОВ ПРИ ВЫБОРЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ

Леонид Владимирович Доломанюк[1], Екатерина Михайловна Степанова[2],
Тимур Игоревич Петров[3], Альфред Робертович Сафин[4]

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
[1]leonid-888@mail.ru, [2]ekatstepanova@mail.ru, [3]tobac15@mail.ru, [4]sarkazan@bk.ru

Рассмотрим неоднородность студенческого контингента как явление, наблюдаемое (и усиливающееся) в последнее десятилетие и оказывающее значительное негативное воздействие на образовательный процесс на базе Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ).

Ключевые слова: мотивация, образование, студенты, абитуриенты.

MOTIVATION OF ENTRANTS IN THE CHOICE OF ENERGY EDUCATION

Leonid Vladimirovich Dolomanyuk, Ekaterina Mikhaylovna Stepanova,
Timur Igorevich Petrov, Alfred Robertovich Safin

Consider the heterogeneity of the student contingent as a phenomenon observed (and growing) in the last decade and having a significant negative impact on the educational process on the basis of the Kazan State Energy University (KSEU).

Key words: motivation, education, students, applicants.

При поступлении в вуз в учебных группах наблюдается академическая неоднородность. Под академической неоднородностью нами понимается значительный разрыв в уровне подготовки и мотивированности студентов, оказывающихся в одних и тех же учебных группах. Такая ситуация несет в себе потенциальную и вполне реальную угрозу качеству высшего образования, приводит к сложностям в работе преподавателей, а для руководителя вуза – к необходимости выстраивать новые стратегии управления образовательным процессом [2].

Очевидно, что проблема требует не только подробного рассмотрения, но и разработки мер для ее разрешения.

В качестве одной из предпосылок возникновения неоднородности следует отметить изменение (по сравнению с советским периодом) мотивации абитуриентов к поступлению в вуз и их способов выбора будущей специальности. Наглядным примером этого процесса мы считаем очевидное, но не слишком изученное явление – поступление части студентов в вуз под влиянием нежелания служить в армии. Сложно оценить, сколько выпускников школ поступили в институты, руководствуясь этой причиной,

но, учитывая негативное восприятие армии в обществе, это число должно быть достаточно высоко. Иными словами, весьма обоснованным является предположение, что значительная часть студентов обучается в вузах с ложной мотивацией, что не может не сказываться на их академических достижениях впоследствии и, что более важно, на процессе подготовки к поступлению. То есть те, кто хочет получить высшее образование по конкретной, заранее выбранной специальности, заранее настраиваются и готовятся к поступлению определенным способом. Абитуриенты же с ложной мотивацией, значительный вклад в которую вносит нежелание служить, поступают относительно случайно туда, куда проходят по ЕГЭ.

В СССР путь «школа – институт – профессия» был более линейным: если человек планировал стать инженером, он поступал, например, в КАИ, КГЭУ, КХТИ. Таким образом, можно утверждать, что на факультет попадали студенты, достаточно однородные как в плане подготовки, так и мотивации и целей. Сейчас, во времена сырьевой экономики, эта связь распалась. Окончив КГЭУ, выпускник может работать как в энергетической кампании, так и в ресторанном бизнесе. Направление, на котором учился человек, в гораздо меньшей степени определяет его профессиональное будущее. Поэтому процесс принятия решения относительно выбора направления и требует внимательного изучения. Однако уже сейчас можно предположить, что этот процесс нередко случаен, проходит под воздействием различных обстоятельств: вуз считается статусным, или позволяет студенту тратить больше времени на подработку, или в нем есть военная кафедра, или его заканчивали многие родственники, или в этот вуз студента направили с его работы и т. д. Соответственно, такой процесс принятия решений приводит в ВУЗы множество случайных, немотивированных студентов.

Как показывает практика, неоднородность контингента впервые была выявлена на уровне баллов ЕГЭ, с которыми абитуриенты поступили на первый курс в КГЭУ. Однако неоднородность не исчерпывается только этими баллами, как и понятие «уровень подготовки» (хотя иным количественным показателем этого мы пока не располагаем). Мы считаем крайне важным обратить внимание на цели и мотивацию абитуриентов, а также процесс принятия решений о выборе специализации и самого вуза.

«Наблюдается заметное расширение академической мобильности в территориальном плане, прежде всего за счет поступления в столичные учебные заведения абитуриентов из регионов страны, включая малые города и село (как правило, из семей с доходами выше средних). При этом

представители научных центров в регионах (особенно сибирских) не без оснований ожидают «утечки умов» и ослабления регионального интеллектуального потенциала» (И.И. Мельников, О.Н. Смолин). Эти же авторы подчеркивают и другие проблемы, имеющие отношение к рассматриваемой нами проблеме. В частности, они указывают на формализацию процесса школьного обучения, его переориентацию на «натаскивание», что снижает способности учеников выпускных классов (и будущих студентов) к творчеству, рассуждению, критическому мышлению. Школьные учителя вынуждены вводить в программу специальные направления, ориентированные только на подготовку к ЕГЭ. Поясним, почему это кажется нам важным в данном контексте: описанный процесс дополнительно разрушает образовательную связь между школой и вузом и усиливает разницу между школьниками, получающими дополнительное развитие иными способами, вне школы, средствами семьи, через дополнительные занятия и проч. Таким образом, один и тот же балл ЕГЭ могут иметь выпускники, с разным уровнем общего развития и подготовки.

Далее вышеупомянутые авторы говорят о «депрофессионализации образовательных ориентаций абитуриентов», «фактическом разрушении существовавшей прежде системы профессиональной ориентации в вузы». Пользуясь возможностью посылать документы в несколько вузов, в 2009 г. абитуриенты «подавали документы на самые различные специальности – по выражению известного ректора, от археолога до гинеколога, а педагогические, сельскохозяйственные и многие инженерные вузы испытали значительные проблемы с набором» (И.И. Мельников, О.Н. Смолин).

Надо также отметить, что на массовое поступление в вузы повлияло то, что среднее профессиональное образование потеряло прежнее значение и статус. Важно также, что в школах, за исключением специализированных школ и гимназий, перестала применяться практика, согласно которой не все ученики поступали в 9-й класс, а шли в профессиональные училища и либо не пробовали поступать в вуз, либо усиленно к этому готовились. Таким образом, уже на уровне контингента старшеклассников неоднородность значительно возросла. И учитывая сказанное выше о массовизации высшего образования и того, что бывший контингент профессиональных училищ теперь оказывается в вузе, эта неоднородность, включающая и слабую подготовку, и большой процент случайных людей, «перетекает» на первый курс институтов [2].

Стремясь в условиях кризиса уменьшить маргинализацию молодежи и криминализацию общества за счет безработных, лишенных возможности продолжить образование, Рособрнадзор в 2009 г. принял правильное

решение: резко снизить минимальное число баллов ЕГЭ, необходимое для поступления в вуз. По окончанию экзамена, т.е. «задним числом», оно было установлено следующим образом:

• по русскому языку – 37;
• по физике – 32;
• по математике – 21.

Если бы при стобальной шкале применялась линейная зависимость, оценке «удовлетворительно» соответствовало бы минимальное число баллов ЕГЭ – не менее 41. В таком случае, установленное в 2009 г. минимальное число баллов по математике и иностранному языку соответствовало бы границе между «двойкой» и «единицей». Данные, полученные от Рособрнадзора, показывают, что оценки ниже 40 баллов получило бы следующее число выпускников:

• по математике – 40 % неудовлетворительных оценок;
• по русскому языку – 9 %.

Иными словами, наряду с хорошо подготовленными абитуриентами в связи с низкими проходными баллами в вузы в 2009 г. попало значительное число людей, которые при более строгом оценивании вообще бы там не оказались. Сейчас минимальные проходные баллы также являются достаточно низкими и имеют следующие значения:

• русский язык – 36;
• физика – 36;
• Математика – 27;
• информатика и ИКТ – 40.

Последнее, что следует отметить – это проблема фальсификации результатов ЕГЭ, которая приводит в вузы некоторое количество слабоподготовленных и слабомотивированных студентов, а также провоцирует неоднородность студенческого контингента в целом, поскольку и честно готовившиеся и сдававшие, и получившие оценки посредством коррупции или иных злоупотреблений получают один и тот же диплом государственного вуза, а в процессе обучения – равное внимание преподавателей [3].

Таким образом, в статье обозначена проблема неоднородности студенческого континента технических вузов и представлены меры по снижению этой неоднородности.

Источники

1. Различные формы сдачи вступительных испытаний как элемент формирования контингента абитуриентов / И. Гоник [и др.] // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2009. Т. 10. № 6. С. 27–28.

2. Иванова А. Мониторинг академической неоднородности студенческого контингента по результатам ЕГЭ: маг. дис. М.: НИУ ВШЭ. 2012.

3. Перевозный А.В. Массовое высшее образование: истоки и проблемы организации // Университетское управление: практика и анализ. 2011. № 1. С. 28–33

УДК 378.031.4

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ

Елена Александровна Ехлакова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
g-v@mail.ru

Люди технических специальностей играют важную роль в развитии экономики государства. Создание отечественных передовых технологий определяет рост экономики и безопасность государства. Предпосылками их создания являются развитие научного знания и подготовка выпускников инженерных специальностей, готовых и способных к конструированию и проектированию. Сфера образования выполняет важную функцию подготовки будущих специалистов, которые смогут нестандартно и творчески решать научные и практические проблемы, разрабатывая современные высокие технологии [1]. Именно поэтому проблемам в этой сфере необходимо уделять особо пристальное внимание.

Ключевые слова: инженер, инженерное образование, высшее образование, техническая специальность, промышленность.

MODERN PROBLEMS OF ENGINEERING AND TECHNICAL EDUCATION

Elena Alexandrovna Yehlakova

Technical people play an important role in the development of the state economy. The creation of domestic advanced technologies determines the growth of the economy and the security of the state. The prerequisites for their creation are the development of scientific knowledge and the training of engineering graduates who are ready and able to design and design. The field of education has the important function of training future specialists who can solve scientific and practical problems in an unconventional and creative way by developing modern high technologies [1]. That is why the problems in this area should be given special attention.

Key words: engineer, engineering education, higher education, technical specialty, industry.

По последним данным статистических исследований в России каждый год вузами выпускается около 250 тысяч инженеров. Около 50 тысяч человек начинают работать по специальности на различных

предприятиях. При этом инженеры осуществляют такие виды деятельности, как изобретательство, конструирование, проектирование, инженерное исследование, разработку технологии и организации производства, эксплуатацию и оценку техники и т. д. Остальные выпускники технических образовательных учреждений либо не востребованы вовсе, либо работают по другой специальности. Альтернативные профессии для инженеров-выпускников более привлекательны с материальной точки зрения, так как предлагают заманчивые условия труда или быстрый успех. Студенты, которые поступили на технические специальности из-за невысокого конкурса и только ради диплома о высшем образовании – совсем другая история. Как результат – многие инженерные должности остаются свободными.

Одной из важнейших проблем повышения качества инженерного образования является низкая престижность профессии инженера, ее невысокий статус в обществе. Вместе с демографическим кризисом это приводит к тому, что неуклонно падает число абитуриентов, желающих поступать на технические специальности, а среди поступающих немало тех, кто имеет низкие баллы по ЕГЭ [2].

На сегодняшний день в системе российского инженерного образования можно выделить ряд следующих проблем.

Первая проблема – это отрыв преподавателей вузов от производства и задач, которые оно ставит перед новоиспеченными инженерами. Очень часто преподаватели, обучающие будущих инженеров, никогда не работали в промышленности, знают о производстве понаслышке, не выполняли научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы (НИОКР). Знания, которые они дают студентам, касаются лишь традиционных, фундаментальных подходов и технологий. Последнее время одной из тенденций в развитии вузов является привлечение в ряды преподавателей внешних совместителей с производств. Это в какой-то степени решает проблему. Люди, которые приходят с реальных рабочих мест, могут дать студентам актуальные знания, подкрепленные практикой. Но здесь также есть свои нюансы. Во-первых, подобные совместители, как правило, не имеют педагогического образования и это может создать барьер в донесении знаний и формировании компетенций обучающихся. Во-вторых, зарплаты, которые предлагает вуз подобным специалистам, мизерные. Отрывать себя от основного вида деятельности ради того, чтобы нести знания в массы, желающих практически нет.

Второй проблемой является стремительное развитие мультидисциплинарных технологий. Они появляются, изменяются и развиваются гораздо быстрее, чем длится традиционный цикл подготовки инженера (4 года бакалавриата плюс 2 года магистратуры) [3].

Еще одной проблемой является повсеместная конкуренция. В цифровой экономике необходимо постоянно быть в лидерах для того, чтобы выдерживать конкуренцию или хотя бы уйти в отрыв с такими странами, как Индия и Китай. А для этого нужно каждый день повышать наукоемкость инженерных разработок.

На сегодняшний день инженерное образование в России имеет трехуровневую структуру. В его основании находятся инженеры по эксплуатации высокотехнологичного оборудования – 25 %, далее «традиционные» инженеры – конструкторы, расчетчики, технологи, программисты, экономисты (70 %) . Верхушку составляют инженеры, обладающие компетенциями мирового уровня проектирования (5 %).

«Традиционные» инженеры начинают испытывать конкуренцию со стороны инженеров по эксплуатации – высококвалифицированных специалистов сквозных рабочих и инженерных профессий, подготовленных на основе международных стандартов WorldSkills [3].

В случае, если мы не изменим ситуацию в инженерном образовании, России будет сложно выпускать конкурентоспособную продукцию.

Вначале необходимо точно определиться с тем, кто нужен работодателю, и затем доучивать студентов, подготавливая их под конкретный заказ на конкретную специальность. Говоря об отраслевом разрезе, важно понимать, скольким вузам готовить инженеров и какими компетенциями должны обладать выпускники [4].

Однозначно можно сказать, что стране нужны инженеры-специалисты двух видов: инженер-эксплуатационник и инженер-исследователь (инженер-конструктор, инженер-разработчик). Разделение на эти два вида должно присутствовать в программах подготовки студентов с первого курса.

Современный инженер должен обладать фундаментальными знаниями в области математики и физики. Это поможет ему за короткий срок приобрести компетенции в области передовых технологий и стать востребованным на рынке труда. Для этого обучающимся на первых курсах должен быть представлен большой объем фундаментальных дисциплин, без которых освоение новых и современных технологий невозможно.

Далее в инженерно-технических вузах каждый семестр следует вводить изучение новых инженерных технологий мирового уровня. Это позволит будущим инженерам освоить язык международного технологического общения.

На старших курсах студентов необходимо вовлекать в процесс выполнения реальных НИОКР по заказам промышленности. Сотрудники крупных технологических предприятий должны быть привлечены к учебному процессу, восуществлять соруководство бакалаврскими работами и магистерскими диссертациями по принципу своеобразного тьютерства. Не стоит с первых курсов вовлекать студентов в выполнение реальных проектов до тех пор, пока они не получат конкретный набор фундаментальных знаний, умений и навыков.

Подводя итоги, следует отметить огромную важность интеграции технических вузов с конкретными производственными компаниями. Подготовку инженеров необходимо начинать со школы, а для этого вузам необходимо регулярно обращаться к шефству над общеобразовательными учреждениями.

Так же необходимо учесть следующие моменты.

1. Жизненно необходимо сохранить остатки трехуровневой советской системы высшего образования, давая бакалаврам возможность стать специалистами, а специалистам переходить на программу магистратуры.

2. Главные причины кризиса инженерного дела в России кроются в низком статусе профессии инженера, а не в системе образования.

3. Реформу инженерного образования следует осуществлять параллельно с программой промышленного развития страны.

4. Предоставить налоговое послабление или налоговые каникулы предприятиям, которые вкладывают деньги в образование, в том числе инженерное.

5. Повышать статус и компетентность педагогов, обучающих будущих инженеров. Без этого реформа инженерного образования не будет успешной.

6. Повышать статус специалистов технических специальностей.

7. Сократить гуманитарные факультеты в технических вузах.

8. Не превращать негосударственные ВУЗы, учреждения начального или среднего специального образования.

Только в этом случае успех и престиж инженерных специальностей, на наш взгляд, будет обеспечен.

Источники

1. Рожик А.Ю. Проблемы инженерного образования // Вестник ЮУрГУ. 2017. Т. 9, № 2. С. 98–113. URL: http://vestnik.susu.ru/ped/article/download/6334/5360 (дата обращения: 11.10.18).

2. Развитие инженерного образования и его роль в модернизации // Аккредитация в образовании: информационно-аналитический журнал. URL: http://www.akvobr.ru/razvitie_inzhenernogo_obrazovanija_ego_rol_v_modernizacii.html (дата обращения: 11.10.18).

3. Проблемы инженерного образования // Центр стратегических разработок URL: https: //www.csr.ru/news/1867/ (дата обращения: 11.10.18).

УДК 37.09

КОМПЬЮТЕРНОЕ ТЕСТИРОВАНИЕ КАК СПОСОБ ОЦЕНИВАНИЯ ЗНАНИЙ

Сюмбель Ильнуровна Загриева[1], Светлана Мунавировна Куценко[2]

ФГБОУ Во «КГЭУ», г. Казань

[1,2]zagrieva.97@mail.ru

Использование информационных технологий для оценивания знаний имеет множество достоинств, таких как: более частое получение формирующих и обобщающих оценок, независимое оценивание уровня знаний, быстрая готовность результатов, экономия времени педагогического коллектива. Компьютеризированное представление тестов предлагает интересные возможности, недоступные в «бумажном» формате, например, создание банка вопросов, предполагающее возможность представления каждому студенту условных билетов, составленных из разных вопросов одинакового уровня сложности.

Ключевые слова: тестирование, учебный материал, оценка качества знаний.

COMPUTER TESTING AS A METHOD FOR ASSESSING KNOWLEDGE

Sumbel Ilnurovna Zagrieva, Svetlana Munavirovna Kutsenko

The use of information technologies for the assessment of knowledge has many advantages, such as: more frequent obtaining of formative and generalizing assessments, independent assessment of the level of knowledge, quick readiness of results, saving time of the teaching staff. The computerized presentation of tests offers interesting possibilities that are not available in a “paper” format, for example, creating a question bank, suggesting the possibility of presenting each student with conditional tickets composed of different questions of the same level of complexity.

Key words: testing, educational material, assessment of the quality of knowledge.

Тестирование – один из тех инструментов, которые преподаватели могут использовать для измерения знаний и прогресса своих обучающихся. Оно имеет явные достоинства как средство частого опроса учеников.

Тестирование выявляет пробелы в знаниях, что позволяет постоянно настраивать и адаптировать планы занятий к потребностям обучающихся. Существует точка зрения, что тестирование стоит проводить не в самом конце темы, а как часть всего процесса обучения [1, с. 19]. Тестирование наиболее эффективно, когда его выполняют несколько раз в течение изучения темы, что позволяет выявить пробелы в знаниях на ранней стадии, впоследствии восполнив их для лучшего результата на итоговом тесте. Таким образом, с помощью промежуточных тестов преподаватели выявляют слабые места в подготовке обучающихся и обращают их в сильные стороны [2].

Среди обучающихся есть убеждение, что учебный материал лучше всего усваивается при многократном заучивании. Из-за погружения в этот процесс информация якобы лучше укладывается в голове для последующего применения на очередном опросе.

В 2006 году американские исследователи в области психологии Генри Родигер и Джеффри Карпик опубликовали статью «Тестоориентированное обучение: как проведение тестов улучшает долговременную память», в которой описали эксперимент, проведенный ими в Университете Вашингтона в Сент-Луисе: 210 студентов в возрасте от 18 до 24 лет читали отрывки текста в прозе из 250 слов, а затем подвергались тестированию спустя пять минут после изучения материала и спустя неделю. Эксперимент проходил в следующих условиях:

• условие SSSS (где S – процесс изучения) – изучение материала без промежуточного тестирования;

• условие SSST (где T – тестирование) – однократное плановое тестирование до итоговой проверки;

• условие STTT – многократные тестирования до итоговой проверки.

Результаты исследования показали, что первое условие лучше всего работало при немедленном опросе обучающихся сразу после освоения материала, а третье условие демонстрировало лучшие результаты в тестировании спустя неделю. Результаты ясно показывают, что методики, работающие в краткосрочной перспективе, могут не работать в долгосрочной перспективе, и учащиеся могут быть обмануты идеей получения немедленных результатов [3].

Родигер и Карпик вывели десять очевидных преимуществ тестирования:

• более длительное удержание информации;

• выявление пробелов в знаниях;

• акцентирование внимание обучающихся на отдельных моментах обучения;

• лучшая организация знаний;

• улучшение передачи знаний в новом представлении;

• облегчение поиска информации, не затронутой в тесте;

• улучшение метакогнитивного мониторинга (навыка, который представляет собой отслеживание процесса и результата решения какой-либо познавательной задачи [4]);

• предотвращение помех от предшествующего материала при изучении нового;

• наличие обратной связи с преподавателем;

• побуждение обучающихся к изучению материала.

Текущая степень развития вычислительной техники и введение компьютеров в учебный процесс дают возможность автоматизации тестирования, что в свою очередь не только облегчает деятельность педагога, экономит время обучающегося, но и снимает психологическую нагрузку, переводя отношение «студент-преподаватель» на «ПЭВМ-студент»; позволяет усилить процесс контроля и повысить качество показателей знаний. Многократно проводились исследования, подтверждавшие преимущества компьютерной формы оценивания знаний обучающихся. Например, в 2006 г. в Национальном университете Сингапура был проведен опрос студентов-медиков об их отношении к компьютерной и бумажной формам тестирования. В онлайн-опросе приняли участие 114 бакалавров медицины по специализации «хирургия», из которых 91 человек (79,8 %) отдали предпочтение компьютерным тестам, 11 (9,6 %) – бумажным, 12 человек (10,5 %) воздержались от ответа. Исследование выяснило, что среди причин, по которым опрошенные выбрали компьютерное тестирование, 47 человек назвали высокое качество предоставления информации, 26 – «возможность спокойно работать», 9 – равенство в оценивании, 6 – удобство и 3 – большую наглядность [5].

В 2009 г. Ширин Караденiз, профессор из Турции, изучила влияние бумажной, веб- и мобильной формы оценивания успеваемости обучающихся. Эксперимент проводился в течение трех недель над группой из 38 учеников. На второй неделе эксперимента были обнаружены значительные различия между оценками, полученными учащимися. Наиболее положительное отношение у обучающихся было к мобильной и веб-форме тестирования ввиду простоты использования, полной и мгновенной обратной связи. Более того, по итогам тестирования выяснилось, что наибольшее количество положительных результатов было у веб-тестов, а наименьшее – у бумажных [6].

В 2005 г. американские ученые Рой Клариана и Патрисия Уоллес провели исследование по влиянию некоторых человеческих факторов на результаты компьютерной и бумажной форм тестирования. К этим факторам были отнесены знакомство с материалом тестирования, уровень знания компьютера, успеваемость и пол обучающегося. Исследование имело форму итогового годового теста, как в компьютерной, так и в бумажной форме. В тестировании приняли участие 105 студентов. Результаты показали, что подача вопросов в компьютерной форме положительно повлияла на итоговые результаты: оценки людей, оказавшихся в «компьютерной» группе, были лучше, чем у студентов из «бумажной». Пол, успеваемость и уровень пользования компьютером никак не повлияли на разницу в результатах, имело только знание учебного материала [7].

Компьютерное тестирование позволяет оценить различные жизненные навыки. Предоставление тестов с немедленной обратной связью и, возможно, диагностической обратной связью, а также вывод более точных результатов с помощью адаптивного тестирования способствуют улучшению технического качества тестов и повышают надежность оценки [8].

Таким образом, при надлежащей подготовке студентов к тестированию использование компьютера может быть хорошим методом для эффективного устранения недостатков процесса оценки знаний.

Компьютерное тестирование имеет ряд важных преимуществ по сравнению с традиционным бумажным тестированием.

Во-первых, электронное оценивание может обеспечить своевременную обратную связь, тем самым позволяя скорректировать пробелы в знаниях обучающихся, а моментальный подсчет оценки заставляет последних проявлять большую ответственность за свое обучение. С помощью компьютерного тестирования можно проверять те области знаний, навыков и понимания, которые были бы невозможны при использовании ручных и бумажных тестов.

Во-вторых, компьютерное тестирование предполагает сокращение разрыва между оценкой и процессом обучения, а также упрощение готовых тестов за счет расширения доступа к ним и более реалистичных задач. Тестирование на базе компьютеров позволяет диагностировать различные навыки, тем самым обеспечивая больший охват образовательных программ, лучшее понимание того, что требуется в курсах и программах обучения. Кроме того, обеспечивается большая гибкость в датах тестирования и автоматизируются процессы в области администрирования, логистики и оценки знаний [9, с. 131].

В-третьих, использование компьютера при тестировании позволяет экономить время на подсчет результатов и анализа общей ситуации по группе обучающихся. Тестируемые испытывают меньшее напряжение и давление, так как они работают с современным устройством, которое они используют все время.

Наконец, еще одним плюсом компьютерного тестирования является возможность работы с большим количеством обучающихся вне зависимости от их местоположения.

Однако у введения компьютерного тестирования есть и недостатки: появляется дополнительная потребность в соответствующих средствах, необходимо периодически тестировать безопасность системы, требуется наличие резервных процедур в случае технологического сбоя. Кроме того, конечным пользователям (педагогам и обучающимся) нужно время на ознакомление с новой системой [10, с. 109].

Источники

1. Равен Д. Педагогическое тестирование. Проблемы, заблуждения, перспективы / пер. с англ. М.: Когито-Центр. 2011. 144 с.

2. Решетникова О.А. Развивающая и обучающая функции педагогического тестирования // Вестник Московского государственного областного университета: электронный научный журнал. 2011. № 1. С. 45–48.

3. Савин Е.Ю., Фомин А.Е. Обобщенные и предметно-специфичные метакогнитивные навыки в учебной деятельности студентов // Психологические исследования: электронный научный журнал. 2014. Т. 7, № 37. С. 8.

4. Henry L. Roediger, III, Jeffrey D. Karpicke. Test-Enhanced Learning: Taking Memory Tests Improves Long-Term Retention // Psychological Science. 2006. Vol. 17(3). P. 249–255.

5. Lim E., Ong B., Wilder-Smith E., Seet R. Computer-based Versus Pen-and-paper Testing: Students' Perception // ANNALS Academy of Medicine Singapore. 2006.

6. Şirin Karadeniz. The impacts of paper, web and mobile based assessment on students' achievement and perceptions // Scientific Research and Essay. 2009. Vol. 4 (10). P. 984–991.

7. Roy Clariana, Patricia Wallace. Paper-based versus computer-based assessment: key factors associated with the test mode effect // British Journal of Educational Technology. 2005. Vol. 33(5). P. 593–602.

8. Jim Ridgway, Sean Mccusker, Daniel Pead. Literature Review of E-assessment. URL: https://telearn.archives-ouvertes.fr/file/index/docid/190440/filename/ridgway-j-2004-r10.pdf (access mode: 17.09.18).

9. Андриеш В. Педагогическое тестирование. СПб.: LAP Lambert Academic Publishing, 2011. 136 с.

УДК 378

ВЫБОР ЯЗЫКА ПРОГРАММИРОВАНИЯ ПРИ ОБУЧЕНИИ ИНЖЕНЕРОВ

Анастасия Евгеньевна Кривоногова[1], Римма Солтановна Зарипова[2]

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

[1,2]zarim@rambler.ru

Данная статья посвящена вопросу выбора языка программирования для обучения студентов. Рассмотрены положительные и отрицательные стороны различных языков программирования.

Ключевые слова: язык программирования, обучение, программирование, информационные технологии.

PROGRAM LANGUAGE SELECTION FOR ENGINEERING TRAINING

Anastasia Evgenievna Krivonogova, Rimma Soltanovna Zaripova

This article is devoted to the choice of programming language for teaching students. The positive and negative sides of various programming languages are considered.

Key words: programming language, learning, programming, information technology.

Многие преподаватели задаются вопросом: «Какой язык программирования лучше выбрать для обучения?». В настоящее время в школах обучают языку программирования Pascal и его усовершенствованной версии Pascal ABC. Несомненно, эти языки программирования являются легкими для понимания и, изучая их, школьник получит огромную базу знаний, которая поможет в дальнейшем изучении других языков программирования. К примеру, после языка программирования Pascal/Pascal ABC можно без особых трудностей освоить и C#/C++. В настоящее время появилось большое количество более современных языков программирования таких, как C / C++, C#, Java и т. д. Рассмотрим эти языки и отметим их достоинства и недостатки.

Языки программирования C / C++ широко используются для разработки программного обеспечения, являясь одними из самых популярных языков программирования в мире. Они очень легки в обучении. C++ является новой версией языка C. Он намного легче в освоении. В языке C++ были усовершенствованы команды общения между человеком и компьютером. Например, команда вывода результата на экран могла занять большое количество места в языке C.

Достоинством языка Java является полная независимость байт-кода от операционной системы и оборудования, что позволяет выполнять Java-приложения на любом устройстве, для которого существует соответствующая виртуальная машина. Другой важной особенностью технологии Java является гибкая система безопасности, в рамках которой исполнение программы полностью контролируется виртуальной машиной.

C# был разработан как язык разработки приложений для платформы Microsoft. Первая версия языка вышла в июне 2000 года, а готовая версия вышла в 2002 году вместе с Visual Studio. Сейчас язык C# является одним из самых популярных языков программирования. Многие его понятия и конструкции были взяты из других языков, таких как C, C++, Java. Первые версии языка были довольно схожи с Java, но теперь C# настолько далеко ушел вперед, что их нельзя сравнивать. Так как этот язык находится в руках компании Microsoft, то используется почти во всех его продуктах.

Одним из недостатков этих языков является то, что они могут быть слишком сложны для новичков. При выборе языка программирования для начинающего специалиста нужно обратить внимание на следующие факторы:

• сложность изучения языка;

• рынок труда для специалистов, владеющим тем или иным языком программирования;

• перспективы языка программирования.

В высших учебных заведениях обучают программированию в рамках предмета «Информационные технологии», который часто выглядит как дополнение к математическим курсам, либо привязаны к какой-то основной специальности, скажем, электротехнике. Сегодня так же, как и раньше, большинство учебных заведений зачастую ставит знак равенства между программированием и информационными технологиями, а информационные технологии приравнивают к математике. В результате множество вводных курсов по программированию построено вокруг достаточно низкоуровневых абстракций таких языков, как C, или языков, используемых в математических пакетах, таких как MATLAB.

К плюсам языка C++ можно отнести следующее:

1. Поддержку от компании Microsoft.

2. Синтаксис, похожий на C, C++ или Java, облегчает переход на этот язык для других программистов.

3. Для новичков это один из самых перспективных языков для изучения.

4. Благодаря покупке Xamarin на C# теперь можно писать под Android и iOS.

C++ достаточно легкий язык в изучении. Этот язык использует основные арифметические, логические операции, которые быстро усваиваются студентами. Инженеры, знающие язык C++, будут востребованы на рынке труда, и C++ не станет в скором времени устаревшим. Зная язык C++, можно научиться программировать и на языке C. Рынок труда имеет большой дефицит программистов, знающих язык машинных кодов, таких как язык C. JavaScript также удостоен звания лучшего языка для обучения студентов из-за того, что без него невозможна разработка веб-интерфейсов, а в последнее время благодаря Node.js растёт актуальность JavaScript в серверном коде. Таким образом, при выборе языка программирования нужно не только учитывать информации из разных официальных источников, регулярно публикующих отчёты с рейтингами языков, но и специальность обучающегося студента, а также требования рынка.

Источники

1. Галиуллина Э.Р., Зарипова Р.С. Тенденции современного образования технических специалистов // Состояние и перспективы развития ИТ-образования: сб. докл. и науч. ст. Всерос. науч.-практ. конф. Чебоксары, 2018. С. 304–307.

2. Зарипова Р.С., Галямов Р.Р. Инновационные аспекты подготовки технических специалистов // Аллея науки. 2017. Т. 1, № 15. С. 343–346.

3. Ишмуратов Р.А., Зарипова Р.С. Роль и место программных приложений в процессе обучения студентов // Состояние и перспективы развития ИТ-образования: сб. докл. и науч. ст. Всерос. науч.-практ. конф. Чебоксары, 2018. С. 320–323.

4. Салтанаева Е.А., Эшелиоглу Р.И. Использование новых информационных технологий в образовании // NovaUm.Ru. 2018. № 12. С. 224–226.

5. Зарипова Р.С. Глобальные тренды современного образования // NovaUm.Ru. 2018. № 13. С. 232–234.

6. Шакиров А.А., Зарипов Р.С. Использование пакетов прикладных программ в образовательном процессе // Современные научные исследования и разработки. № 3 (20). 2018. С. 627–629.

7. Пырнова О.А., Зарипова Р.С. Применение информационных технологий в образовательном процессе // Современные научные исследования и разработки. 2018. № 2(19). С. 267–269.

8. Ишмуратов Р.А., Зарипова Р.С. Место базовых сред разработки программных приложений как составной части информационных технологий в подготовке инженеров // Решение. 2017. Т. 1. С. 38–40.

УДК 378:005.95

УПРАВЛЕНИЕ ЧЕЛОВЕЧЕСКИМИ РЕСУРСАМИ ОРГАНИЗАЦИИ В РАМКАХ ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Лариса Павловна Кузьмина

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

lpkazan@mail.ru

В статье раскрыто значение управления человеческими ресурсами как вида менеджмента. Представлены актуальность и процесс выполнения курсовой работы, отражающей содержание деятельности по управлению человеческими ресурсами при подготовке бакалавров.

Ключевые слова: управление человеческими ресурсами, профессиональная деятельность, учебный процесс, самостоятельная работа, курсовая работа.

HUMAN RESOURCE MANAGEMENT ORGANIZATION WITHIN THE FRAMEWORK OF PERFORMANCE COURSE WORK

Larisa Pavlovna Kuzmina

The article reveals the importance of human resource management as a type of management. Presents the relevance and process of coursework, reflecting the content of human resource management activities in the preparation of bachelors.

Key words: human resource management, professional activity, educational process, independent work, course work.

На сегодняшний день фундаментальной основой для организации образовательной деятельности в вузе являются требования ФГОС ВО по соответствующим направлениям. В рамках их реализации организация учебного процесса должна ориентироваться на конкретные виды профессиональной деятельности, к которым готовится студент.

Так, выпускник, освоивший программу бакалавриата по направлению 38.03.02 «Менеджмент», в рамках организационно-управленческой деятельности должен быть готов решать профессиональные задачи по разработке и реализации кадровой стратегии организации, а также комплекса мероприятий операционного характера в соответствии с разработанной стратегией.

Вопросы построения и реализации кадровой стратегии включены в содержание учебной дисциплины «Управление человеческими ресурсами», входящей в образовательном процессе КГЭУ в учебный план подготовки менеджеров-бакалавров.

Управление человеческими ресурсами – один из важнейших видов управленческой деятельности, которая, в свою очередь, является главным фактором успешного функционирования и развития организации.

Люди являются важнейшим ресурсом любой компании. Они создают новую продукцию, совершенствуют технологии и производство. Люди способны к постоянному развитию и совершенствованию. Их возможности и инициатива безграничны, в то время как другие ресурсы являются ограниченными.

Следует отметить, что в сфере управления человеческими ресурсами человек рассматривается не как непосредственный объект управления, а как необходимый организации ресурс, рациональное использование которого во многом определяет эффективность деятельности компании. Также управление человеческими ресурсами является одним из факторов, обеспечивающих лидерство в конкурентной борьбе, поскольку становится важнейшим конкурентным преимуществом организации и гарантией ее успеха.

В теоретических исследованиях управление человеческими ресурсами рассматривается с разных точек зрения:

• как система разработки и реализации взаимосвязанных, тщательно продуманных решений по поводу регулирования отношений труда и занятости на уровне организации;

• как направление управленческой деятельности, в которой человеческий компонент (или персонал) организации – один из важнейших ресурсов ее успешного функционирования и развития, фактор ее эффективности и роста, средство достижения стратегических целей [1].

С точки зрения практики современное управление человеческими ресурсами представляет собой целенаправленную деятельность руководителей всех уровней управления организации и сотрудников структурных подразделений системы управления персоналом, которая включает разработку стратегии кадровой политики, технологию и методы управления персоналом.

Главная цель управления человеческими ресурсами – это вклад в прибыль организации, который достигается через обеспечение ее высококвалифицированными и заинтересованными работниками, через эффективное использование их мастерства и творческих возможностей, а также через удовлетворение социальных потребностей человека в организации (удовлетворение работой, самовыражение, комфортность межличностных отношений и др.). Без грамотного управления персоналом компании невозможно добиться успеха на рынке в конкурентных условиях.

Таким образом, изучение теории управления человеческими ресурсами и приобретение практических навыков по выполнению самостоятельных исследований в данной области становится актуальной задачей подготовки будущих специалистов в области менеджмента.

Согласно образовательной парадигме любой специалист должен обладать фундаментальными знаниями, профессиональными умениями и навыками деятельности своего профиля, опытом творческой и исследовательской деятельности по решению новых проблем. Последняя составляющая формируется в процессе самостоятельной работы студентов, которая наряду с аудиторной представляет одну из форм учебного процесса и является существенной ее частью.

Как известно, самостоятельная работа способствует:

• углублению и расширению знаний;

• формированию интереса к познавательной деятельности;

• овладению приемами процесса познания;

• развитию познавательных способностей.

Самостоятельная работа предназначена не только для овладения каждой дисциплиной, но и для формирования навыков самостоятельной работы вообще: в учебной, научной, профессиональной деятельности, способности принимать на себя ответственность, самостоятельно справляться с проблемой, находить конструктивные решения. Именно поэтому она становится главным резервом повышения эффективности подготовки специалистов.

Для успешного выполнения самостоятельной работы необходимо ее планирование, контроль, а также разработка методических рекомендаций для студентов.

Одним из актуальных видов самостоятельной работы является выполнение курсовых работ. Необходимость выполнения курсовой работы по конкретной дисциплине диктуется важностью и необходимостью решения в будущей профессиональной деятельности задач, связанных с самостоятельными исследованиями в предметной области.

Курсовая работа по учебной дисциплине «Управление человеческими ресурсами» – это самостоятельное исследование, выполняемое студентом в процессе обучения и представляющее собой разработку какой-либо темы данной дисциплины.

Ее целью является систематизация знаний студентов, а также выработка у них умений и навыков обоснованно решать конкретные задачи в области управления персоналом.

При выполнении курсовой работы студент должен:

• закрепить и расширить теоретические знания и практические навыки по изучаемой дисциплине;

• закрепить навыки самостоятельной работы с источниками информации;

• продемонстрировать знание библиографического и фактического материала по избранной теме;

• выработать способность логично и последовательно излагать свои мысли, делать выводы и обобщения, обосновывать свои предложения и рекомендации.

Темы курсовых работ отражают содержание практической деятельности по управлению человеческими ресурсами, что может являться, в свою очередь, конкретными составляющими кадровой стратегии организации. В связи с этим предлагаются следующие темы курсовых работ [2]:

1. Роль и задачи управления персоналом в управлении организацией.
2. Содержание деятельности по управлению персоналом.
3. Кадровая политика предприятия.
4. Стратегии управления персоналом организации.
5. Система управления персоналом организации.
6. Оценка эффективности системы управления персоналом.
7. Кадровое планирование.
8. Оперативное планирование работы с персоналом.
9. Планирование и прогнозирование потребности в персонале.
10. Нормативно-методическое обеспечение управления персоналом.
11. Документационное обеспечение управления персоналом.
12. Маркетинг персонала.
13. Методы отбора и приема персонала.
14. Организация отбора и приема персонала.
15. Управление адаптацией персонала.
16. Организация труда персонала.
17. Управление безопасностью труда персонала.
18. Управление развитием персонала.
19. Управление деловой карьерой персонала.
20. Организация обучения персонала.
21. Стимулирование трудовой деятельности персонала.
22. Мотивация персонала.
23. Профилактика конфликтов в организации.
24. Управление конфликтами в организации.

25. Психология управления персоналом.

26. Этика деловых отношений.

27. Методы управления персоналом

28. Организационная культура предприятия как фактор управления персоналом.

29. Методы оценки деятельности персонала.

30. Организация оценки деятельности персонала.

Студент может предложить свою тему курсовой работы, обосновав при этом актуальность и целесообразность ее разработки.

Выполнение курсовой работы можно условно разделить на несколько этапов:

1) обоснование актуальности темы;

2) формулировка объекта, предмета, цели, задач курсовой работы (определение ее аппарата исследования);

3) разработка структуры работы;

4) изучение и анализ научно-исследовательской и методической литературы по предмету и объекту исследования;

5) сбор и анализ необходимых данных по объекту исследования;

6) формулирование рекомендаций и выводов;

7) написание и оформление курсовой работы с возможной корректировкой ее структуры;

8) разработка тезисов доклада для защиты;

9) защита работы.

Курсовая работа включает: введение, две главы, заключение, список использованной литературы и приложения: схемы, графики, диаграммы, таблицы и т. п. Небольшие по объему таблицы и рисунки также могут быть размещены в тексте работы.

Главы разбиваются на параграфы. Рекомендуемое количество параграфов внутри главы – от трех до пяти. Каждая из составных частей (глава, параграф) представляет собой относительно законченный этап работы, содержащий решение одной или нескольких поставленных задач. Каждая глава заканчивается выводами.

Первая глава курсовой работы отражает теоретические аспекты выбранной темы, а вторая – их рассмотрение на практике в рамках какого-либо конкретного предприятия.

В первой главе обязательно должны быть ссылки на использованную литературу. А вторая глава, как видим, отражает прикладной аспект, важный как самостоятельное исследование студентом вопросов управления человеческими ресурсами на предприятии.

Например, курсовая работа «Управление развитием персонала на предприятии ООО «Планета»» имеет следующую структуру:

Введение.

Глава 1. Основные аспекты управления развитием персонала в организации.

1.1. Значение управления развитием персонала на предприятии.

1.2. Содержание управления развитием персонала.

1.3. Процесс управления развитием персонала.

Глава 2. Анализ управления развитием персонала на предприятии ООО «Планета».

2.1. Общая характеристика деятельности предприятия.

2.2. Оценка состояния управления развитием персонала на предприятии.

2.3. Рекомендации по совершенствованию управления развитием персонала.

Заключение.

Список литературы.

Приложения.

Итак, в ходе выполнения курсовой работы студент должен предложить собственное видение решения определенной задачи (как видим, рекомендации студента отражаются в последнем параграфе). Ценным является то, что выполнение работы позволяет студенту самостоятельно изложить свою точку зрения на конкретную проблему, приобрести навыки научного представления материала с использованием исследовательского подхода к изучению вопросов, отражающих тему работы.

Таким образом, считаем, что предложенный процесс и структура выполнения курсовой работы по дисциплине «Управление человеческими ресурсами» является актуальным отражением современной потребности в формировании профессиональной основы будущих специалистов в области менеджмента.

Источники

1. Карташова Л.В. Управление человеческими ресурсами. М.: Изд-во «ИНФРА-М», 2013. 235 с.

2. Управление человеческими ресурсами: метод. указания по выполнению курсовых работ / сост. Л.П. Кузьмина. Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2015. 22 с.

УДК 621.313

ПРОБЛЕМЫ РОССИЙСКОГО ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВА ОБ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИИ В СФЕРЕ ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА

Алина Феликсовна Магфурова[1], Азат Назипович Хуснутдинов[2],
Эльмира Мусавировна Хуснутдинова[3], Лейла Нургалиевна Киснеева[4]

[1,2,4] ФГБОУ ВО «КГЭУ», [3]ФГАОУ ВО КФУ
г. Казань

[1,4]magfurova@bk.ru, [2,3]rr-088@mail.ru

В статье рассматриваются аспекты правовой регламентации вопросов энергосбережения в сфере жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ), оплаты установки приборов учета энергетических ресурсов в многоквартирных жилых домах.

Ключевые слова: жилищно-коммунальное хозяйство, энергетические ресурсы, приборы учета.

PROBLEMS OF THE RUSSIAN LEGISLATION ON ENERGY SAVING IN THE SPHERE OF HOUSING AND COMMUNAL ECONOMY

Alina Feliksovna Magfurova, Azat Nazipovich Khusnutdinov,
Elmira Musavirovna Khusnutdinova, Leila Nurgalievna Kisneeva

The article discusses aspects of the legal regulation of energy conservation issues in the field of housing and communal services (housing and communal services), payment for installation of metering devices for energy resources in apartment houses.

Key words: housing and communal services, energy resources, metering devices.

Устаревшие технологии, используемые в ЖКХ еще с советских времен, отсутствие грамотных управленческих кадров и скромные финансовые возможности вынудили федеральную власть инициировать принятие Федерального закона «Об энергосбережении» № 261. В структуре расходов по оплате жилищн-коммунальных услуг самыми значительными являются расходы по оплате энергетических ресурсов. Одним из основных решений проблемы ФЗ предлагает установку приборов учета, общедомовых и поквартирных. ФЗ требуют в обязательном порядке установить такие приборы в жилых домах под угрозой санкций к нарушителям. Вместе с тем нередко установку общедомовых приборов учета энергоресурсов инициируют именно организации ЖКХ, прежде всего, управляющие компании, в связи с тем, что расходы на приобретение приборов учета финансирует Федеральный фонд. На основании данной статьи ФЗ Фонд содействия реформированию жилищно-коммунального хозяйства выделяет

деньги на проведение капитальных ремонтов жилых домов. Если средства выделялись фондом на проведение капитальных ремонтов и именно из этих средств финансировалась покупка и установка приборов учета, то выделение этих средств фонд сопровождает требованием к собственникам ремонтируемых жилых домов оплатить 5 % от сметной стоимости капитального ремонта, 95 % стоимости выплачивает фонд. Все вышеперечисленное касается лишь случаев, когда средства на оплату приборов учета выделялись Федеральным фондом содействия реформированию ЖКХ.

Еще одним источником финансирования являются средства из местных бюджетов. В отдельных случаях местные власти почти сразу же после появления Федерального закона № 261 приняли соответствующие местные программы или выделили средства из местных бюджетов в рамках других статей бюджетов.

В настоящее время в некоторых регионах РФ внедряются системы автоматизированного контроля за показаниями приборов учета энергоресурсов. Каждый житель дома, оборудованного такой системой, может зайти на сайт управляющей компании, чтобы отследить данные общего потребления по дому и собственного потребления. Для управляющей компании эта система также является удобной.

Источники

1. Шеметова Н.Ю. Роль собственников жилья в реализации Федерального Закона Российской Федерации «Об энергосбережении» // ВУЗ. XXI век. 2015. № 2. С 229–252.

УДК 378

ОПЫТ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПЕРЕПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ СЕТЕВОЙ КОМПАНИИ

Елена Анатольевна Миронова[1], Татьяна Викторовна Лопухова[2],
Римма Валентиновна Ахметова[3], Сергей Михайлович Маргулис[4]

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань
[1,3,4]mironova.energo@yandex.ru, [2]lopuhovatv@mail.ru

В статье рассматривается отбор и формирование содержания профессиональной подготовки для слушателей курсов переподготовки и повышения квалификации. Изложен опыт профессиональной переподготовки специалистов «ОАО Сетевая компания» на кафедре «Электрические станции им. В.К. Шибанова» Казанского государственного энергетического университета.

Ключевые слова: переподготовка, трудовая деятельность, кадровый потенциал, рынок труда, знания, умения, компетенции, результат.

EXPERIENCE OF PROFESSIONAL RETRAINING OF SPECIALISTS OF THE NETWORK COMPANY

Elena Anatolyevna Mironova, Tatyana Viktorovna Lopukhova,
Rimma Valentinovna Akhmetova, Sergey Mikhailovich Margulis

The article discusses the selection and formation of the content of vocational training for students of retraining courses and advanced training. The experience of professional retraining of specialists of JSC Grid Company at the Department of Electrical Stations named after them. V.C. Shibanova Kazan State Energy University.

Key words: retraining, labor activity, personnel potential, labor market, knowledge, skills, competencies, result.

Важнейшей и широко востребованной формой высшего образования является переподготовка и повышение квалификации кадров.

Проблемы формирования кадрового потенциала энергетических предприятий заключаются в следующем. Современные предприятия часто рассматривают выпускников учебных заведений не как готовых специалистов, а только как кадровый потенциал. По общепринятому мнению, полноценный специалист формируется в процессе практической деятельности на предприятии. Но в реальности этот процесс для многих очень длителен и сложен. На многих предприятиях, и энергетического профиля в том числе, работают специалисты с базовым образованием, далеким от объекта профессиональной деятельности. Очень часто объектом трудовой деятельности таких работников является энергетическое предприятие: электростанция или предприятие электрических сетей, а предметом деятельности – экономические или юридические аспекты. И профессионально грамотные специалисты ощущают свою неготовность к полноценной деятельности на профильных предприятиях, плохо ориентируясь в специфике предприятия. Одним из наиболее реальных решений проблем формирования кадрового потенциала энергетических предприятий является специальная профессиональная подготовка персонала в системе высшего образования.

В последние годы в связи с запросами рынка труда и в соответствии с возникновением новых технологий и новой техники, видоизменением или появлением новых специальностей**,** началась профессиональная переподготовка кадров.

На энергетических предприятиях сложилась четкая ориентация на необходимость и востребованность профессиональной переподготовки и повышения квалификации выпускников ВУЗов и работающего персонала.

Во многих случаях фундаментальная профессиональная подготовка обеспечивает инвариантную часть образования, но при этом вариативная часть образования, относящаяся непосредственно к компетенции специалиста на конкретном производстве в программах переподготовки, практически отсутствует.

Конечно, предусмотреть все особенности технологии и техники конкретного производства в содержании профессиональной переподготовки слушателей крайне сложно, тем более в условиях действующего федерального государственного образовательного стандарта высшего образования, который жестко регламентирует содержание образования, оставляя свободной лишь небольшую часть времени на регионально-национальный компонент – его вариативную часть. Однако четкое представление в содержании переподготовки о компетенциях, которыми слушатели должны обладать и затем реализовывать на производстве, может позволить решить проблемы успешной адаптации специалистов в новых условиях производства. Слушатели должны быть подготовлены к будущим технико-технологическим, социальным и экономическим переменам.

Разработка учебного плана и программы переподготовки для сотрудников «Сетевой компании» согласовывалась с интересами работодателей. Переподготовка специалистов финансируется самой компанией.

Основными функциями ОАО «Сетевая компания» являются: передача и распределение электрической энергии электростанций до потребителей Республики Татарстан; создание условий для подключения новых потребителей. В «Сетевой компании» большое внимание уделяется повышению образовательного уровня специалистов, работающих в управлении «Сетевой компании» и одиннадцати её филиалах. Электросетевые предприятия работают на всей территории Татарстана. Руководство «Сетевой компании» считает, что базовую подготовку по направлению «Электроэнергетика» должны иметь специалисты и тех подразделений, которые не связаны непосредственно с инженерно-техническими электроэнергетическими задачами.

Профессиональная переподготовка должна обеспечивать готовность специалиста к изменению вида и характера профессиональной деятельности, осознанию необходимости повышения квалификации и формированию способностей к самостоятельному овладению дополнительными знаниями в области профессиональной деятельности.

Для реализации данной задачи в ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет» была создана программа профессиональной переподготовки по направлению 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника», направленности «Электрические станции и подстанции», разработанная выпускающей кафедрой «Электрические станции» им. В.К. Шибанова. Эта программа представляет собой комплекс основных характеристик образования, организационно-педагогических условий,

форм аттестации, который представлен в виде учебного плана, рабочих программ дисциплин, программы государственной итоговой аттестации, фондов оценочных средств для проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся, учебных и методических материалов, обеспечивающих достижение планируемых результатов освоения программы профессиональной переподготовки.

Цели программы: приобретение слушателями профессиональных знаний и умений в области функционирования и эксплуатации электрических станций и подстанций, линий электропередачи; электроэнергетических систем; систем электроснабжения объектов техники и отраслей хозяйства; получение организационно-управленческих, производственно-технологических и эксплуатационных компетенций, необходимых для выполнения нового вида профессиональной деятельности в сфере электроэнергетики.

Область профессиональной деятельности слушателя, прошедшего обучение по программе профессиональной переподготовки для выполнения нового вида профессиональной деятельности «Электрические станции и подстанции» включает: совокупность технических средств, способов и методов человеческой деятельности для производства, передачи, распределения, преобразования, применения электрической энергии, управления потоками энергии, разработки и изготовления элементов, устройств и систем, реализующих эти процессы.

Учебный план профессиональной переподготовки по направлению 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» образовательной программы «Электрические станции и подстанции» обеспечивает формирование профессиональных знаний и умений в соответствии с требованиями квалификационных характеристик и заказчика на подготовку кадров и обеспечивает преемственность и взаимосвязь профессионального обучения, предусматривает возможность сочетания учебного процесса с производственной деятельностью.

Учебный план рассчитан на 512 часов, из которых 284 часа отводятся на лекции, 94 – на лабораторные работы и 134 на практические занятия. Основой для выбора содержания переподготовки стали учебные планы образовательных программ подготовки бакалавров по направлению «Электроэнергетика и электротехника». С учетом специфики деятельности «Сетевой компании» в учебный план были включены такие дисциплины,

как «Информационные технологии», «Диагностика оборудования подстанций», «Проектирование подстанций», «Основы эксплуатации электрического оборудования подстанций», «Оперативные переключения в РУ подстанций», «Нормативно-техническая и эксплуатационная документация».

Выпускная квалификационная работа (ВКР) слушателей программы переподготовки предусматривала исследовательскую часть, поэтому в учебном плане были выделены часы на научно-исследовательскую работу.

Первая группа слушателей переподготовки (30 человек) состояла из специалистов с высшим непрофильным образованием практически из всех филиалов и управления «Сетевой компании».

Для проведения практических занятий, для групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, самостоятельной работы обучающихся были выделены учебные аудитории, оснащенные аудиовизуальным оборудованием с выходом в интернет и электронную информационно-обучающую сеть университета.

Практические занятия проводились в учебном кабинете со стендовым тренажером «Проведение оперативных переключений в схемах распределительных устройств до 1 кВ и свыше 1 кВ» и демонстрационным оборудованием: разъединители, выключатели макеты ячеек с элегазовым оборудованием, мультикамерные разрядники ГИРМК-35, РМКЭ-35-IV-0,1; разрядники РДИП-10-IV, УХЛ1, РМК-10-УХЛ-1. В межкафедральной лаборатории занятия проходили на учебном лабораторном комплексе «Модель электрической системы». Занятия по дисциплине «Техника высоких напряжений» проводились в лабораториях высоких напряжений и перенапряжений в электроэнергетических системах на физических и аналоговых моделях электрических линий и подстанций. В учебном процессе был задействованы учебные полигоны «Подстанция 100/10 кВ» и «Распределительные сети РС 0,4-10 кВ», вызвавшие большой интерес у слушателей.

Учебный процесс был разделен на несколько циклов, содержащих очное обучение – лекции, практические и лабораторные занятия, а также дистанционное обучение без отрыва от работы. Последний цикл включал в себя выполнение ВКР и подготовку к ее защите.

Всего за период обучения слушатели прошли текущую аттестацию – сдали 11 экзаменов, 10 зачетов, выполнили курсовой проект по электрическим подстанциям. Руководство ВКР было поручено наиболее квалифицированным педагогам кафедры.

Для защиты ВКР была создана государственная аттестационная комиссия во главе с генеральным директором «Сетевой компании» И.Ш. Фардеевым. Защита ВКР проходила в КГЭУ с участием ректора

КГЭУ Э.Ю. Абдуллазянова, директора института дополнительного профессионального образования И.Г. Ахметовой, руководителей и специалистов подразделений и филиалов «Сетевой компании».

Практически все ВКР получили высокую оценку комиссии, большинство из них были оценены на «отлично».

Хорошие результаты переподготовки во многом были обеспечены подписанием в 2017 году Договора о сотрудничестве по созданию и функционированию базовой кафедры «Электрооборудование высокого напряжения» ФГБОУ ВО «КГЭУ» при ОАО «Сетевая компания». Деятельность базовой кафедры направлена на реализацию образовательной программы по направлению «Электроэнергетика и электротехника», направленность: «Высоковольтные электроэнергетика и электротехника», «Электрические станции», «Электрические системы и сети» [3, 4]. Тесное сотрудничество «Сетевой компании» и кафедры «Электрические станции» им. В.К. Шибанова обеспечит не только хорошую базовую подготовку выпускников бакалавриата и магистратуры, но и выпускников программы переподготовки специалистов, способных к успешной, творческой профессиональной деятельности на предприятиях «Сетевой компании».

Учитывая первый опыт и результаты переподготовки специалистов для «Сетевой компании», следует предусмотреть при организации следующих курсов переподготовки возможность организации учебно-производственной практики на сетевых предприятиях. Эта практика должна быть предусмотрена в рабочих планах и иметь хорошее методическое обеспечение в виде программы практики и методических указаний по ее осуществлению.

Важно очень серьезно подойти к выбору тем для выпускных квалификационных работ. Темы должны быть актуальны для электроэнергетики в целом и для «Сетевой компании» в частности, а также предусматривать исследовательскую работу обучающихся во время выполнения ВКР.

При работе с первой группой обучающимся предлагались задания для исследовательской части ВКР, непосредственно связанные с их профессиональной деятельностью на момент обучения на курсах переподготовки. Следует отметить, что исследовательская часть была наиболее интересной и при защите ВКР вызывала наибольшее количество вопросов. Причем ответы на эти вопросы всегда были профессионально грамотными и, как правило, способствовали получению отличных и хороших отметок.

Опыт профессиональной переподготовки специалистов «Сетевой компании» в Казанском государственном энергетическом университете показал, что такая работа по формированию кадрового потенциала компании приносит хороший результат. Совершенствование учебных планов и выбор тем ВКР с учетом замечаний руководителей и специалистов «сетевой компании» обеспечат подготовку профессионально грамотных и творческих кадров.

Источники

1. Методические рекомендации по организации образовательной деятельности с использованием сетевых форм реализации образовательных программ: прил. к письму Министерства образования и науки Российской Федерации № АК-2563/05 от 28 августа 2015 г.

2. Гребенщикова М.М., Миронова Е.А. Технология опережающей подготовки в высшей профессиональной школе // Актуальные вопросы образования и науки: науч. альманах по матер. Междунар. науч.-практ. конф. 2015. № 11-2(13). С. 121–124.

4. Лопухова Т.В., Зацаринная Ю.Н., Маргулис С.М. Организация учебного процесса выпускающей кафедры на энергетическом производстве // Научные исследования высшей школы по приоритетным направлениям науки и техники: сб. ст. Междунар. науч.-практ. конф. Пермь, 2018. С. 173–179.

УДК 621.316

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ОТБОР СОДЕРЖАНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ ОПЕРЕЖАЮЩЕЙ ПОДГОТОВКИ

Елена Анатольевна Миронова

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

mironova.energo@yandex.ru

Рассматриваются педагогические технологии, используемые при проектировании и отборе содержания учебных дисциплин.

Ключевые слова: компетенции, профессиональная подготовка, педагогические технологии, нормативно-техническая документация.

DESIGN AND SELECTION OF THE CONTENT OF TEACHING DISCIPLINE ON THE BASIS OF THE TECHNOLOGY OF THE LEADING TRAINING

Elena Anatolyevna Mironova

The pedagogical technologies used in the design and selection of the content of academic disciplines are considered.

Key words: competences, professional training, pedagogical technologies, regulatory and technical documentation.

Наиболее актуальным и проблемным в методической работе преподавателей высшей школы остается проектирование содержания обучения: выбор педагогических технологий, отбор содержания, методов и средств обучения. Это связано в первую очередь с введением новой учебно-нормативной документации и уменьшением объема времени, отводимого на изучение конкретных дисциплин и, следовательно, отбором и структурированием учебного материала в соответствии с новыми реалиями. При этом требования к содержанию образования не изменяются: содержание образования должно позволить обеспечить подготовку специалистов широкого профиля, конкурентоспособных, обладающих профессиональной мобильностью, способностью к быстрой адаптации в условиях постоянного обновления техники, технологий, при одновременной дифференциации содержания обучения применительно к конкретным видам деятельности.

Проблемы формирования содержания появляются при включении в учебный план новых дисциплин, которые должны органично, по своему контенту, вписаться в общую структуру учебных дисциплин для их содержательного наполнения. Так, при разработке структуры и содержания новой учебной дисциплины «Нормативно-техническая и эксплуатационная документация» был проведен анализ основных проблем проектирования курса и выявлены следующие особенности, а именно:

• нормативная и эксплуатационная документация регламентирует научно-исследовательскую и техническую деятельность, фиксирует процесс и результаты научных исследований и прикладных разработок и также направлений и методов их внедрения в различные отрасли экономики, в рассматриваемом случае электроэнергетики, причем сроки действия документации во многих случаях конкретно не определены;

• исходя из вышеизложенного назначения нормативной и эксплуатационной документации, содержание дисциплины должно обеспечивать документационное сопровождение при изучении многих дисциплин профессионального цикла, на завершающих обучение курсах;

• дисциплины, предшествующие изучению нормативной документации в техническом плане дают только общее представление о научных основах функционирования электроэнергетических объектов.

Таким образом, отбор и структурирование содержания рассматриваемой учебной дисциплины должны обеспечить формирование общих представлений о принципах, характеристиках, касающихся определенных видов деятельности или их результатов (ТУ, ГОСТ, инструкция), знаний о технической документации, используемой при проектировании и эксплуатации энергетических объектов, умений и навыков в использовании нормативно-технической и эксплуатационной документации. При этом необходимо учесть постоянную тенденцию к обновлению всего комплекса документации и конструкторской и технологической. С учетом того, что данная дисциплина изучается на третьем курсе в первом семестре, то после окончания бакалавриата, а тем более магистратуры, многие положения нормативной документации могут видоизмениться, либо исчезнуть и появятся новые аспекты решения технических задач: конструкторских и технологических, эксплуатационных. Документация перерабатывается, дополняется с учетом накопленного опыта и появления большого количества нового оборудования. В связи с этим в обозначении документации существует понятие «действующая редакция издания».

Например, Правила устройств электроустановок (ПУЭ) – основной нормативно-технический документ, которым руководствуются проектировщики при расчете электроустановок всех типов и модификаций. ПУЭ существует уже более 65 лет (первое издание было выпущено в 1949 г.) и из-за того, что постоянно идет развитие техники, появляются новые технологии, повышаются требования к электробезопасности и надежности электроустановок, эти правила дополняются и пересматриваются.

Решение проблемы отбора и структурирования дисциплины может быть основано на выборе оптимальной педагогический технологии, обусловленно целями и содержанием обучения; соответствующей организацией учебного процесса и выбором средств педагогического взаимодействия и, конечно, заданным результатом деятельности.

К технологии, позволяющей сегодняшнему студенту подготовиться к дальнейшему обучению и будущей профессиональной деятельности в рамках изучаемой дисциплины, можно отнести технологию опережающего обучения. Опережающее обучение – это обучение сегодня с учетом перспектив завтрашнего дня. Из перспектив опережения, заложенных в существующей системе профессионального образования, можно выделить уровень подготовки в пределах цикла дисциплин. Такая профессиональная

подготовка не только обеспечивает готовность обучающихся к восприятию новой информации в рамках последующих учебных дисциплин, изменению вида и характера учебной деятельности, но и соответствует компетенциям, с необходимостью реализации которых специалист столкнется на производстве.

Для обучения студентов на опережающей основе необходима такая организация проектирования учебного процесса, при которой программный материал, подлежащий изучению в будущем, закладывается в учебный материал дисциплины и вводится в учебное занятие в данный момент. Опережающая основа учебной работы активизирует познавательную деятельности студентов, формирует у них положительную мотивацию к обучению.

Среди различных форм учебной работы студентов наиболее доступной является опережающая работа теоретического характера. Студенты самостоятельно изучают теоретический материал отдельных тем дисциплины или отдельных вопросов, или дополнительной литературы, причем до изучения теоретического изучения тем. Такими заданиями могут быть: анализ документальных источников по теме; подготовка сообщений о практическом опыте в изучаемой области, о зарубежном опыте и теоретических концепциях.

Студенты работают с учебной, справочной и методической литературой, научно-популярными изданиями, каталогами, осуществляют информационный поиск, используя компьютерную сеть. Наиболее эффективным является использование современных информационных технологий. Самостоятельная проработка информации, подготовка сообщений в форме презентаций для учебного занятия позволяют студентам расширить свое представление о будущей профессиональной деятельности.

Но если в содержании учебных занятий всегда присутствует актуализация опорных знаний, то включение в содержание программы учебной дисциплины информации опережающего характера составляет определенные трудности для преподавателей, кроме информации общего характера, поскольку реализация опережающих технологий обучения требует от преподавателей определенного уровня квалификации. Преподавателю необходимо проанализировать учебный план и содержание учебных дисциплин, параллельных в цикле и последующих циклах; выявить значимую информацию для компетенций, формируемых в преподаваемой дисциплине; разработать учебно-методические рекомендации и задания для студентов, способствующие внедрению приемов опережающего обучения.

Реализация в учебном процессе опережающего обучения, ориентированного на ближнюю перспективу, то есть в пределах цикла дисциплин, позволяет выявить резервы времени, упростить адаптацию студентов к новому уровню знаний по смежным дисциплинам, итоговой аттестации. Перспективное пропедевтическое изучение новых тем помогает хорошо их усвоить, предотвратить отставание, практически исключить недочеты и пробелы в знаниях.

Любая дисциплина со всеми ее основными составляющими в теории и практике всегда увязывалась с предшествующими и последующими дисциплинами в жесткой иерархической системе учебного плана, формирование которого подчиняется общим целям и задачам профессионального образования по конкретной специальности. При этом в большинстве программ по дисциплинам и учебной и производственной практике содержание перекрывается граничными дисциплинами. При анализе учебной документации это называется дублированием учебного материала и не приветствуется в содержании дисциплин.

Однако, с учетом особенностей формирования перечня и набора дисциплин в циклы по конкретной специальности, выясняется, что избавляться от дублирования учебного материала не всегда целесообразно, поскольку имеется возможность использовать не примитивное дублирование содержания, а повторение учебного материала в образовательном процессе на разных уровнях, а именно: сначала на уровне общих представлений, затем на уровне знаний, и позднее на уровне умений. При этом краткий повтор основных закономерностей и формулировка принципов позволяют актуализировать ранее полученные знания и использовать их более осознанно при изучении нового содержания. Так, «Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей» (ПТЭ), изучаемые в рамках в дисциплины «Нормативно-техническая и эксплуатационная документация», затем актуализируются в последующих дисциплинах, рассматривающих основное оборудование электроустановок, основы эксплуатации электрооборудования высокого напряжения. Изучение единой системы конструкторской документации позволяет достаточно просто начать изучение электрических схем электроустановок в курсе «Электрические станции и подстанции».

Таким образом, использование технологии опережающего обучения в проектировании и отборе содержания учебной дисциплины позволяет при изучении нормативно-технической и эксплуатационной документации

объединить информацию об отдельных сторонах профессиональной деятельности, рассредоточенную в разных курсах учебных дисциплин, и, исключая простое дублирование, в дальнейшем актуализировать материал на новом уровне.

Источники

1. Методические рекомендации по организации образовательной деятельности с использованием сетевых форм реализации образовательных программ: прил. к письму Министерства образования и науки Российской Федерации от № АК-2563/05 от 28 августа 2015г.

2. Гребенщикова М.М., Миронова Е.А. Технология опережающей подготовки в высшей профессиональной школе // Актуальные вопросы образования и науки: по матер. Междунар. науч.-практ. конф. 2015. № 11–2(13). С. 121–124.

УДК 316

ПОДГОТОВКА КАДРОВ ДЛЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ: СОЦИОЛОГИЧЕСКИЕ И МАРКЕТИНГОВЫЕ АСПЕКТЫ

Эльмира Ринатовна Нуруллина[1], Радмила Радиковна Хизбуллина [2]

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

[1]elmiranur10@yandex.ru, [2]mine_post@inbox.ru

В статье рассмотрены актуальные принципы подготовки инженерных кадров в условиях современных требований рынка труда. Приведены примеры потребности энергетических компаний в специалистах в области маркетинговых и социологических служб. Актуализирована необходимость подготовки специалистов в области маркетинга и социологии, обучения их основам будущих специалистов технического профиля в условиях запроса современного рынка труда на квалифицированных специалистов универсального знания.

Ключевые слова: маркетинг, образование, маркетинговые, социологические службы, энергопредприятия, маркетолог, продукт, потребитель, электроэнергетика.

TRAINING OF PERSONNEL FOR ENERGY INDUSTRY: SOCIOLOGICAL AND MARKETING ASPECTS

Elmira Rinatovna Nurullina, Radmila Radikovna Khizbullina

The article discusses the current principles of training engineering personnel in the conditions of modern labor market requirements. Examples of the needs of energy companies in specialists in the field of marketing and sociological services are given. The necessity of training

specialists in the field of marketing and sociology, training them in the fundamentals of future technical specialists in the context of the current labor market demand for qualified specialists of universal knowledge has been updated

Key words: marketing, education, marketing, sociological services, energy companies, marketer, product, consumer, electric power industry.

Сегодня формируется новая профессиональная структура российского общества и рынка труда. Здесь может быть полезен апробированный опыт в практике решения методических задач, который может быть в дальнейшем реализован в практической деятельности образовательного учреждения в процессе подготовки специалистов для энергетической отрасли.

Известно, что многоуровневая подготовка квалифицированных специалистов предполагает формирование компетенций и навыков, согласно следующим типам:

• коммуникабельность;

• концептуальные инструменты;

• критическое мышление;

• решение проблем стратегии;

• специальные компетенции (организация работы);

• групповая динамика (наука о коллективном поведении);

• групповые консультации;

• методология прикладных исследований в области оценки качества продукта (социологические, маркетинговые);

• консалтинг экспертиза;

• маркетинговые навыки.

Для предприятий энергетической отрасли специалисты в области социологии и маркетинга имеют широкое поле применения полученных в ходе обучения компетенций:

• комплексные маркетинговые и социологические исследования в области анализа качества продукта, анализа программ стимулирования потребителей, ориентированные на повышение эффективности использования энергии (энергетической эффективности) и включающие маркетинговые инструменты;

• развитие сфер бизнеса, обеспечивающих долгосрочные конкурентные преимущества предприятия;

• разработка промышленной политики, разработка и реализация задач стратегического маркетинга;

• повышение эффективности рыночного взаимодействия промышленного предприятия;

• снижение рисков при выборе партнеров, поставщиков комплектующих и услуг;

• привлечение дополнительных инвестиций для развития производства;

• осуществление маркетингового подхода к управленческой деятельности и др [1].

Сегодня работодатели рассматривают специалистов в области маркетинговых исследований в качестве бизнес-консультантов, поскольку они обладают ключевыми компетенциями в решении социальных, маркетинговых и организационных задач.

Стоит отметить, что, помимо очевидной актуальности необходимости подготовки специалистов в области маркетинга и социологии, рынок труда должен формировать запрос на квалифицированных специалистов универсального знания, а система образования должна готовить соответствующие кадры. Но в таком случае в саму систему воспроизводства кадрового потенциала необходимо включать дисциплины, формирующие общекультурные компетенции.

Соответственно, слушатели в процессе изучения маркетинговых и социологических дисциплин получают уникальные знания о функционировании различных подразделений производства, маркетинговых стратегиях в управлении продуктом, сбытовой политики предприятия, трудовых коллективов, проектировании траектории кадровых стратегий профессионального роста работников для оптимизации трудовой активности, повышения конкурентноспособности предприятия в целом.

Также можно говорить о формировании навыка анализа социально-профессиональных факторов, обеспечивающих наряду с техникой и технологией рост доходности и производительности труда. Реализуя карьерные стратегии, инженерам будут полезны знания в области промышленного маркетинга, в области материального производства, который направлен на удовлетворение нужд предприятия в материалах, сырье, комплектующих, а также на повышение эффективности производственной деятельности и сбыта товаров путем исследования и удовлетворение спроса на промышленные услуги и промышленную продукцию [2].

Примером потребности энергетических компаний в специалистах по маркетингу является необходимость проведения маркетинговых и социологических исследований комплексных и специализированных.

При возникновении идеи создания новой энергетической компании или нового энергетического продукта или услуги осуществляются комплексные маркетинговые исследования [3]. Если же необходимо решить отдельную маркетинговую проблему энергетической фирмы, сопряженную с ценовой политикой, краткосрочным либо долгосрочным моделированием спроса на энергию, а также с эффективностью мероприятий по управлению спросом на энергию среди разных групп потребителей, существующими трудностями реализации энергетического продукта, раскрытием отличительных черт связей с общественностью, определением стиля энергетического предприятия, с эффективностью рекламной кампании, проводятся специализированные маркетинговые исследования.

Особое внимание уделяется программам стимулирования потребителей, ориентированным на повышение эффективности использования энергии (энергетической эффективности) и включающим маркетинговые инструменты:

• систему бонусных скидок с цен на энергоэффективное и энергосберегающее оборудование;

• концепцию скидок с тарифов на электроэнергию (используются в программах диспетчерского управления нагрузкой и развития аккумуляционных систем теплоснабжения в виде скидок по счетам на оплату электрической энергии);

• непосредственное прямое инвестирование в энергосберегающее и энергоэффективное оборудование, которое устанавливается у потребителей (на бесплатном либо частично возмездном основании);

• потребительские займы для установки потребителем оборудования (энергоэффективного или энергосберегающего);

• применение дифференцированных ценовых моделей на энергопродукцию и услуг;

• материальное стимулирование потребителей (например, за установку и использование энергосберегающего оборудования, за применение гибкого графика нагрузки, за снятие с эксплуатации малоэффективного либо устаревшего оснащения, за подключение, за увеличение срока договора обслуживания и т. д.);

• нематериальное вознаграждение потребителей (к примеру, письмо с благодарностью от руководителя энергетического предприятия потребителю, демонстрирующему энергоэффективное поведение в течение определенного периода, публикация в местном печатном издании с рассказом об организациях, которые оказали помощь по монтажу приборов учета людям пенсионного возраста и инвалидам и т. д.);

• концепциию добровольного общественного декларирования потребителями личных планируемых энергоэффективных решений (к примеру, жители многоквартирных домов на общем собрании решили выключать приборы освещения в местах совместного пользования в светлое время суток) [3].

Применение указанных программ позволит увеличить конкурентоспособность энергетических предприятий и достичь существенных результатов в энергоэффективности и энергосбережении.

Что касается обучения студентов технических специальностей, то, резюмируя сказанное, стоит отметить: незаменимые и уникальные для себя знания и навыки, полученные в рамках маркетинговых и социологических дисциплин могут быть внедрены и применимы будущими специалистами по сбору социальной профессионально-квалификационной информации, ее упорядочения при разработке социальных показателей и индикаторов в производственной деятельности, для реализации профессионально-трудовых функций в маркетинговой и сбытовой политике энергопредприятий, по управлению персоналом в структурных подразделениях.

Источники

1. Промышленный маркетинг // Записки маркетолога: сайт практикующего маркетинг-директора. URL: http://www.marketch.ru/marketing_dictionary/marketing_terms_p/promyshlennyy_marketing/ (дата обращения: 16.08.18).

2. Промышленный маркетинг // Управление производством: деловой портал. URL: http://www.up-pro.ru/encyclopedia/industrial-marketing.html (дата обращения: 16.08.18).

3. Гатиятуллина Д.А. Энергетический маркетинг как эффективный путь к энергосбережению: теоретический аспект // Вестник Казанского технологического университета. 2012. № 4. С. 149–158.

УДК 338.242

ТЕНДЕНЦИИ АГЛОМЕРАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН

Олег Владимирович Пелевин[1], Ирина Валерьевна Юсупова[2]

[1,2]Министерство экономики Республики Татарстан, [2]ФГАОУ ВО КФУ
г. Казань

[1]Oleg.Pelevin@tatar.ru, [2]selez2009.li@yandex.ru

Современная ситуация актуализирует вопрос о формировании и развитии городских агломераций. Мировой опыт показывает, что городская агломерация представляет собой рациональную форму использования территорий, благодаря чему происходит создание единого социально-экономического и инвестиционного пространства.

Целью агломерации в XXI веке является становление базы развития крупных городов в качестве оптимальной формы расселения жителей. Развитие населенного пункта внутри городской агломерации должно дать ему существенные преимущества, то есть в большинстве случаев агломерационный процесс может дать значимый социальный и экономический эффект, а также предоставляет возможность повысить качество и уровень жизни населения [1].

Ключевые слова: агломерация, агломерационное развитие, качество жизни, логистические связи, агломерационные эффекты.

TRENDS IN AGGLOMERATIVE DEVELOPMENT REPUBLIC OF TATARSTAN

Oleg Vladimirovich Pelevin, Irina Valerevna Yusupova

The current situation actualizes the issue of the formation and development of urban agglomerations. World experience shows that urban agglomeration is a rational form of land use, thanks to this process, a single socio-economic and investment space is created.

The purpose of the agglomeration in the XXI century is to establish the base for the development of large cities as the optimal form of settlement for residents. The development of a settlement within an urban agglomeration should give it significant advantages, that is, in most cases, the agglomeration process can have a significant social and economic effect, and also provides an opportunity to improve the quality and standard of living of the population [1].

Key words: agglomeration, agglomeration development, quality of life, logistic links, agglomeration effects.

Термин «агломерация», применительно к расселению, впервые использовал французский географ М. Руже в начале 19 века. Согласно его утверждению, агломерация возникает в случае концентрации городских видов деятельности за пределами административных границ и распростра-

нения на соседние населенные пункты. Близкие агломерации термины «конурбация» и «конгломерация» впервые были упомянуты шотландским профессором Патриком Геддесом, рассматривавшим в своих научных трудах новые формы группировки поселений.

В отечественной науке термин «городская агломерация» впервые появился благодаря П.И. Дубровину. Толкование данного понятия впоследствии получило развитие в научных трудах Г.М. Лаппо, В.Л. Глазычева, Д. И. Богорада, Е.Г. Анимицы, П.М. Поляна, Н.Ю. Власовой и других выдающихся отечественных ученых. В общественном обиходе термин закрепился в 70–80-х гг. двадцатого века и фигурировал под разными названиями:

• «хозяйственный округ города» – термин, введенный А.А. Крубером;

• «агломерация» – понятие, используемое М.Г. Диканским.

В основе научных представлений о городской агломерации как социальном феномене лежат концепции, которые были разработаны в рамках экономической теории, экономической географии и социологии. Агломерация рассматривается как результат размещения в пространстве поселений, которые объединены плотными производственными, трудовыми, культурно-бытовыми и рекреационными связями. Агломерация формируется и развивается в соответствии с закономерностями пространственного развития, которое характеризуется неравномерным экономическим ростом центра города и потребностью общества в рациональном распределении потоков информации, капитала, товаров и рабочей силы. Агломерация, как правило, создается при развитии интенсивных социально-экономических связей между населенными пунктами, и содействует повышению их взаимозависимости, а также возникновению ряда социокультурных и политических эффектов [2].

В рамках данной статьи агломерация рассматривается, как компактное скопление населённых пунктов, главным образом городских, местами срастающихся, объединённых в сложную многокомпонентную динамическую систему с интенсивными производственными, транспортными и культурными связями. Во время агломерационного процесса переплетаются экономические, природоохранные, социальные и иные интересы. Важная особенность агломерационного процесса – сохранение самостоятельности административно-территориальных единиц, между которыми остается очень плотное взаимодействие. Как правило, при агломерационном процессе на первом месте стоят экономические интересы, однако социальная составляющая имеет также большую значимость [3].

Стратегия социально-экономического развития Республики Татарстан до 2030 г., утвержденная Законом Республики Татарстан от 17 июня 2015 г. № 40-ЗРТ (далее – «Стратегия – 2030») – основной документ, в соответствии с которым планируется развитие агломераций в Республике Татарстан.

В «Стратегии – 2030» обоснована идея формирования Волго-Камского метрополиса, предусматривающая активизацию агломерационных процессов в трех городских зонах активности: Казанской и Камской городских агломерациях, а также в формирующейся Альметьевской агломерации.

В настоящее время именно городские агломерации являются доминирующей формой расселения в мире, бурно развивающейся и концентрирующей в себе все бóльшие человеческие и экономические ресурсы. Городские агломерации становятся драйверами роста огромных территорий.

В «Стратегия – 2030» проведено экономическое зонирование (таблица) и выделены три экономические зоны: Казанская, Камская и Альметьевская.

Казанская агломерация – моноцентрическая постиндустриальная агломерация, включающая города Казань и Зеленодольск. В агломерационные процессы вовлечены населенные пункты Зеленодольского, Высокогорского, Пестречинского, Лаишевского, Верхнеуслонского муниципальных районов.

Камская агломерация – полицентрическая агломерация, формируемая четырьмя урбанизированными ядрами-городами: Набережные Челны, Нижнекамск, Елабуга и Менделеевск. В агломерационные процессы вовлечены населенные пункты Елабужского, Менделеевского, Тукаевского, Нижнекамского муниципальных районов.

Альметьевская агломерация – полицентрическая агломерация, формируемая тремя ядрами-городами: Альметьевском, Бугульмой и Лениногорском. В агломерационные процессы вовлечены населенные пункты одноименных муниципальных районов: Альметьевского, Бугульминского и Лениногорского.

Волго-Камский метрополис – название для формирующейся системы расселения, концентрирующей большую часть населения Татарстана. Волго-Камский метрополис – трехъядерный метрополис сетевого типа, базирующийся на развитии трех «умных» агломераций: Казанской, Камской и Альметьевской.

Экономические зоны Республики Татарстан в «Стратегии – 2030»

Казанская экономическая зона			
Казанская городская агломерация	Пояса Казанской экономической зоны		
	Предкамская экономическая подзона	Закамская экономическая подзона	Предволжская экономическая подзона
г. Казань	Арский район	Алексеевский район	Апастовский район
Зеленодольский район	Рыбно-Слободской	Чистопольский район	Камско-Устинский район
Высокогорский район	Тюлячинский район	Спасский район	Буинский район
Пестречинский район	Сабинский район	Алькеевский район	Кайбицкий район
Лаишевский район	Кукморский район		Тетюшский район
Верхнеуслонский район	Балтасинский район		Дрожжановский район
	Мамадышский район		
	Атнинский район		

Камская экономическая зона	
Камская городская агломерация	Пояс Камской экономической зоны
г. Набережные Челны	Агрызский район
Нижнекамский район	Актанышский район
Елабужский район	Муслюмовский район
Тукаевский район	Мензелинский район
Менделеевский район	Заинский район

. Альметьевская экономическая зона	
Альметьевская городская агломерация	Пояса Альметьевской экономической зоны
Альметьевский район	Азнакаевский район
Бугульминский район	Аксубаевский район
Лениногорский район	Бавлинский район
	Новошешминский район
	Нурлатский район
	Сармановский район
	Черемшанский район
	Ютазинский район

В «Стратегии – 2030» целевое состояние агломерационного развития сформулировано следующим образом:

1) сформирован трехъядерный Волго-Камский метрополис сетевого типа, объединяющий три агломерации (Казанскую, Камскую и Альметьевскую), развивающиеся на основе интеллектуальных и экологически чистых технологий и решений;

2) в Республике Татарстан высокая синергия всех внутренних, межагломерационных, межрегиональных транспортных направлений, а также международных транспортных коридоров: сформирован устойчивый скоростной транспортный каркас полюса роста «Волга – Кама».

Данная парадигма развития агломераций в Республике Татарстан подкреплена, в первую очередь, нарастающими процессами логистической и экономической связности.

В 2017–2018 гг. Министерство транспорта и дорожного хозяйства Республики Татарстан принимало участие в реализации федерального приоритетного проекта «Безопасные и качественные дороги» в части развития инфраструктуры Казанской и Набережночелнинской городских агломераций. В 2019 году принимает участие в реализации регионального проекта в рамках национального проекта «Безопасные и качественные автомобильные дороги». В приоритетном проекте участвуют магистральные улицы городов, федеральные и так называемые вылетные региональные дороги, проходящие по территории агломераций. Общая протяженность сети дорог, участвующих в программе, составляет 2 372,7 км, в том числе по Казанской агломерации – 1 674,8 км, по Набережночелнинской – 697,9 км. На развитие дорожной инфрастурктуры Казанской городской агломерации было выделено:

• в 2017 г. – 2 400 млн руб. (по 1 200 млн руб. из федерального и республиканского бюджетов, соответственно);

• в 2018 г. – 1 600 млн руб. (по 800 млн руб. из федерального бюджета и республиканского бюджетов, соответственно).

В 2019 г. предусмотрено 2 000 млн руб. (по 1 000 млн руб. из федерального бюджета и республиканского бюджетов, соответственно).

На развитие дорожной инфраструктуры Набережночелнинской городской агломерации было выделено:

• в 2017 г. выделено – 1 250 млн руб. (по 625 млн руб. из федерального бюджета и республиканского бюджетов, соответственно);

• в 2018 г. – 1 460,0 млн руб. (по 730 млн руб. из федерального бюджета и республиканского бюджетов, соответственно).

В 2019 г. предусмотрен 1 360 млн руб. (по 680 млн руб. из федерального бюджета и республиканского бюджетов, соответственно).

На развитие дорожной инфрастурктуры Нижнекамского муниципального района в 2019 г. предусмотрено 480 млн руб.: из федерального бюджета – 432 млн руб., из республиканского – 48 млн руб.

Кроме того, разработка документов территориального планирования муниципальных образований в Республике Татарстан осуществляется с учетом положений Схемы территориального планирования Республики Татарстан, утвержденной Постановлением Кабинета Министров Республики Татарстан от 21 февраля 2011 г. № 134, что позволяет обеспечить комплексный подход к решению вопросов территориального планирования.

В соответствии с п. 4 ст.21 Градостроительного кодекса Российской Федерации проекты схем территориального планирования муниципальных районов (проекты внесения изменений в схемы территориального планирования) проходят согласование с заинтересованными органами местного самоуправления муниципальных образований, имеющих общую границу с муниципальным районом.

Реализацией проекта по процессу формирования агломераций можно считать подписанные в октябре-ноябре 2018 г. Главами входящих в Казанскую и Альметьевскую агломерации муниципалитетов соглашения о сотрудничестве между муниципалитетами.

Соглашения являются важным этапом реализации агломерационного развития, намеченного в «Стратегии – 2030», нормативной основой для реализации муниципалитетами совместных проектов.

В Стратегии социально-экономического развития Республики Татарстан до 2030 г. большое внимание уделяется обеспечению межмуниципального взаимодействия.

Таким образом, в ней предусмотрены:

• агломерационный подход, согласно которому в Татарстане выделены три агломерации – Казанская, Камская и Альметьевская;

• налаживание системы межмуниципального сотрудничества, разработка и реализация стратегий муниципальных образований с опорой на саморазвитие.

В 2016 г. по поручению Рустама Минниханова была проведена централизованная работа по разработке и утверждению 45 муниципальных стратегий, каждая из которых была согласована с близлежащими муниципалитетами республики.

С опорой на проведенную работу Министерством экономики были подготовлены методические рекомендации по разработке соглашений о сотрудничестве между муниципальными образованиями Республики Татарстан, входящими в одну агломерацию. Это значит, что районы будут создавать совместные проекты в разных сферах деятельности, еще более тесно сотрудничать. Появятся новые возможности для привлечения инвестиций, развития малого и среднего бизнеса, социальной сферы. Благодаря всему этому качество жизни людей на территории Казанской и Альметьевской агломераций станет равномерно высоким.

Источники

1. Лаппо Г.М. Городские агломерации СССР – России: особенности динамики в XX веке. Удобное пространство для города // Российское экспертное обозрение. 2007. № 4-5(22). 80 с.

2. Лаппо, Г.М. Городские агломерации СССР – России: особенности динамики в XX в. С. 6–9.

3. Лаппо. Г.М. География городов. М.: Гуманит. ИЦ «ВЛАДОС», 1997. 478 с.

УДК 378

ОСОБЕННОСТИ И ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ СОВРЕМЕННОГО ИНЖЕНЕРНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

Ольга Александровна Пырнова[1], Римма Солтановна Зарипова[2]

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

[1,2]zarim@rambler.ru

Статья посвящена изменениям в обучении студентов технических специальностей с учетом современных тенденций.

Ключевые слова: инженерное образование, образование технических специалистов, современное образование.

FEATURES AND TRENDS OF DEVELOPMENT OF MODERN ENGINEERING EDUCATION

Olga Alexandrovna Pyrnova, Rimma Soltanovna Zaripova

The article is devoted to changes in the training of students of technical specialties, taking into account current trends.

Key words: engineering education, education of technical specialists, modern education.

Современное образование технических специалистов должно быть направлено на подготовку таких кадров, навыки и квалификация которых отвечают нынешним требованиям и потребностям предприятий. Навыки, компетенции, знания таких специалистов во многом определяют надёжность и эффективность производственного процесса, внедрение новейших технологий, качество производимого продукта.

В настоящее время промышленные предприятия находятся в стадии модернизации производственных процессов, и в первую очередь переосмысления подходов к новым технологиям в соответствии с современными требованиями. Требование эффективности производства, выпуск высококонкурентной продукции, возможность использования современных технологических процессов и оборудования в производстве – все это обуславливает необходимость изменения подходов к процессу производства. В связи с этим актуальной становится задача внедрения в процесс обучения и эффективного применения существующих программных комплексов трехмерного цифрового моделирования, их интеграция с современными средами проектирования, автоматизированными системами управления производством и технологическими процессами [1].

Появились эффективные и надёжные пакеты прикладных программ для различных областей применения. Свойства этих пакетов прикладных программ дают возможность проходить обучение на моделях, выполняя эксперимент на компьютерах, изменяя разные параметры в процессе эксперимента и изменяя тем самым значения искомых параметров. Такое моделирование можно использовать и при изучении теории, и в учебной лаборатории, заменяя реальный эксперимент компьютерным моделированием [2].

Моделирование технологического процесса с использованием таких программ делают контроль и управление технологическим процессом более наглядными, что в свою очередь способствует улучшению понимания физики протекающих процессов [3]. Систему можно настроить таким образом, что доступ к настройкам и элементам управления технологическим процессом будет доступен только преподавателю (администратору), а студенты (обычные пользователи) будут только наблюдать за работой модели без возможности вмешательства либо влиять на работу модели только в заданных пределах. Сбор измеренных значений осуществляется вычислительным комплексом. В состав вычислительного комплекса входит персональный компьютер и специализированное программное обеспечение [4]. Использование студентами этих пакетов прикладных программ

показало удобство и эффективность их применения в учебном процессе. Студенты с удовольствием осваивают пакеты прикладных программ и пользуются ими и в лабораториях, и при выполнении курсовых и дипломных работ. Всё это в совокупности делает процесс обучения более активным и позволяет достигать более глубоких результатов [5].

Одним из перспективных способов подготовки технических специалистов является практико-ориентированное обучение. В результате такого обучения студент получает навыки эксплуатации промышленного оборудования и применения новых технологий, что уменьшает время адаптации выпускников к практической деятельности после окончания высшего учебного заведения. Вузы не всегда могут приобрести дорогостоящее современное промышленное оборудование и проводить его регулярное обновление, а также ремонт. Поэтому в данном случае возможен только один выход – это взаимовыгодное сотрудничество с промышленными компаниями, которые могут предоставить свою материально-техническую базу для обучения студентов или прохождения ими производственной практики.

Источники

1. Салтанаева Е.А., Эшелиоглу Р.И. Использование новых информационных технологий в образовании // NovaUm.Ru. 2018. № 12. С. 224–226.

2. Пырнова О.А., Зарипова Р.С. Применение информационных технологий в образовательном процессе // Современные научные исследования и разработки. 2018. № 2(19). С. 267–269.

3. Зарипова Р.С. Глобальные тренды современного образования // NovaUm.Ru. 2018. № 13. С. 232–234.

4. Салтанаева Е.А., Эшелиоглу Р.И. Современная структура электронно-информационной среды // NovaUm.Ru. 2018. № 12. С. 11–12.

5. Зарипова Р.С., Миронов С.П. Современные тенденции информатизации образования // NovaUm.Ru. 2018. № 12. С. 18–19.

6. Ишмуратов Р.А., Зарипова Р.С. Роль и место программных приложений в процессе обучения студентов // Состояние и перспективы развития ИТ-образования: сб. докл. и науч. ст. Всерос. науч.-практ. конф. Чебоксары, 2018. С. 320–323.

7. Куценко С.М., Косулин В.В. Электронные образовательные ресурсы как инструмент обучения // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2017. № 4(36). С. 127–134.

8. Шакиров А.А., Зарипова Р.С. Использование пакетов прикладных программ в образовательном процессе // Современные научные исследования и разработки. № 3(20). 2018. С. 627–629.

УДК 303.06

БАЗЫ ДАННЫХ В РАМКАХ ВСЕОБЩЕЙ ИНФОРМАТИЗАЦИИ НА ПРИМЕРЕ АВТОМАТИЗАЦИИ УЧЕБНЫХ ПРОЦЕССОВ

Юлия Сергеевна Соколова[1], Елена Андреевна Салтанаева[2],

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

[1,2]elena_maister@mail.ru

В работе рассмотрена ситуация всеобщей информатизации и, как следствие, появление новых требований к сбору, хранению и управлению большим объемом постоянно меняющейся информации в образовательных учреждениях. Описан вариант реализации соответствующего программного комплекса с помощью баз данных.

Ключевые слова: базы данных, образовательное учреждение, MySQL, распределенные вычисления.

DATABASES UNDER UNIVERSAL INFORMATIZATION ON THE EXAMPLE OF AUTOMATION OF EDUCATIONAL PROCESSES

Julia Sergeevna Sokolova, Elena Andreevna Saltanaeva

The paper considers the situation of general informatization and, as a result, the emergence of new requirements for the collection, storage and management of a large amount of constantly changing information in educational institutions. An embodiment of the implementation of the corresponding software package using databases is described.

Key words: databases, educational institution, MySQL, distributed computing.

В настоящее время информатизация наблюдается абсолютно во всех областях деятельности человечества и является одним из приоритетных направлений развития России. В образовательной среде давно существует необходимость добавления, хранения и обновления данных работников и учащихся. Этому сопутствует ряд проблем при редактировании и хранении собранных данных. Обрабатываемые и хранимые данные постоянно меняются, что также в свою очередь добавляет сложности при их упорядочивании и систематизации. Хранение всего объема информации на внешних носителях давно неприемлемо по причинам ограниченных объемов памяти, причем с тенденцией постоянного устаревания и необходимости их замены. Возможность хранить и анализировать данные обеспечивает как минимум полноценное бесперебойное функционирование любой

организации, а как максимум – выводит ее на эффективный конкурентоспособный уровень [1]. Поэтому в любых образовательных учреждениях оправдано использование системы управления базами данных для автоматизации учебного процесса [2].

Для полноценной реализации учебного процесса необходимо собирать и учитывать следующие данные:

• списки сотрудников и учащихся с дополнительной информацией о них;

• распределение по классам (группам);

• учебные планы и образовательные программы учреждения;

• оценочные ведомости учащихся (для промежуточной и итоговой аттестации);

• материалы, используемые для обучения;

Сегодня с помощью современной компьютерной техники и набора программных средств по эффективному управлению информацией можно создать не только эффективную систему хранения информации, но и качественную учебную базу, что с успехом реализуется вузами в виде электронной информационно-образовательной среды [3, 4].

Для реализации перечисленных задач актуально и целесообразно разрабатывать комплексное программное решение. В частности, для среднего общеобразовательного учреждения для хранения и обработки данных можно использовать СУБД MySQL, поскольку главным его достоинством можно признать простоту и скорость выполнения запросов [5]. Для организации наиболее дружественного и эффективного интерфейса пользователя удобно использовать язык C# в среде программирования Microsoft Visual Studio. Одним из вариантов реализации доступа к базе данных может быть использование объектно-реляционного модуля Entity Framework для работы с базами данных с помощью объектов на языке C#.

Но при разработке программного комплекса надежность, быстродействие и корректность его реализации зависят от выбранной парадигмы программирования (объектно-ориентированное, процедурно-ориентированное) [5]. Со временем появляется все больше данных и их типов. Встает вопрос об обработке больших массивов данных, и тенденции в использовании систем машинного обучения ведут к тому, что следует ожидать распространения нереляционных баз данных и распределенных вычислений, при которых будет использоваться процедурное программирование для описания логики, а объектно-ориентированное – для создания взаимодействующих структур [7].

Источники

1. Галямов Р.Р., Зарипова Р.С. Применение программных средств для моделирования и анализа систем автоматического управления // Инновации в современной науке: матер. Междунар. науч.-практ. конф. 2017. С. 68–71.

2. Голицина, О.Л., Максимов Н.В., Попов И.И. Базы данных: учеб. пособие. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Форум, 2012. 400 с.

3. Салтанаева Е.А., Эшелиоглу Р.И. Использование новых информационных технологий в образовании // NovaUm.Ru. 2018. № 12. С. 224–226.

4. Салтанаева Е.А., Эшелиоглу Р.И. Современная структура электронно-информационной среды // NovaUm.Ru. 2018. № 12. С. 11–12.

5. Никсон Р. Создаем динамические веб-сайты с помощью PHP, MySQL, JavaScript, CSS и HTML5. 4-е изд. СПб.: Питер, 2016. 768 с.

6. Кузнецов С.Д. Основы баз данных: учеб. пособие. 2-е изд., испр. М.: Интернет-Университет Информационных Технологий; БИНОМ. Лаборатория знаний. 2007. 484 с.

7. Методы и абстракции языков программирования в задачах работы с базами данных / Р.А. Абдулатипов [и др.] // Современные научные исследования и разработки. 2018. № 9(26). С. 36–41.

УДК 378

ОБУЧЕНИЕ БУДУЩИХ ИНЖЕНЕРОВ РОБОТОТЕХНИКЕ – ВЛОЖЕНИЕ В КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТЬ СТРАНЫ

Адель Марселевич Хайруллин[1], Римма Солтановна Зарипова[2]

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

[1,2]zarim@rambler.ru

Данная статья посвящена вопросу необходимости обучения будущих инженеров робототехнике, так как человечество во всем мире давно активно использует роботов в различных областях жизнедеятельности, и перспектива развития робототехники не имеет границ.

Ключевые слова: робототехника, роботы, инженерное образование, интеллектуальное развитие, роботизация.

TRAINING OF FUTURE ROBOTICS ENGINEERS – INVESTING IN COUNTRY COMPETITIVENESS

Adel Marselevich Khairullin, Rimma Soltanovna Zaripova

This article is devoted to the need to train future engineers in robotics, since humanity throughout the world has long been actively using robots in various areas of life, and the future development of robotics has no boundaries.

Key words: robotics, robots, engineering education, intellectual development, robotization.

Сегодня без информационных технологий (IT-технологий) трудно представить наше существование. Они глубоко проникли в нашу жизнь. На данный момент IT-технологии играют важнейшую роль в решении многих социально-экономических проблем. Но развитие IT-отрасли связано со множеством трудностей, которые, конечно же, отражаются на уровне развития России. Эти проблемы требуют анализа и решений, так как информационные технологии являются основой современного общества.

На сегодняшний день роботы глубоко проникли в нашу жизнь. Без них трудно представить наше существование. С каждым годом робототехника всё больше развивается и совершенствуется. Робототехника сейчас переходит на новый уровень динамического развития. Мировой опыт показывает, что робототехника всё плотнее внедряется в разные сферы человеческой деятельности [1]. Проблема управления роботами является очень сложной. В этой области достигнуты впечатляющие результаты. Программное обеспечение для систем управления роботами является уникальным и ориентированным на конкретную систему. Работы, связанные с применением робототехники, зачастую проводят в экстремальных и опасных условиях [2]. Специфика этих работ связана с априорной неопределенностью обстановки, отсутствием или нехваткой информации, угрозой для жизни человека, финансовыми потерями и многими другими факторами. Таким образом, эти факторы требуют развития средств и методов управления роботами, которые позволяют обеспечить возможность автономного выполнения определенных функций на основе технологии искусственного интеллекта.

Робототехника – это научная и техническая база для проектирования, производства и применения роботов. Она позволяет использовать на практике теоретические знания по таким предметам как математика, физика, информатика и т. п. [3] Несомненно, существование электронно-вычислительных машин в современном мире связано с гигантским скачком развития информационных технологий во второй половине XX века, что значительно ускорило и продвинуло разработку робототехнических систем. Целью данной работы является изучение способов управления и моделирования робототехнических систем, применяемых в различных сферах деятельности.

По областям применения робототехнику условно можно поделить на три области: промышленность, научная деятельность и область образования.

Промышленная технология моделирования роботизированных установок, например, высокотехнологичных протезов, экзоскелетов и прочих устройств, целью которых является помощь человеку, требует высокого качества, как в изготовлении, так и в последующей работе. Проектирование такого вида устройств довольно ресурсозатратно.

Интеллектуализация роботов, используемых в промышленности, в будущем будет производиться путём развития систем автоматизации программирования [4]. Применение мощных средств, с помощью которых осуществляется автоматизация процесса синтеза и верификации прикладных программ управления робототехникой, оказывается экономически выгоднее, чем установка дорогостоящих промышленных роботов с элементами искусственного интеллекта. Российские автомобильные заводы и пищевые комбинаты являются одними из немногих областей, где проявляется потребность в промышленных роботах [5]. Наблюдается рост спроса на роботов в отраслях, связанных с производством металла и оборудования.

В науке робототехника неразрывно связана с искусственным интеллектом и машинным обучением. Основным методом моделирования роботизированной системы является неоднократное повторение и запоминание определенных действий [6]. Компьютер, как и человек на ранних этапах развития, запоминает успешно выполненные шаги, улучшая с каждым разом их реализацию. На сегодняшний день, рынок потребительской робототехники в России оставляет желать лучшего. Разные производители делают разные, несовместимые между собой аппаратные средства. Устройства и технологии практически невозможно повторно использовать. Научная деятельность требует квалифицированных сотрудников [7].

В образовательной сфере моделирование роботов осуществляется с помощью таких базовых конструкторов, как Lego, Matrix, Tetrix, и применяется в школьных и студенческих олимпиадах. Начинающие IT-специалисты для написания алгоритмов выполнения задач роботами в основном используют язык программирования C++. Код, по которому робот выполняет указанные действия, содержит в себе несложные команды передвижения, анализа объектов вокруг и т. п. [8]

Образовательной робототехнике в России уделяется большое внимание [9]. Участники кружков по робототехнике и техническому творчеству создают проекты, контроллеры, конструкторы и преуспевают в международных олимпиадах. В университетах есть немало специализаций, связанных с робототехникой. Получив высшее образование, выпускники могут заняться строительной, военной, медицинской и другими деятельностями.

В целом сейчас робототехника в России значительно отстает от других стран. Это связано с ограниченностью внутреннего спроса и сложностью выхода на внешние рынки. Малый опыт разработок, слабые компетенции в маркетинге и промышленном дизайне не дают возможности выигрывать по качеству продукции и эффективности ее продвижения. Эти факторы сильно замедляют рост промышленной робототехники и организации массового производства во всех ее областях.

Развитие робототехники в России – одна из наиболее актуальных проблем для российского рынка труда. Спрос на специалистов-робототехников многократно превышает предложение. Гарантированное трудоустройство и высокая зарплата не оставляют равнодушной российскую молодежь. Но тем не менее вопрос нехватки кадров в этой области остается открытым. Необходима срочная подготовка высококвалифицированных специалистов-роботехников.

Несомненно, робототехника заслуживает государственной поддержки, ведь роботы уже стали неотъемлемой частью человеческой жизни, а в недалеком будущем, возможно, окончательно заменят физический труд.

Источники

1. Хайруллин А.М., Зарипова Р.С. Моделирование и программное обеспечение задач управления в робототехнике // Современные научные исследования и разработки. 2018. № 2(19). С. 326–327.

2. Зарипова Р.С., Галямов Р.Р. Инновационные аспекты подготовки технических специалистов // Аллея науки. 2017. Т. 1, № 15. С. 343–346.

3. Пырнова О.А., Зарипова Р.С. Применение робототехники в медицине // XX Всерос. студ. науч.-практ. конф. Нижневартовского гос. ун-та: сб. ст. Нижневартовск, 2018. С. 384–386.

4. Кривоногова А.Е., Зарипова Р.С. Проблемы и перспективы развития индустрии искусственного интеллекта // Аллея науки. 2018. Т. 3, № 1(17). С. 869–871.

5. Галямов Р.Р., Зарипова Р.С. Применение программных средств для моделирования и анализа систем автоматического управления // Инновации в современной науке: матер. Междунар. науч.-практ. конф. 2017. С. 68–71.

6. Мусаев Д.Д., Зарипова Р.С. Применение технологии автоматической идентификации данных // Современные научные исследования и разработки. 2018. № 2(19). С. 229–231.

7. Зарипова Р.С., Ходжаева С.У. Актуальные проблемы развития IT-отрасли в России // NovaUm.Ru. 2018. № 11. С. 34–35.

8. Пырнова О.А., Зарипова Р.С. Применение информационных технологий в образовательном процессе // Современные научные исследования и разработки. 2018. № 2(19). С. 267–269.

9. Зарипова Р.С. Глобальные тренды современного образования // NovaUm.Ru. 2018. № 13. С. 232–234.

УДК 330.101

МЕТОДИКА КЛАССИФИКАЦИИ И РАСЧЕТА ЭНЕРГОИЗДЕРЖЕК ФИРМЫ В СФЕРЕ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ

Ольга Сергеевна Чехонина[1], Раис Абрарович Бурганов[2]

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

[1]ol.chexonina@yandex.ru, [2]burganov-r@mail.ru

В статье рассматривается методика классификации и оптимизации энергоиздержек потребителя. На конкретном примере даны условный порядок расчета месячного потребления электроэнергии, классификация энергопотребителей, направления энергосбережения, методы по оптимизации энергоиздержек. По мнению автора, предприятия, которые будут игнорировать данные меры по оптимизации энергоиздержек, обречены на технологическое отставание и последующий финансовый крах.

Ключевые слова: энергоиздержки, потребление энергии, энергосбережение, оптимизация издержек.

CLASSIFICATION AND CALCULATION TECHNIQUE OF FIRM'S ENERGY MANAGERS IN THE ENERGY CONSUMPTION SPHERE

Olga Sergeevna Chekhonina, Rais Abrarovich Burganov

The article discusses the method of classification and optimization of consumer energy expenditures. On a concrete example, the conditional procedure for calculating the monthly consumption of electricity, the classification of energy consumers, the directions of energy saving, methods for optimizing energy costs are given. According to the author, companies that will ignore these measures to optimize energy costs are doomed to a technological lag and subsequent financial collapse.

Key words: energy costs, energy consumption, energy saving, cost optimization.

Состояние экономики любых государств и жизненный уровень населения во многом определяются наличием запасов топливно-энергетических ресурсов и их рационального использования. Как известно, Россия занимает 5-е место по потреблению энергоресурсов, а по эффективному использованию энергии – 18-е место. По данному критерию Россию обгоняют страны Европы, а также США и Канада. Нехватка энергии может стать существенным фактором сдерживания роста экономики страны. По некоторым данным, доля энергозатрат в структуре себестоимости промышленной

продукции составляет от 10 до 40 % [1]. Очень важным сейчас является умение правильно классифицировать и рассчитывать энергоиздержки на предприятиях с целью правильного обеспечения энергосбережения. Однако, большое значение имеет учет затрат, связанных с потреблением электроэнергии. Выделяют следующие виды электрозатрат: на подключение к энергосетям; затраты, связанные непосредственно с энергопотреблением и распределением энергии.

Для классификации и рассчета энергоиздержки потребления примера небольшое предприятие, занимающееся полимерной порошковой покраской.

Необходимое оборудование для порошковой покраски: линия порошковой покраски (печь полимеризации, камера напыления, транспортная система двухсторонняя подвесная); компрессор, который будет вырабатывать электроэнергию для пескоструйного пистолета.

На предприятии используется пиллетный котел фирмы «Слон». Один килограмм пеллет выдает около 5 кВт тепловой энергии. Несмотря на то что котел сам вырабатывает энергию, для его работы тоже необходимо электричество, так как котел снабжен автоматикой, которая необходима для циркуляционных насосов, обеспечивающих авторозжиг пеллет в котлах. Для освещения помещения используется 10 светодиодных ламп мощностью 70 Вт.

Для расчета потребления электроэнергии составим таблицу.

Месячное потребление электроэнергии

Электро-приемник	Мощность электроприемника, кВт	Количество, шт.	Среднесуточное время работы, час/сут.	Месячное потребление электроэнергии, кВт *
Оборудование				
Линия порошковой покраски	45	1	15	20 250
Компрессор	15	1	6	2 700
Отопление				
Пеллетный котел	10	1	24	7 200
Освещение				
Светодиодные лампы	0,07	10	15	315
				Итого: 30 465

Примечание. *Месячное потребление рассчитывается за 31 день.

Оптимизация энергоиздержек потребления на предприятии является одной из самых актуальных проблем. С целью оптимизации издержек можно классифицировать электропотребителей (ЭП) по ряду показателей.

1. По потреблению электроэнергии (электрические двигатели (электромашины), электротехнологические и электротермические установки, электроосвещение, устройства обработки информации и управления).

2. По роду тока все приемники электроэнергии, работающие от сети, подразделяются на три группы: переменного тока нормальной промышленной частоты 50 Гц (в ряде стран используют частоту 60 Гц), переменного тока повышенной или пониженной частоты, а так же постоянного тока. Большинство ЭП промышленных предприятий работает на переменном трехфазном токе частотой 50 Гц.

3. По числу фаз различают одно, двух и трехфазные ЭП. Все они подключаются к трехфазной сети с учетом соответствия номинального напряжения фазному и линейному напряжению сети. Для включения однофазных электоприемников требуется нейтральный (нулевой) провод.

4. По величине номинального напряжения общепромышленные ЭП изготавливают на следующие номинальные (линейные) напряжения: до 1 кВ – 36, 42, ПО, 220, 380, 500, 660 В; свыше 1 кВ – 3, 6, 10, 20 кВ. Согласно правилам устройства электроустановок электротехнические установки, производящие, преобразующие, распределяющие и потребляющие электроэнергию, подразделяются на электроустановки напряжением выше 1 кВ и электроустановки напряжением до 1 кВ (электроустановки постоянного тока – до 1,5 кВ). Такое разделение соответствует разным условиям для безопасности, проектирования и эксплуатации.

5. По способу установления номинальной мощности ЭП для электродвигателей номинальные (активные) мощности выражаются в киловаттах (кВт), причем в паспортных данных указывается механическая мощность на валу электродвигателя.

6. По режиму работы – для длительного режима работы, кратковременного и повторно кратковременного.

Необходимо по всем показателям электропотребления оптимизировать использование энергии.

Такая классификация позволит целенаправленно принять решение о возможностях снижения энергозатрат. Значительно сократить затраты на энергоносители и тем самым положительно влиять на технико-экономические показатели работы предприятия или производства помогут энергосберегающие мероприятия, которые необходимо проводить организациям. Это приводит к увеличению рентабельности и улучшению конкурентоспособности выпускаемой продукции за счет снижения себестоимости выпускаемой продукции или услуг.

Работу по снижению затрат на приобретение энергии можно проводить в двух направлениях:

1) экономия энергоресурсов;

2) увеличение эффективности производственного процесса.

Существует ряд эффективных способов для экономии электроэнергии:

• модернизация оборудования;

• применение энергосберегающих технологий;

• уменьшение потерь электроэнергии в электроприемниках и системах электроснабжения;

• регулирование режимов работы оборудования;

• улучшение качества электроэнергии.

Использование вышеописанных методов и способов значительно снижает расходную часть бюджета предприятия, касающуюся оплаты потребляемых ресурсов. Предприятия, которые будут игнорировать данные меры, обречены на технологическое отставание и последующий финансовый крах.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 17-02-00102- ОГН-А.

Источники

1. Энергосбережение // Промышленная экология. URL: http:// www.alfar.ru/ smart/2/637 (дата обращения: 14.09.18).

2. Бурганов Р.А. Взаимодействие экономики и электроэнергетической сферы: институциональное измерение: монография. М.: ИНФРА-М. 2017. 123 с.

3. Burganov R.A., Yudina N.A. To the question of creation of energy consumer firm theory // Journal of Entrepreneurship Education. 2018. Vol. 21, Is. 1. 5 p.

Секция 5. ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА И СВЕТОТЕХНИКА

УДК 628.9:621.382

ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ УСЛОВИЙ ОСВЕЩЕНИЯ СВЕТОДИОДАМИ ВТОРОГО ПОКОЛЕНИЯ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЗРИТЕЛЬНЫХ РАБОТ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ХАРАКТЕРА

Сергей Николаевич Агеев[1], Ольга Евгеньевна Железникова[2],
Светлана Евгеньевна Проничкина[3], Людмила Васильевна Синицына[4]

ФГБОУ ВО «МГУ им. Н.П. Огарева», г. Саранск

[1]phill-elnet@yandex.ru, [2]sarstf@mail.ru,
[3]spronichkina@mail.ru, [4]lvsinitsina@mail.ru

Статья посвящена лабораторным исследованиям условий освещения светодиодами второго поколения при выполнении зрительных работ в электроламповом производстве.

Ключевые слова: светодиоды, освещение, экспериментальные исследования, зрительная работоспособность, корректурная проба, субъективная оценка.

LABORATORY STUDIES OF THE CONDITIONS OF LIGHTING OF THE SECOND GENERATION LEDS WHEN PERFORMING THE VISUAL WORKS OF THE PRODUCTION CHARACTER

Sergey Nikolaevich Ageev, Olga Evgenievna Zheleznikova,
Svetlana Evgenievna Pronichkina, Lyudmila Vasilyevna Sinitsyna

The report is devoted to laboratory studies of the illumination conditions of second-generation LEDs when performing visual work in electric-tube production.

Key words: LEDs, lighting, experimental studies, visual performance, correction test, subjective assessment.

Нами была проведена серия экспериментальных исследований по оценке эффективности светодиодов (СД) второго поколения с улучшенным спектром излучения.

Для лабораторных исследований была создана экспериментальная осветительная установка в лаборатории № 316 института электроники светотехники МГУ им. Н.П. Огарева. Для участия в экспериментальных исследованиях была сформирована группа наблюдателей в количестве пяти человек из числа студентов в возрасте 20–30 лет с нормальным зрением. Для проведения исследований в качестве модели зрительной работы была выбрана работа с металлическими и пластмассовыми деталями, которая характерна для ряда технологических процессов в электроламповой промышленности.

В рамках настоящей статьи нами рассмотрена эффективность освещения СД по оценке зрительной работоспособности при выполнении корректурной пробы и по субъективной оценке условий освещения.

В ходе исследований установлен одинаковый качественный характер изменения производительности зрительной работы – в процессе полуторачасовой зрительной работы ее производительность снижается. Повышение уровня освещенности с 500 до 1000 лк не ведет к увеличению производительности зрительной работы. Оценка значимости полученных различий по производительности зрительной работы (по t-критерию Стьюдента) при двух уровнях освещенности показала, что она не существенна. Качество зрительной работы определялось по показателю «количество ошибок», допущенных при выполнении теста (расширенной корректурной пробы).

Установлено, что в процессе зрительной работы количество ошибок растет из-за развития зрительного утомления. Так при 500 лк качество работы снижается на 62,8 %, при 1000 лк – на 55,4 %. Что касается сопоставления показателей качества работы при разных уровнях освещенности, то достоверность этих различий не выявлена.

При комплексном подходе к исследованию влияния на человека освещения, создаваемого СД, необходимо также использование субъективных методов оценки условий освещения. Субъективная оценка помогает оценивать и обосновывать новые требования к качеству освещения. Нами оценивались такие показатели качества освещения, как достаточность освещенности, заметность пульсации освещенности, неравномерность распределения яркости в поле зрения. Анализ субъективной оценки условий освещения, создаваемых СД второго поколения, и результаты эксперимента [1], где условия освещения создавались СД первого поколения и люминесцентными лампами не выявили преимуществ ни одного из исследуемых источников освещения. То есть исследуемые условия освещения по субъективным оценкам практически равнозначны.

Результаты экспериментальных исследований могут быть в дальнейшем использованы для разработки практических рекомендаций по применению систем освещения на основе СД второго поколения.

Источники

1. Проничкина С.Е., Синицына Л.В., Макарова В.И. Об оценке эффективности освещения светодиодами производственных помещений // XXI науч.-практ. конф. молодых ученых, аспирантов и студентов ФГБОУ ВО «МГУ им. Н.П. Огарева»: матер. конф. Саранск, 2017. С. 91–96.

УДК 681.3:378.1

СОЗДАНИЕ ОТЛАДОЧНЫХ ПЛАТ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЯ МИКРОКОНТРОЛЛЕРНЫХ УСТРОЙСТВ

Ляля Вахитовна Ахметвалеева[1], Галимзян Завдатович Гаязов[2]

[1,2]КГЭУ, г. Казань

[1]alvkgeu@mail.ru

В работе представлены отладочные средства, применяемые при проектировании управляющих устройств на микроконтроллере. Разработанные отладочные платы являются модернизацией учебного оборудования Starter Kit по исследованию и проектированию устройств на универсальных микроконтроллерах MC68HC908GP32 и Atmega128.

Ключевые слова: микроконтроллер, проектирование микропроцессорных устройств, технологии отладки, Starter Kit, плата развития, отладочная плата, программные средства отладки, аппаратные средства отладки.

CREATING DEBUGGING BOARDS FOR DESIGNING AND RESEARCH OF MICROCONTROLLER DEVICES

Lyalya Vakhitovna Akhmetvaleeva, Galimzyan Zavdatovich Gayazov

The paper presents debugging tools used in the design of control devices on the microcontroller. The developed debugging boards are the modernization of the Starter Kit training equipment for research and design of devices on the MC68HC908GP32 and Atmega128 universal microcontrollers.

Key words: microcontroller, microprocessor device design, debugging technologies, Starter Kit, development board, debugging board, debugging software, debugging hardware.

Процесс проектирования микроконтроллерных устройств предполагает совместное проектирование и отладку как аппаратных, так и программных средств. Анализ режимов функционирования аппаратуры в разрабатываемых устройствах сводится к анализу и оценке состояния многоразрядных шин с целью проверки правильности их работы [1].

При проектировании и программировании систем управления на основе современных микроконтроллеров применяются различные технологии и средства отладки. Они различаются используемыми в процессе отладки аппаратными средствами. При наличии значительного задела практической работы с микроконтроллерами конкретного семейства используется технология отладки в системе, когда работоспособность разрабатываемого устройства проверяется на конечном аппаратном решении.

Популярен другой подход к процессу проектирования и отладки микроконтроллерных устройств – технология макетирования аппаратных средств. Эта технология особенно эффективна при освоении нового семейства микроконтроллеров. Преимущества ее заключаются в использовании отлаженных производителем плат, которые позволяют сразу приобретать новые знания и навыки, не сомневаясь в случае непонятных ситуаций в работоспособности аппаратуры. К ним относятся специальные платы, которые принято называть платами развития (*EVB*) или стартовым набором разработчика (*Starter Kit*) [2].

Starter Kit наглядно демонстрирует возможности функционирования и режимов работы исследуемого микроконтроллера и используется для проведения лабораторных практикумов по изучению микропроцессорной техники, практического освоения их программирования, средств и методов отладки микропроцессорных систем на базе однокристальных микроконтроллеров. Как показывает опыт, не все режимы работы и возможности данного микроконтроллера реализуются [3].

Наша разработка представляет собой модернизацию аппаратных и программных средств отладочного комплекса по проектированию управляющих устройств на микроконтроллерах *MC*68*HC*908*GP*32 семейства *Motorola* и *Atmega*128 семейства *Atmel*. Нами созданы платы схемных решений – отдельные отладочные платы, представляющие собой различные аппаратные решения, которые подключаются через внешний контактный разъем лабораторного стенда *Starter Kit*.

Например, плата отображения цифровой информации состоит из устройств светодиодной индикации, многоразрядного семисегментного индикатора и графического жидкокристаллического индикатора *MT*-12232*D*-2*FLW*. В состав решений, реализующих ввод-вывод информации, входит генератор тестовых воздействий, предназначенный для тестирования режимов работы встроенных периферийных модулей. Программное обеспечение представляет собой комплекс программ, отлаженных и оформленных в виде подпрограмм, реализующих ресурсы микроконтроллера.

Созданный отладочный комплекс является актуальным и востребованным при изучении особенностей архитектуры, режимов работы внутренних модулей данного микроконтроллера, основных приемов, методов и способов программирования на языке ассемблера. Он применим как для формирования начальных навыков проектирования и программирования микроконтроллерных устройств, так и при разработке и исследовании более сложных встраиваемых систем управления на основе стандартных отладочных аппаратных платформ [4].

Процедуры отладки, тестирования и диагностики микропроцессорных устройств являются, несомненно, важными этапами на пути выхода конечного изделия, поэтому проектирование и разработка прибора который бы обеспечил требуемую функциональность, является актуальной задачей.

Источники

1. Технологии и средства разработки встраиваемых систем на основе микроконтроллеров с архитектурой ARM / В. Бородин [и др.] // Chip News. 2009. № 1. С. 14–16.

2. Работа с микроконтроллерами семейства HC(S)08 / Х. Крейдл [и др.]; под ред. Д.И. Панфилова. М.: Изд-во МЭИ, 2005. 444 с.

3. Васильев А.В., Карпов А.П. Измерительно-тестирующий комплекс на основе лабораторного стенда для микроконтроллеров HC08 // Радиоэлектроника, электроника и энергетика: тез. докл. 18-й Междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов: в 4 т. М., 2012. Т. I. С. 231.

4. Ахметвалеева Л.В., Еникеева Г.Р., Кулагина Л.Г. Компьютерные технологии в формировании исследовательских навыков при подготовке специалистов электронной техники // Актуальные вопросы инженерного образования: содержание, технологии, качество: матер. VII межвуз. науч.-метод. конф., посвящ. 70-летию Ю.Г. Назмеева: в 3 т. Казань, 2016. Т. 2.

УДК 621.382.2:621.32

ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДИММИРУЕМЫХ СВЕТОДИОДНЫХ ЛАМП

Александр Александрович Бабаев[1], Артем Александрович Атишев[2],
Виктор Васильевич Немов[3], Юлия Алексеевна Пильщикова[4]

МГУ им. Н.П. Огарёва, г. Саранск

[1]aleksandr.babaev@mail.ru, [2]Aart555@mail.ru, [3]lnt.nemow@yandex.ru, [4]ulypil@mail.ru

Описаны результаты исследований спектральных характеристик диммируемых светодиодных люминесцентных ламп.

Ключевые слова: светодиод, источник излучения, световой поток, эффективность, диммирование, световой поток.

STUDY OF THE SPECTRAL CHARACTERISTICS OF DIMMED LED LAMPS

Alexander Alexandrovich Babaev, Artem Aleksandrovich Atishev,
Viktor Vasilyevich Nemov, Yuliya Alekseevna Pilshchikova

The results of studies of the spectral characteristics of dimmable LED fluorescent lamps are described.

Key words: LED, radiation source, luminous flux, efficiency, dimming, luminous flux.

В центре коллективного пользования «Светотехническая метрология» были проведены исследования спектрального распределения излучения диммируемых ламп General GLDE-A60D-11-230-E27-4500 (образец № 1) и LED-C37-6W/NW/E27/FR/DIMALP01WH компании Uniel (образец № 2) с помощью спектрорадиометра. Результаты, представленые на рис. 1 и 2, показали различие в спектральном составе излучения ламп. Для обоих спектров характерно наличие двух максимумов. Так, максимум в синей области спектра вызван свечением кристалла, а в желто-оранжевой – свечением люминофора. Однако для лампы № 1 максимум, лежащий в синей области, выше максимума, лежащего в желто-оранжевой области спектра. Для лампы № 2 наблюдается обратная картина: максимум в желто-оранжевой области спектра выше, чем максимум в синей области спектра. Также для лампы № 2 более выражено наличие двух максимумов в спектре свечения люминофора. При этом максимумы спектра излучения люминофора также отличаются.

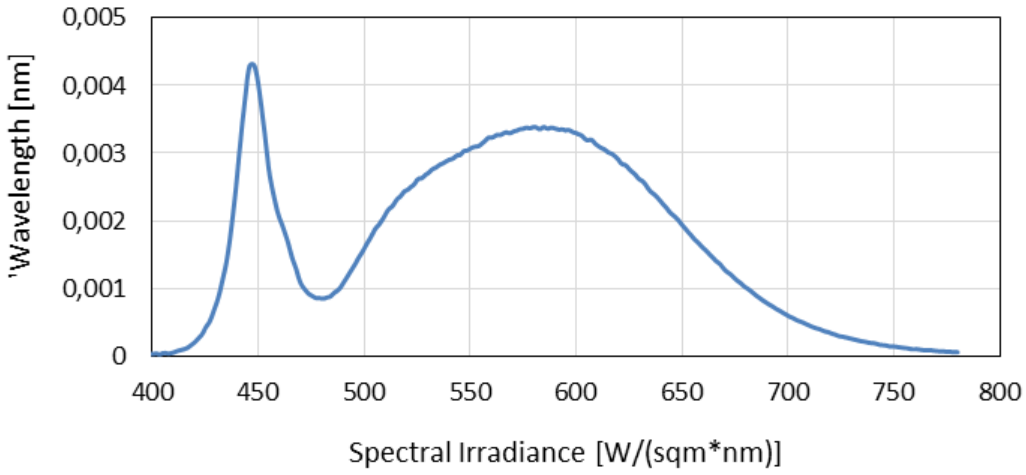


Рис. 1. Спектральное распределение излучения лампы № 1

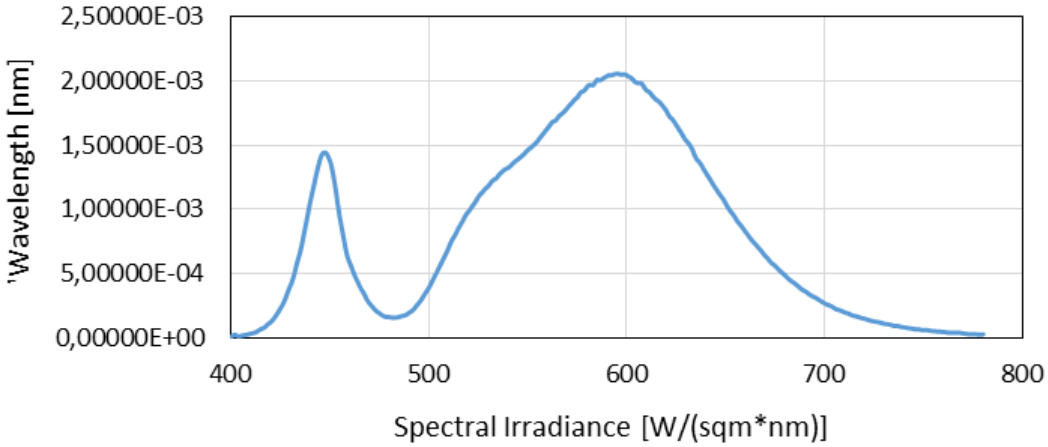


Рис. 2. Спектральное распределение излучения лампы № 2

Доминантная длина волны спектра излучения для обоих ламп находится примерно в одной области 580 нм, при этом максимум спектра, как уже было обозначено выше, лежит в разных областях: для лампы № 1 – в синей области спектра (447 нм), для лампы № 2 – в желто-оранжевой области (595 нм). Индекс передачи также отличается незначительно, однако если принимать границу между хорошей и отличной цветопередачей на уровне 80, в этом случае лампа № 1 будет относится к более высокому классу по цветопередаче.

Источники

1. Диммируемые светодиодные лампы: советы по выбору, обзор лучших производителей // Совет инженера: интернет-энциклопедия о обустройстве сетей инженерно-технического обеспечения. URL http://sovet-ingenera.com/elektrika/rozetk-vykl/dimmiruemye-svetodiodnye-lampy.html (дата обращения: 11.08.18).

УДК 621.382.2:621.32

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДИММИРУЕМЫХ СВЕТОДИОДНЫХ ЛАМП

Александр Александрович Бабаев[1], Артем Александрович Атишев[2], Виктор Васильевич Немов[3], Юлия Алексеевна Пильщикова[4]

МГУ им. Н.П. Огарёва, г. Саранск

[1]aleksandr.babaev@mail.ru, [2]Aart555@mail.ru, [3]lnt.nemow@yandex.ru, [4]ulypil@mail.ru

В статье описаны результаты исследований характеристик диммируемых светодиодных люминесцентных ламп.

Ключевые слова: светодиод, источник излучения, эффективность, диммирование, световой поток.

STUDY OF PARAMETERS OF DIMMABLE LED LAMPS

Alexander Alexandrovich Babaev, Artem Aleksandrovich Atishev, Victor Vasilievich Nemov, Yuliya Alekseevna Pilshchikova

The article describes the results of studies of the characteristics of dimmable LED fluorescent lamps.

Key words: LED, radiation source, efficiency, dimming, luminous flux.

Диммер – это небольшой по размеру прибор, предназначенный для плавной регулировки яркости свечения одной или нескольких ламп. Чаще всего он представляет собой ручку-регулятор, вращая которую можно изменять уровень освещенности. Процесс регулировки называют

диммированием. Для правильного выбора диммируемых светодиодных ламп, необходимо знать их реальные характеристики, поскольку они могут отличатся от заявленных, при этом характеристик, влияющих на эксплуатацию ламп данного типа, очень много. Диммируемая LED лампа – это устройство, оснащенное блоком с возможностями широтно-импульсной модуляции [1, 2].

В качестве исследуемых диммируемых ламп были выбраны: лампа General GLDE-A60D-11-230-E27-4500 (6274) и LED-C37-6W/NW/E27/FR/DIMALP01WH компании Uniel.

Технические характеристики лампы General GLDE-A60D-11-230-E27-4500 (образец № 1) представлены в табл. 1. Технические характеристики лампы LED-C37-6W/NW/E27/FR/DIM ALP01WH (образец № 2) – в табл. 2.

Таблица 1

Технические характеристики лампы General GLDE-A60D-11-230-E27-4500

Характеристики	Значение
Тип цоколя	E27
Цветовая температура, К	3000
Потребление, ω	11
Световой поток, лм	870
Диаметр, мм	60
Высота, мм	120
Напряжение, В	220
Диммируется	да

Таблица 2

Технические характеристики лампы LED-C37-6W/NW/E27/FR/DIM ALP01WH

Характеристики	Значение	Характеристики	Значение
Индекс цветопередачи, Ra	≥ 80	Светоотдача, Лм/Вт	≥ 95
Мощность, Вт	6	Срок службы, ч	30 000
Напряжение, В	40–50	Угол светового потока, °	240
Размер лампы (D×L), мм	37×106	Цветовая температура, К	4500
Световой поток, лм	560	Тип цоколя	E27
		Эквивалентная мощность лампы накаливания, Вт	60

Для оценки пространственного распределения излучения светодиодных ламп проводились измерения на гониофотометре GO-2000A, областью применения которого является измерение распределения интенсивности свечения и общего светового потока осветительных приборов всех типов, в табл. 3 приведены характеристики точности измерений.

Таблица 3

Характеристики точности измерений

Условия измерений	Температура: 18 ~ 28 ℃	
	Влажность: относительная влажность 30~75 %	
	Волна на входе: стабильная синусоидальная волна	
	Диапазон на входе: 10~100 % постоянного диапазона	
	Синфазное напряжение: 0 V	
	PF: COSФ=1	
	Коэффициент амплитуды: CF=3	
Наименование	Напряжение (В)/Ток (А)	Фактическая мощность, Вт
Постоянный ток	±(0,1 % показания + + 0,1 % диапазона +1 разряд)	±(0,1 % показания + 0,2 % диапазона + 1 разряд)
10 Гц ≤ К45 Гц	±(0,1 % показания + + 0,2 % диапазона +1 разряд)	±(0,3 % показания + 0,2 % диапазона + 1 разряд)
45 Гц ≤ f ≤ 65 Гц	±(0,05 % показания + + 0,1 % диапазона +1 разряд)	±(0,05% показания + + 0,1% диапазона)
65 Гц ≤ f ≤ 1 кГц	±(0,1 % показания + + 0,2 % диапазона + 1 разряд)	±(0,2 % показания + 0,2 % диапазона + 1 разряд)
1 кГц < f ≤ 10 кГц	±(0,07×f % показания + 0,3 %)	±(0,1 % показания + + 0,3 % диапазона)
10 кГц < f ≤ 100 кГц	±(0,5 % показания + + 0,5 % диапазона) + + [0,04×(f – 10) % показания) + + 1 разряд]	±(0,5 % показания + + 0,5 % диапазона) + + [0,09×(f – 10) % показания) + + 1 разряд]

Результаты измерений диммируемых ламп и лампы накаливания приведены в табл. 4–6 и графически представлены и на рис. 1–3.

Таблица 4

Результаты измерения характеристик диммируемой светодиодной лампы (образец № 1)

DATA OF LAMP		PHOTOMETRIC DATA Eff: 91.48 lm/W			
MODEL		Imax(cd)	108.3	S/MH(C0/180)	1.50
NOMINAL POWER(W)	10	LOR(%)	106.6	S/MH(C90/270)	1.50
RATED VOLTAGE(V)	220	TOTAL FLUX(lm)	934.12	η UP,DN(C0-180)	19.4,34.0
NOMINAL FLUX(lm)	876.195	CIE CLASS	SEMI-D.	η UP,DN(C180-360)	19.2,34.1
LAMPS INSIDE	1	η up(%)	38.5	CIBSE SHR NOM	1.75
TEST VOLTAGE(V)	220.0	η down(%)	68.1	CIBSE SHR MAX	1.75

Таблица 5

Результаты измерения характеристик диммируемой светодиодной лампы (образец № 2)

DATA OF LAMP		PHOTOMETRIC DATA Eff: 99.92 lm/W			
MODEL		Imax(cd)	90.65	S/MH(C0/180)	1.92
NOMINAL POWER(W)	5	LOR(%)	54.3	S/MH(C90/270)	1.92
RATED VOLTAGE(V)	220	TOTAL FLUX(lm)	507.61	η UP,DN(C0-180)	4.6,22.4
NOMINAL FLUX(lm)	934.119	CIE CLASS	SEMI-D.	η UP,DN(C180-360)	4.7,22.5
LAMPS INSIDE	1	η up(%)	9.4	CIBSE SHR NOM	2.00
TEST VOLTAGE(V)	220.0	η down(%)	45.0	CIBSE SHR MAX	0.00

Таблица 6

Результаты измерения характеристик диммируемой светодиодной лампы

DATA OF LAMP		PHOTOMETRIC DATA Eff: 11.43 lm/W			
MODEL		Imax(cd)	92.27	S/MH(C0/180)	1.58
NOMINAL POWER(W)	58	LOR(%)	129.7	S/MH(C90/270)	1.61
RATED VOLTAGE(V)	220	TOTAL FLUX(lm)	658.34	η UP,DN(C0-180)	31.3,33.6
NOMINAL FLUX(lm)	507.614	CIE CLASS	DIFFUSE	η UP,DN(C180-360)	29.6,35.2
LAMPS INSIDE	1	η up(%)	60.9	CIBSE SHR NOM	1.75
TEST VOLTAGE(V)	219.6	η down(%)	68.8	CIBSE SHR MAX	1.75

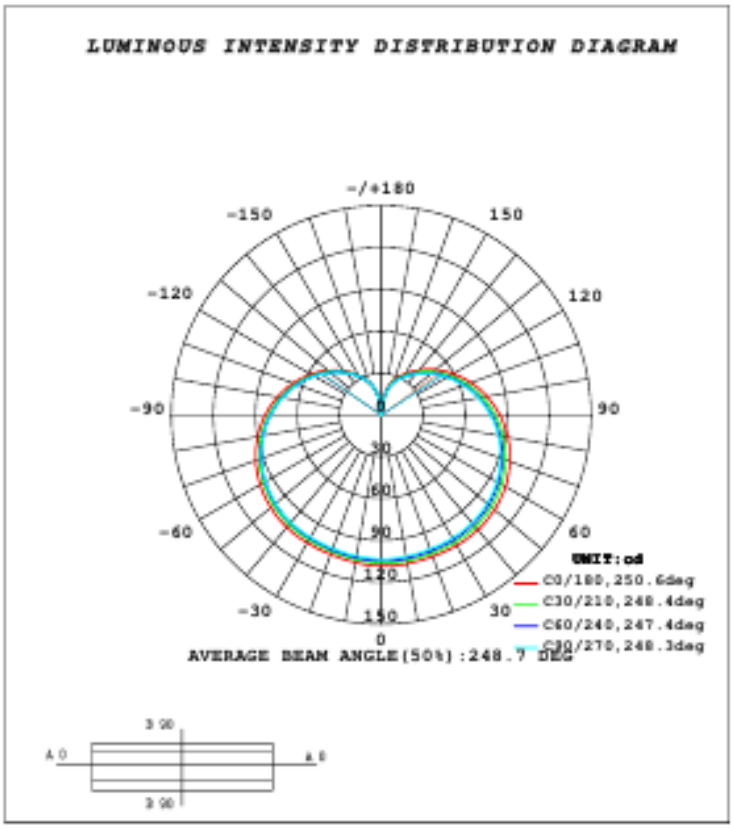


Рис. 1. Результаты измерения светораспределения диммируемой светодиодной лампы (образец № 1)

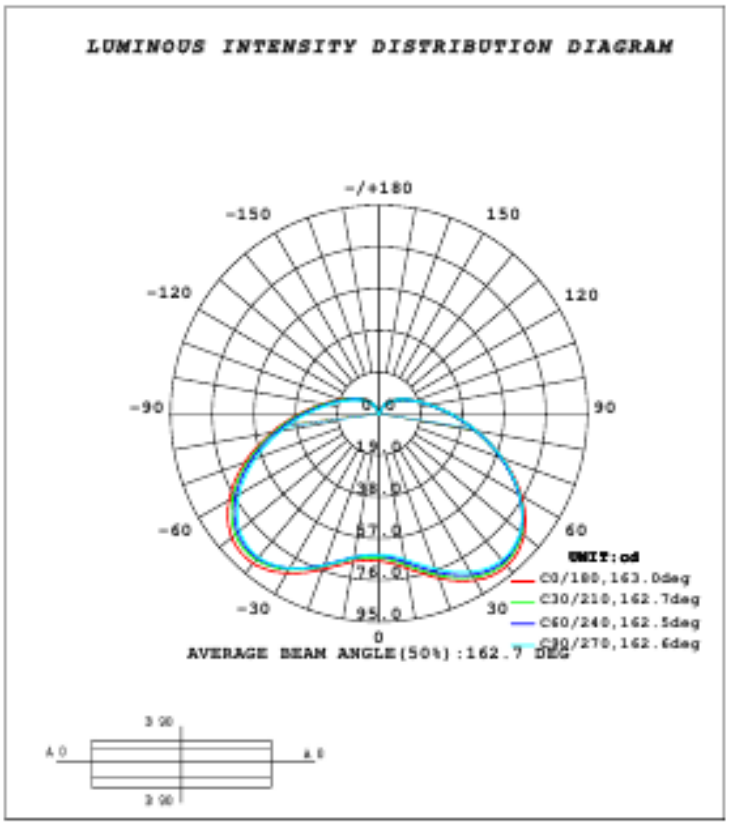


Рис. 2. Результаты измерения светораспределения диммируемой светодиодной лампы (образец № 2)

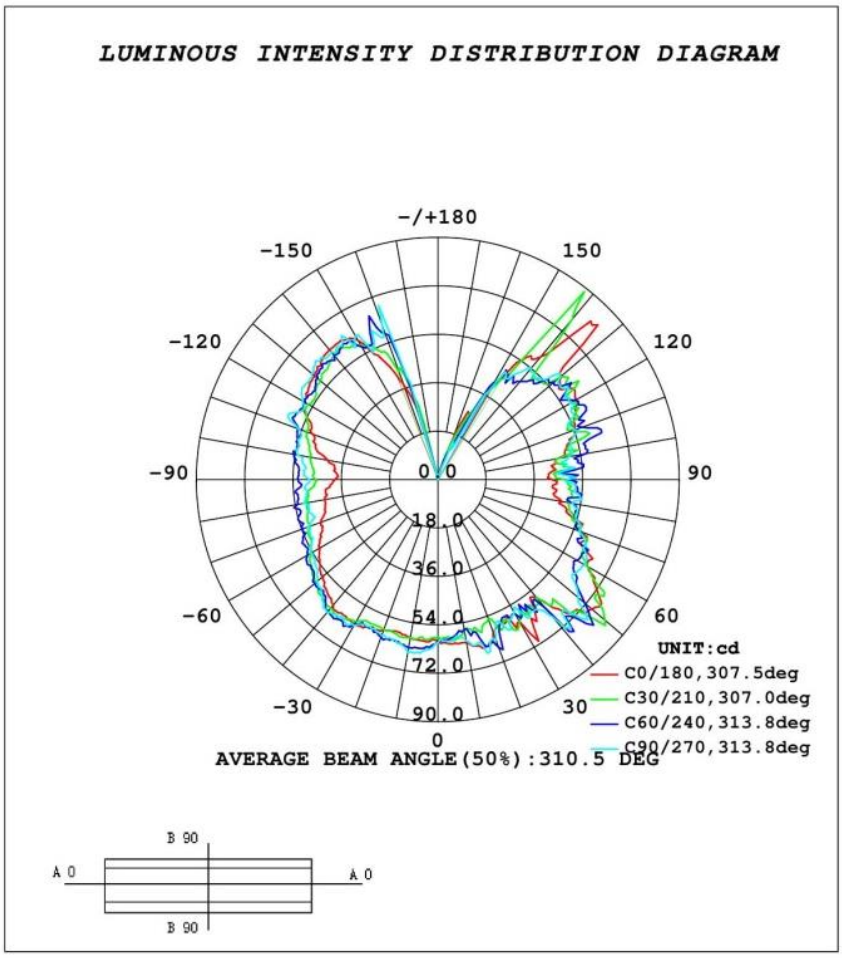


Рис. 3. Результаты измерения светораспределения лампы накаливания

Результаты измерений показали, что светораспределение светодиодных ламп отличается от светораспределения лампы накаливания и также различается между собой.

Наиболее близко светораспределение светодиодной лампы к светораспределению лампы накаливания у образца № 1. У образца № 1 светораспределение близко к косинусному с незначительной долей излучения в верхнюю полусферу пространства. Световой поток при напряжении 220 В составил 936 лм, максимальная сила света 108,3 кд, световая отдача 91,5 лм/Вт.

У образца № 2 светораспределение близко к полуширокому с незначительной долей излучения в верхнюю полусферу пространства. Световой поток при напряжении 220 В составил 507,6 лм, максимальная сила света 90,7 кд, световая отдача 99,9 лм/Вт. Световой поток лампы накаливания мощностью 58 Вт близок к световому потоку светодиодной лампы № 2, мощность которой составляет 5 Вт.

Источники

1. Диммируемые светодиодные лампы: советы по выбору, обзор лучших производителей // Совет инженера: интернет-энциклопедия о обустройстве сетей инженерно-технического обеспечения. URL http://sovet-ingenera.com/elektrika/rozetk-vykl/dimmiruemye-svetodiodnye-lampy.html (дата обращения: 11.08.18).

2. Что такое диммир и диммируемая лампа? // Интернет-магазин «Светликс» (Svetlix). URL http://svetlix.ru/articles/article_dimming (дата обращения: 11.08.18).

УДК 681.5

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОСВЕЩЕНИЕМ НА СОВРЕМЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Ирина Ивановна Байнева

МГУ имени Н.П. Огарева, г. Саранск

baynevaii@rambler.ru

Статья посвящена вопросам организации и устройства интеллектуальных систем управления освещением на производстве. Рассмотрены особенности автоматической системы «умный свет». Описано высокотехнологичное оборудование систем управления освещением с использованием передовых цифровых технологий.

Ключевые слова: освещение, осветительный прибор, датчик, компьютер, управление освещением, интеллектуальная система, энергоэффективность, инновация.

LIGHTING MANAGEMENT SYSTEMS IN MODERN MANUFACTURE

Irina Ivanovna Bayneva

The article is devoted to the organization and design of intelligent lighting control systems in production. The features of the automatic system “smart light” are considered. High-tech equipment for lighting control systems using advanced digital technologies is described.

Key words: lighting, lighting device, sensor, computer, lighting control, intelligent system, energy efficiency, innovation.

В последнее время в России при проектировании новых и реконструкции существующих инженерных систем зданий и сооружений вопросам энергосбережения уделяется все больше внимания [1]. В современных условиях, когда энергосбережению придается большое значение, многие предприятия внедряют инновационные автоматические системы управления освещением, которые позволяют организовать максимально комфортное освещение, наладить контроль над оборудованием, снизить потребление электроэнергии [2].

Для повышения энергоэффективности широко используются цифровые интеллектуальные системы управления освещением, которые обеспечивают максимальное энергосбережение, комфорт и безопасность в зданиях любого типа [3].

Изменения требований рынка систем освещения привели к необходимости повсеместной замены аналоговых систем управления цифровыми. Последние до этого использовались либо в системах промышленной автоматизации, либо в системах управления сценическим освещением. Основное преимущество цифровых систем перед аналоговыми – возможность гибкой коммуникации и интеграции с другими устройствами, связь между отдельными устройствами, объединенными в систему. Нередко в цифровых системах для передачи команд управления не требуется отдельных проводов, так как возможна передача по силовым кабелям. В последнее время набирают силу беспроводные технологии управления освещением, основывающиеся либо на известных и популярных стандартах систем управления, либо на разрабатываемых стандартах беспроводных сенсорных сетей.

Доля энергии, затрачиваемая на освещение, весьма существенна. Рациональное управление освещением может ощутимо снизить эти затраты при сохранении всех преимуществ. Разумное управление энергией – залог нормального сосуществования с окружающей средой и безопасности человека в повседневной жизни и на производстве [4]. Одним из аспектов этой концепции является управление освещением.

Для решения подобных задач разрабатываются системы управления освещением, которые, помимо этого, могут интегрироваться и в системы автоматизации зданий или производств.

Недавно стал применяться термин «умный свет», который относится к среде, управляемой системами контроля освещения. Эти системы учитывают такие факторы, как наличие людей в помещении, освещенность и время суток. Благодаря тому, что они используют беспроводные технологии, также можно управлять светом из любого места, используя при этом мобильные устройства или компьютер (ноутбук).

Умный свет – это система, включающая в себя осветительные приборы (ОП) и управляющие ими электронные системы. Источники света в таких системах бывают разных видов: люминесцентные лампы, светодиодные лампы, разрядные лампы [5–7]. Системы управления включают в себя сенсоры, микроконтроллеры, приемники и другие электронные компоненты.

Популярность продуктов умного освещения постоянно растет. Рынок «умного света» является самым быстрорастущим в индустрии, занятой производством осветительного оборудования. По прогнозам к 2020 г. его стоимость составит $8,14 млрд при среднегодовом темпе роста около 20 % в период с 2015 по 2020 гг.

Устройства управления освещением используются на таких объектах, как промышленные предприятия, городские улицы и дороги, парковки и охраняемые территории, офисные и административные здания, торговые комплексы, складские помещения, многоквартирные жилые дома.

Хотя в большей степени такие системы ориентированы на офисные и административные здания и позволяют существенно снизить затраты на электроэнергию за счет эффективного управления освещением.

Организация систем управления освещением решает несколько задач: экономия потребляемой на освещение электроэнергии; поддержание нормируемого уровня освещенности в помещениях; комфортное управление заранее запрограммированными световыми сценариями.

Можно выделить несколько наиболее эффективных способов управления ОП.

1. Автоматическое включение и выключение освещения в ответ на наличие или отсутствие движения внутри помещения или его отдельных зон. В результате можно получить до 40 % экономии электроэнергии.

2. Полуавтоматическое управление ОП. Включение при этом производится вручную, выключение – автоматически, после того, как человек покинет помещение. Результат – до 55 % экономии электроэнергии.

3. Управление освещением в соответствии с заранее определенным графиком в зависимости от того, когда здание открыто или закрыто для работы и посещения.

4. Управление уровнем освещенности, когда яркость включения ОП регулируется в зависимости от световых эффектов, необходимых для деятельности персонала во всем помещении или отдельной зоне.

5. Применение функций дневного контроля освещения, когда автоматическое включение освещения в отдельных зонах или помещениях осуществляется в зависимости от внешних условий (сумерки или пасмурная погода).

Для систем управления освещением используется высокотехнологичное оборудование с использованием передовых цифровых технологий.

Выбор оборудования для систем управления освещением напрямую зависит от поставленных проектных задач. Наиболее простые решения могут быть реализованы на локальных датчиках (присутствия, движения),

фотореле. Глобальные системы управления освещением в здании могут быть рационально построены на базе специальных контроллеров, которые позволяют использовать заранее запрограммированные сценарии освещения в зависимости от сигнала датчиков или команд настенных панелей управления.

Датчики движения автоматически включают свет, когда человек оказывается в области их чувствительности. После прекращения фиксации движения приборы выключают ОП. Установка таких датчиков особенно актуальна в местах с низкой проходимостью людей (в длинных коридорах, на лестничных площадках, над дверями в подъезды и т. д.). Датчики освещенности включают ОП, как только естественный свет снижается ниже определенного заранее заданного с учетом санитарных норм уровня. Датчики присутствия оставляют ОП включенными до тех пор, пока в помещении находятся люди.

На рынке преобладают инфракрасные датчики управления освещением. При фиксации тепла (инфракрасного излучения) они генерируют электрический импульс и коммутируют нагрузку на ОП. Отрезок времени, после которого происходит автоматическое отключение ОП, можно настраивать самостоятельно.

Организация управления светом может быть самой разной, с использованием различных методов контроля. К самым распространенным относятся центральный контроллер и пульт дистанционного управления. Схемы могут быть как отдельными для каждого помещения, так и объединяющими в единую сеть управления все помещения сразу.

Автоматическая система управления освещением с пульта (дистанционное управление (ДУ) освещением) представляет собой комплекс устройств, в который входит источник сигнала и принимающий его датчик, а также другие вспомогательные приборы. При нажатии кнопки включения или выключения света посылаемый с пульта сигнал поступает на подключенный к ОП блок, который прекращает или возобновляет доступ электроэнергии. Использование дистанционного управления особенно удобно при наличии многоярусного освещения.

Управление освещением в автоматической системе может осуществляться разными способами.

1. С домашнего компьютера. При этом пультом ДУ может выступать как стационарный компьютер, так и портативный ПК (ноутбук, планшет). Для обеспечения этой функции устанавливается типовое программное обеспечение.

2. С компьютера из любой точки мира. Для этого используется специальная программа и идентификационный пароль, с помощью которого можно зайти на промежуточный сервер или напрямую в сеть «Умный дом» для управления светом.

3. С мобильного телефона. В данном случае используется клиентское программное приложение, которое подключается к домашней сети по тому же принципу, что и при использовании ПК.

4. С помощью настенного контроллера, запрограммированного определенным образом.

Автоматическая система управления освещением представляет собой несколько устройств, регулирующих работу ОП без участия человека. К таким приборам относятся датчики движения, фотоэлементы, таймеры. Эти устройства наиболее востребованы в помещениях, где свет нужен на сравнительно короткое время присутствия людей. Для установки датчиков не всегда требуется прокладка проводов, существуют полностью беспроводные устройства с работой от внутренних элементов питания без замены до 10 лет.

Обозначим главные возможности автоматизированной системы.

1. Регулировка наружного освещения. С помощью автоматизации работы уличных ОП можно управлять архитектурной подсветкой, менять интенсивность потока света от фонарей в вечернее и ночное время, регулировать цвет свечения (теплый, нейтральный, холодный).

2. Создание световых сцен. Такие заранее настроенные программы выполняют требования к интенсивности и локализации светового потока в помещении с учетом времени суток, погоды, пожеланий пользователя.

3. Управление шторами и жалюзи. Используя устройство автоматизации «Умный дом», можно закрывать и открывать шторы и жалюзи поочередно и все вместе в любой желаемой последовательности, а также использовать запрограммированные сценарии.

В настоящее время существует ряд готовых решений, реализующих систему управления освещением с использованием различных стандартов и технологий [8] .

Протокол DigitalMultipleX (DMX) – стандарт, описывающий метод цифровой передачи данных между контроллерами и световым. Протокол передачи данных DMX512 разработан в 1986 году. В дальнейшем стандарт неоднократно пересматривали и дорабатывали.

DMX-контроллеры значительно упрощают и автоматизируют управление световыми установками, могут создавать световое шоу с множеством эффектов, поэтому широко используются в системах управления освещением на крупных площадках, таких как сцены, театральные помещения и т. д.

В системах, использующих стандарт DMX, устранение неисправностей в разъемах и кабелях затруднено, поэтому в некоторых случаях его применение ограничено. Иногда возможны ложные срабатывания, обусловленные электромагнитными помехами, статическим электричеством, чрезмерно длинными кабелями низкого качества. Все это уменьшает вероятность бесперебойной работы системы в целом.

С недавнего времени в системах, построенных на протоколе DMX, начали использовать беспроводные технологии для передачи сигналов дочерним устройствам в сети. Для обеспечения надежной работы в сетях DMX расстояние между компонентами сети не должно превышать 300–460 м, увеличивать рабочее расстояние можно за счет использования усилителя сигнала.

Данный стандарт позволяет управлять по одной линии связи 512 каналами, где каждый из каналов отвечает за отдельную функцию прибора, подключенного к системе управления. Технология дает возможность реализации усложненных световых инсталляций и светового оформления высокой сложности. Стандарт EIA485, используемый DMX512, способен работать с линиями длиной до 1 км. Протокол DMX512 не является идеальным, но в настоящее время он получил достаточное распространение в системах дистанционного управления освещением.

Светотехническая промышленность в настоящее время переживает серьезные изменения. Глядя в ближайшее будущее, можно заключить, что результатом плотного сотрудничества производителей осветительного оборудования с ИТ-компаниями в сфере новейших технологий освещения будут «умные» системы, оснащенные высокопроизводительными надежными датчиками, а «умные» светильники будут не только энергоэффективными, но и станут выступать в качестве детекторов ситуации окружающей среды, их оснастят видеокамерами наблюдения, анализаторами качества воздуха и приборами сбора других данных. Уже сегодня ведутся серьезные разработки для увеличения возможностей интеллектуальных систем освещения, что увеличивает перспективы роста этого рынка в будущем.

Источники

1. Цифровая экономика в Российской Федерации: утв. распоряжением Правительства РФ от 28 июля 2017 г. № 1632-р.

2. Баурина С.Б., Кравченко М.А. Стандарты устойчивого развития // Инновационные технологии в науке нового времени: сб. ст. Междунар. науч.-практ. конф. В 3 ч. Уфа, 2017. Ч. 1. С. 33–36.

3. Байнева И.И., Байнев В.В. Цифровые технологии светотехнического производства // Предприятия в условиях цифровой экономики: риски и перспективы: сб. матер. 2-й Междунар. науч.-практ. конф. М., 2018. С. 49–56.

4. Байнева И.И. Современные энергоэкономичные технологии освещения // Научные исследования и разработки. Экономика фирмы. 2017. Т. 6, № 2. С. 19–24.

5. Байнева И.И., Байнев В.В. Современное светодиодное освещение: преимущества, энергоэффективность, оптические системы // Научные исследования и разработки. Экономика фирмы. 2016. Т. 5, № 1. С. 13–16.

6. Байнева И.И. К вопросу об оценке энергоэффективности и надежности светодиодного освещения // Научные исследования и разработки. Экономика фирмы. 2016. Т. 5, № 4. С. 12–15.

7. Байнева И.И. Энергоэффективные светодиодные технологии // Научно-технический вестник Поволжья. 2016. № 6. С. 79–81.

УДК 543.275.08:621.389.001.2

НАПРАВЛЕНИЕ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОМЫШЛЕННЫХ ЛАЗЕРОВ

Людмила Григорьевна Кесель[1], Ярослав Сергеевич Андреев[2]

КНИТУ-КАИ, г. Казань

[1]bak1951@yandex.ru, [2]yaroslav2907@gmail.com

В работе приведены результаты исследования влияния эффекта тепловой линзы на энергетические характеристики лазеров.

Ключевые слова: лазер, резонатор лазера, тепловая линза, коэффициент пропускания, энергетические характеристики.

DIRECTION OF INCREASE ENERGY CHARACTERISTICS OF INDUSTRIAL LASERS

Lyudmila Grigorievna Kesel, Yaroslav Sergeevich Andreev

The paper presents the results of studying the effect of the thermal lens on the energy characteristics of lasers.

Key words: laser, laser resonator, thermal lens, transmittance, energy characteristics.

Одним из основных требований, предъявляемых к лазерам, является условие стабильности пространственных характеристик выходного излучения. В газовых лазерах с диффузионным охлаждением фактором, оказывающим

существенное влияние на характеристики излучения, является тепловая линза, параметры которой сильно зависят от величины удельного энерговклада в плазму газового разряда.

Модель среды с тепловой линзой описывает реальную ситуацию применительно к газоразрядной трубке газового лазера. Дело в том, что температура газа трубки неоднородна по сечению: она максимальна на оси трубки и уменьшается к её стенкам. Показатель преломления газовой среды также зависит от температуры и неоднородное распределение температуры по сечению трубки приводит к неоднородности показателя преломления по сечению трубки и появлению тепловой линзы.

В неустойчивых резонаторах тепловая линза оказывает влияние на один из его основных параметров – коэффициент поперечного расширения пучка M и на его величину выходной мощности $P_{\text{вых}}$, связанную с коэффициентом пропускания выходного зеркала резонатора лазера t:

$$P_{\text{вых}} = P_{\text{вх}} t, \tag{1}$$

где $P_{\text{вх}}$ – входная мощность.

Целью настоящей работы является получение количественных зависимостей коэффициента пропускания выходного зеркала неустойчивого резонатора от величины удельного энерговклада в разряд $\omega_{\text{уд}}$, а также сопоставление различных типов резонаторов по их устойчивости к влиянию тепловой линзы. Были рассмотрены резонаторы со сферическими и тороидальными зеркалами с различной конфигурацией зеркал (рис. 1).

Отличаются они тем, что в первом случае поле расширяется по двум координатам и коэффициент пропускания определяется как:

$$t = 1 - M^{-2}, \tag{2}$$

где M – коэффициент поперечного расширения пучка.

Во втором случае при условии, что ширина зеркала значительно меньше его среднего диаметра, поле расширяется по одной координате и коэффициент пропускания определяется выражением.

$$t = 1 - M^{-1}. \tag{3}$$

Расчёты проводились при следующих значениях параметров: температура стенок разрядной трубки $T_0 = 300$ K, электрооптический КПД лазера $\eta = 15$ %, длина лазера $L = 100$ см, смесь газов CO_2:N_2:He = 1:1:8.

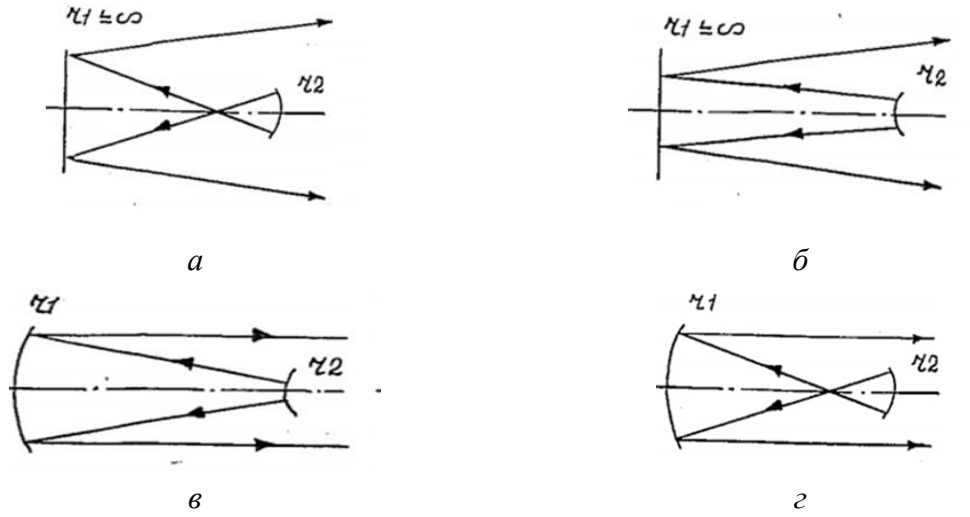


Рис. 1. Схемы резонаторов с тороидальными и сферическими зеркалами: *а* – плоско-сферический резонатор с переворотом поля; *б* – плоско-сферический резонатор; *в* – телескопический резонатор; *г* – телескопический резонатор с переворотом поля

Результаты расчётов относительно изменения коэффициента пропускания в зависимости от удельного энерговклада в плазму газового разряда показаны на рис. 2.

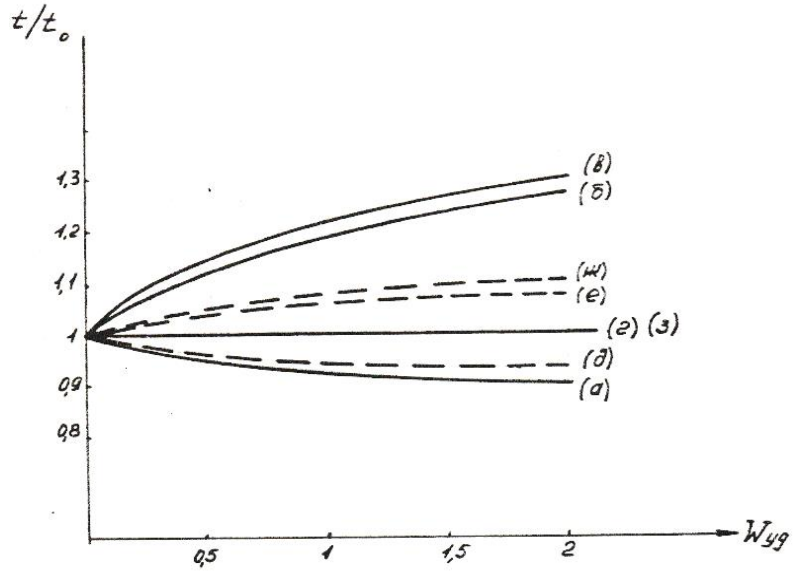


Рис. 2. Зависимость относительного коэффициента пропускания от удельного энерговклада: *а–г* – для резонаторов цилиндрических схем; *д–з* – для резонаторов тороидальных схем

Из анализа приведенных зависимостей можно сделать следующие выводы:

1. Наименее чувствительны к влиянию тепловой линзы резонаторы, в которых происходит переворот поля. Но здесь следует учитывать возможность оптического пробоя активной среды в перетяжке, которая находится внутри разрядного промежутка.

2. Так как показатель усиления активной среды растет с ростом удельного энерговклада, то предпочтительнее использовать резонаторы.

3. В лазерах с коаксиальным сечением среды и неустойчивым резонатором влияние тепловой линзы на величину коэффициента пропускания выходного зеркала существует меньше, чем в лазерах с цилиндрической разрядной трубки.

Полученные результаты позволяют осуществлять корректировку конфигурации элементов резонатора лазера и тем самым снижать отрицательное влияние тепловой линзы на его энергетические характеристики.

УДК 536.212

ПРИМЕНЕНИЕ СВЕТОДИОДНЫХ ПОДЛОЖЕК НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК И КЕРАМИКИ

Теймур Яшар оглу Оруджев[1], Севда Гасан гызы Абдуллаева[2],
Самир Кямал оглу Оруджев[3], Аскер Бойукага оглу Гусейнов[4],
Расим Баба оглу Джаббаров[5]

[1,2,4]Институт Физики НАН Азербайджана, Исследовательский центр высоких технологий при МСИТ Азербайджанской республики, г. Баку
[3]СГУ, г. Сумгаит

[1]alzey1972@mail.ru, [2]osamir@mail.ru, [3]osamir@mail.ru,
[4]rasim.jabbarov69@gmail.com, [5]rasim.jabbarov69@gmail.com

Процесс сборки светодиода не менее важен, чем производство чипа или люминофора. Материалы, из которых они сделаны, должны обладать твердостью, долговечностью, высокой теплопроводностью, низкой стоимостью и т. д. В работе рассматривается возможность изготовления светодиодных подложек и разработка новых легких материалов для них. Сравнение готовых керамических подложек показывает, что предложенный метод позволяет получить материалы с требуемыми параметрами.

Ключевые слова: светодиодный чип, углеродные нанотрубки, люминофор, керамическая подложка, поверхностный диод, светодиодная подложка.

APPLICATION OF LED SUBWAYS BASED ON CARBON NANOTUBES AND CERAMICS

Teymur Yashar oglu Orujev, Sevda Hasan gizi Abdullaeva,
Samir Kamal oglu Orujev, Asker Boyukaga oglu Huseynov,
Rasim Baba oglu Jabbarov

The assembly process of the LED is as important as the production of a chip or phosphor. The materials of which they are made must have hardness, durability, high thermal conductivity, low cost, etc. The paper considers the possibility of manufacturing LED

substrates and the development of new light materials for this. A comparison of the manufactured ceramic substrates shows that the proposed method allows to obtain materials with the required parameters.

Key words: LED chip, carbon nanotubes, phosphor, ceramic substrate, surface diode, LED substrate.

Светодиод состоит из следующих основных частей: светодиодный чип, излучающий свет определенной длины волны, люминофоры, которые преобразуют излучение узкого спектра в более широкий, оптику, которая усиливает извлечённый свет и подложку, на которой строится весь светодиод. Процесс сборки светодиода не менее важен, чем производство чипа или люминофора. Роль подложки заключается в объединении чипов и люминофора в одно устройство и обеспечении теплового обмена, то есть для отведения тепла от чипов и люминофора. Существует два распространенных типа светодиодных конструкций: поверхностный диод и печатная плата с металлическим основанием [1]. В последнем случае используются чипы, расположенные на алюминиевом основании, которое также играет роль теплового проводника. Керамика также используется в качестве материала для производства светодиодных подложек, хотя она дороже и имеет меньшую теплопроводность [2]. В промышленности идёт поиск новых, более практичных материалов, которые будут использоваться в качестве подложки. Эти материалы должны обладать такими качествами, как высокие механические свойства (твердость, долговечность), высокая теплопроводность, низкая стоимость и т. Д [3]. Поэтому становится актуальной задача разработки новых легких материалов, которые могут быть использованы для изготовления светодиодных подложек [4].

Как известно, атомы углерода в углеродных нанотрубках (УНТ) имеют гексагональную форму и, следовательно, обладают большой проводимостью. Нанотрубки сами по себе могут иметь электрическую проводимость в 1000 раз больше, чем металлы, такие как медь. Нанокомпозиты, состоящие из нанотрубок и связующего вещества, также могут обеспечить хорошую тепловую и электрическую проводимость. И поскольку электроны, вносящие вклад в их электропроводность, также вносят вклад в теплопроводность, она будет крайне высока. По длине нанотрубки имеют теплопроводность в 3500 Вт/м·К. Керамика сама по себе обладает теплопроводностью, уступающей алюминию, но УНТ резко увеличивает её проводимость. Кроме того, такой композит будет термически устойчивым, как и чистая керамика.

Для сравнения тепловых свойств были изготовлены две керамические/УНТ подложки. Многослойные УНТ были синтезированы методом осаждения химического пара с циклогексаном в качестве исходного материала. Белый бентонитовый порошок $Al_2[Si_40_{10}](OH)2$ был смешан с УНТ в пропорциях 10 к 1 в неионизированной воде. Изготовлены пластинки толщиной 2 мм со сферической формой диаметром 1 дюйм (2,54 см). Поскольку нанотрубки проводят вдоль своей длины и практически не имеют проводимости по поперечному сечению, важно как-то ориентировать их внутри материала. Один из двух образцов помещали в поле неодимового магнита на 1 час (до отверждения), чтобы получить нанотрубки, ориентированные перпендикулярно поверхности пластины. Образец высушивали в печи и затем отжигали при 1000 °C. Затем пластина была отполирована, а одна сторона покрыта алюминиевым слоем толщиной 100 нм, чтобы обеспечить лучшую поверхность крепления для светодиодных чипов, а также отражение света (рис. 1). Напыление было выполнено с использованием испарителя с электронным лучом от фирмы Sntek.

На данной плате устанавливались 4 светодиодных чипа с мощностью 1 Вт с размерами 1×1 мм. Для измерения оптических и электрических параметров образец помещался в интегрирующую сферу. Светодиоды управлялись токами до 350 мА при напряжении 3,3 В, после чего измерялась температура подложки. Теплопроводность подложки измерялась с помощью анализатора теплопроводности Linseis TBH-100. Температура окружающей среды при измерении составляла 25 °C.



Рис. 1. Подложка из УНТ/бентонитового композита

На рис. 2 мы видим изображение подложки УНТ в поперечном сечении, сделанное сканирующим электронным микроскопом.

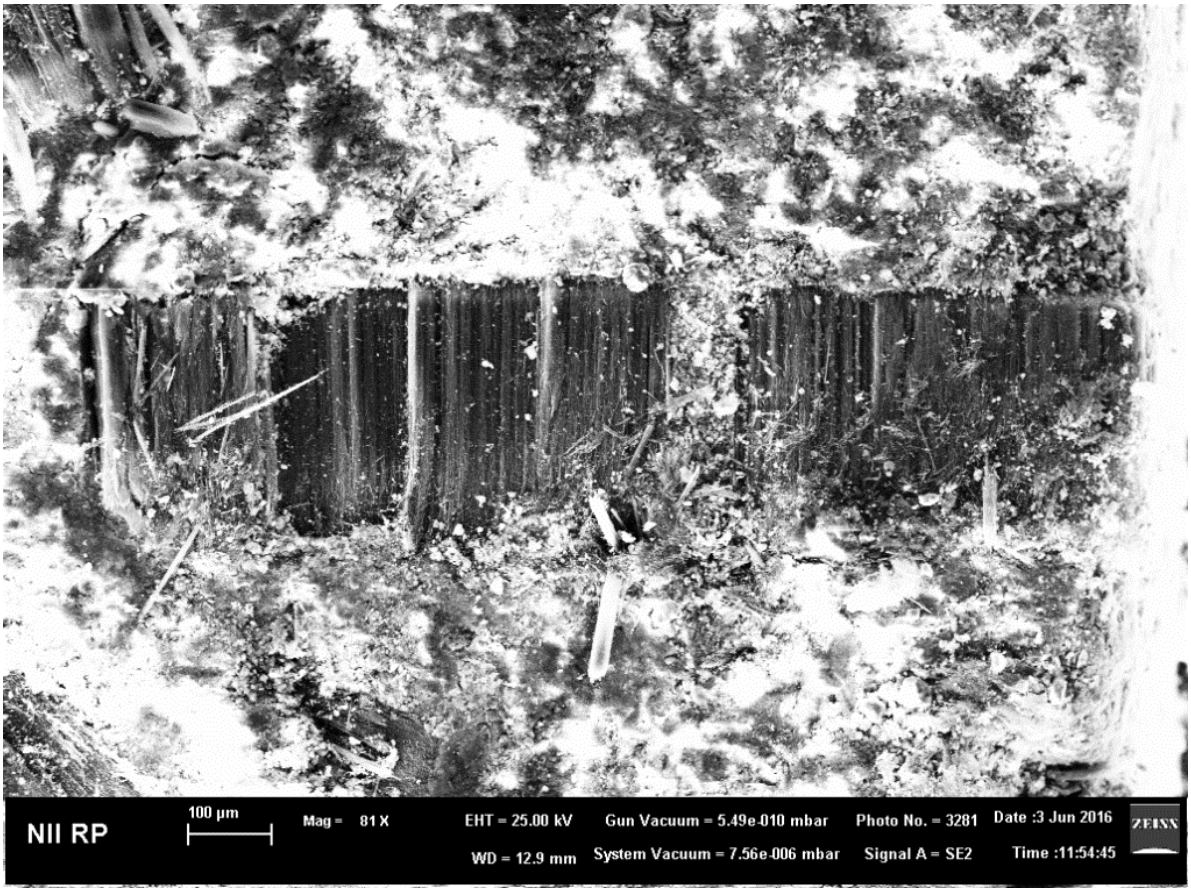


Рис. 2. Упорядоченные углеродные нанотрубки в составе композита

На изображении показано поперечное сечение изготовленной подложки. УНТ находятся в большом количестве в полимере и имеют очень высокую степень упорядоченности. Это позволяет предположить, что подложка должна обладать высокой теплопроводностью [5]. На рис. 3 показан график, отображающий зависимость теплопроводности от температуры для образцов с упорядоченными и неупорядоченными в магнитном поле нанотрубками.

В таблице приведены значения теплопроводности и температуропроводности образцов.

Параметры подложек на основе нанотрубок

Параметр	Нанотрубки в магнитном поле	
	упорядоченные	неупорядоченные
Теплопроводность, Вт/м·К	98	25
Температуропровоодность, $см^2/с$	1,1	0,33

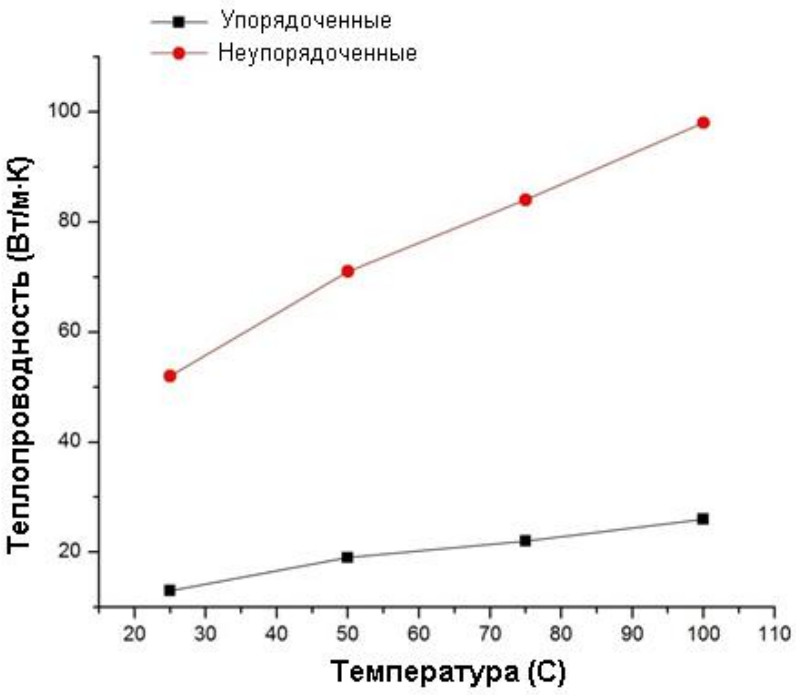


Рис. 3. Зависимость теплопроводности подложки от температуры

Температуропроводность является ключевым параметром при определении того, насколько быстро подложка распределяет количество тепла, которое приходит на неё. Очевидно, что данный метод позволяет получить материалы с высокой удельной теплопроводностью. Без упорядоченного расположения нанотрубок в композите теплопроводность сравнительна мала, с упорядочением в магнитном поле она достигает сравнимых с металлами значений.

Источники

1. Liu S., Luo X. Led Packaging For Lighting Applications Design, // Manufacturing And Testing. Singapore, John Wiley & Sons(Asia) Pte Ltd, 2011. P. 367.

2. Heo Y., KIM Y., Nahm S. Ceramic-metal package for high power LED lighting, Front. // Optoelectron. 2012. Vol. 5(2). P. 133–137.

3. Marconnet A., Yamamoto N., Panzer M. Thermal Conduction in Aligned Carbon Nanotube-Polymer Nanocomposites with High Packing Density // ACS Nano. 2011. Vol. 5. P. 4818–4825.

4. Thermal Management of LEDs: Package to System / M. Arik [et al.] // Proceedings of SPIE. Vol. 5187. P. 64–75.

5. Kim L., Shin M.W. Thermal Resistance Measurement of LED Package with Multichips // IEEE Transactions on components and packaging technologies. 2007. Vol. 30, № 4. P. 632–363.

УДК 621.314

СОЗДАНИЕ МАЛЫХ СИСТЕМ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ЭНЕРГЕТИКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНВЕРТОРА ДЛЯ СОВМЕЩЕНИЯ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ И ТРАДИЦИОННЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

Марат Фердинантович Садыков[1], Иван Михайлович Корышкин[2],
Гульгена Рузалевна Муртазина[3]

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

[1]sadykov@kgeu.ru, [2]ivan.koryshkin@gmail.com, [3]gulgena96@mail.ru

В данной работе рассмотрена разработка системы совмещения альтернативных и традиционных источников энергии с использованием инвертора. Разработана блок-схема инвертора и рассмотрен режим передачи энергии.

Ключевые слова: инвертор, малая энергетика, распределенная энергетика, альтернативные источники энергии.

CREATION OF SMALL DISTRIBUTED ENERGY SYSTEMS WITH THE USE OF THE INVERTER TO COMBINE ALTERNATIVE AND TRADITIONAL ENERGY SOURCES

Marat Ferdinantovich Sadykov, Ivan Mikhailovich Koryshkin,
Gulgena Ruzalevna Murtazina

In this paper, we consider the development of a system for combining alternative and traditional energy sources using an inverter. Developed a block diagram of the inverter and considered the mode of energy transfer.

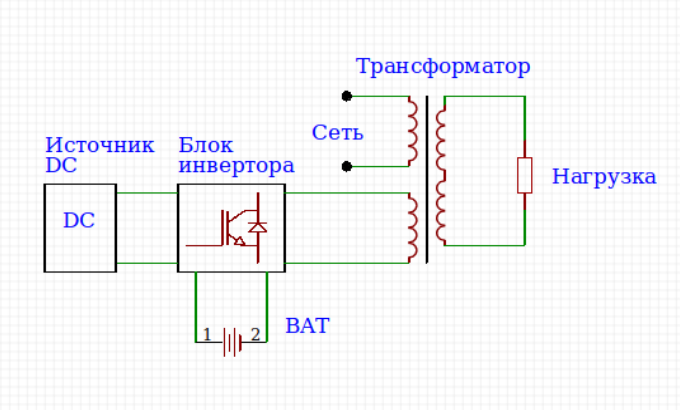
Key words: inverter, low-power, distributed power, alternative energy sources.

На сегодняшний день для обеспечения себя теплом и электричеством потребители могут приобрести комплект оборудования для совмещения традиционной и альтернативной энергии. В комплекте обычно предлагается специальный инвертор и блок аккумуляторных батарей.

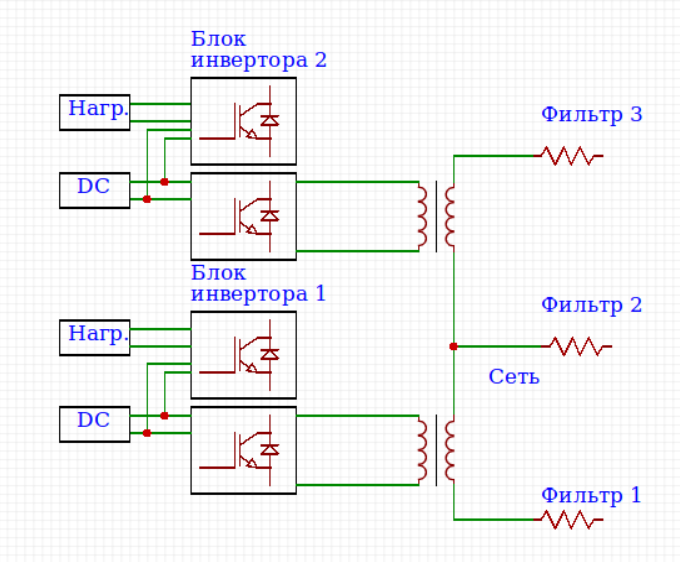
Основной задачей инвертора является согласование возобновляемых источников энергии с энергией, поступающей потребителю от генерирующей компании, с целью управления передаваемой активной мощностью, что обеспечивает коэффициент мощности, равный единице [1–2].

Сейчас нами ведется разработка системы, решающей проблему распределенной генерации, которая позволяет не только параллельную генерацию на стороне потребителя, но и вариант генерации с передачей избытков энергии генерирующей компании. Также система предусматривает

передачу и прием энергии на частотах свыше 1 МГц, это дает возможность реализовывать принципы распределенной энергетики без создания новой инфраструктуры, передавая энергию непосредственно по питающим сетям, не ухудшая ее качества.



а



б

Рис. 1. Система распределенной энергетики с использованием инвертора:
а – блок схема инвертора; *б* – режим передачи энергии

Основным элементом системы будет выступать инвертор, основанный на полупроводниковых IGBT модулях (рис. 1). Блок инвертора преобразует энергию аккумуляторных батарей или другого источника постоянного тока к характеристикам бытовой сети. Тороидальный трансформатор обеспечивает компенсацию энергии, потребляемой из сети, энергией альтернативных источников, преобразованной инвертором. Преимущество такого подхода в том, что в данной конфигурации отсутствует звено постоянного тока, тем самым исключаются дополнительные потери на преобразование.

Режим передачи энергии с помощью разрабатываемого инвертора происходит следующим образом: высокочастотный блок инвертора *1* начинает преобразование энергии источников постоянного тока, собственный потребитель остается запитанным от низкочастотного блока инвертора. Протяженность передачи ограничивается специальными высокочастотными фильтрами, установленными на линиях электропередач. Высокочастотный блок инвертора 2 снимает энергию с сети и с помощью блока низкой частоты и звена постоянного тока преобразуется в сетевое напряжение или сохраняется в накопителях. По окончании передачи блок низкой частоты подключается к трансформатору, тем самым отключая блок высокой частоты и звено постоянного тока.

Таким образом, поставщик электрической энергии не будет ограничен ценами генерирующих компаний на покупку энергии, а будет иметь возможность передавать избытки энергии потребителям, находящимся поблизости, не воздвигая дополнительных кабельных сооружений.

Источники

1. Алгоритм оптимизации системы электроснабжения промышленного предприятия при внедрении собственной генерации / М.С. Казанов [и др.] // Энергобезопасность и энергосбережение. 2016. № 6. С. 15–23.

2. Проблемы и перспективы использования возобновляемых источников энергии / В.К. Федоров [и др.] // Национальные приоритеты России. 2017. № 5(27). С. 88–91.

УДК 628.041.735.415:728.2

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ КОМПАКТНЫХ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ ЛАМП, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ ОСВЕЩЕНИЯ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ

Дмитрий Владимирович Султанов[1], Андрей Андреевич Вилков[2], Виктор Васильевич Немов[3], Юлия Алексеевна Пильщикова[4]

МГУ им. Н.П. Огарёва, г. Саранск

[1]plitagifest@mail.ru, [2]vilkov-an2013@yandex.ru, [3]lnt.nemow@yandex.ru, [4]ulypil@mail.ru

В статье описаны результаты исследований светораспределения компактных люминесцентных ламп в зависимости от конструкции.

Ключевые слова: светораспределение, компактная люминесцентная лампа, цветовая температура, форм-фактор, жилые здания, гониофотометр.

STUDY OF PARAMETERS OF COMPACT LUMINESCENT LAMPS, APPLICABLE FOR COVERING RESIDENTIAL BUILDINGS

Dmitry Vladimirovich Sultanov, Andrey Andreevich Vilkov,
Victor Vasilievich Nemov, Yuliya Alekseevna Pilshchikova

The article describes the results of studies of the distribution of compact fluorescent lamps, depending on the design.

Key words: light distribution, compact fluorescent lamp, color temperature, form factor, residential buildings, goniophotometer.

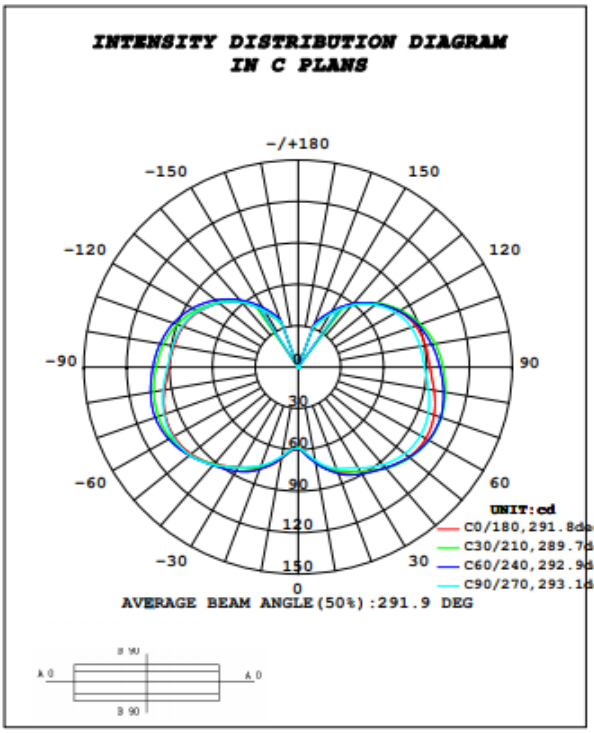
Люминесцентные лампы являются разрядными лампами низкого давления и представляют цилиндрическую трубку с электродами, в которую закачаны пары ртути. В качестве освещения жилых зданий долгое время применялись лампы накаливания (ЛН) общего назначения, которые употребляли большое количество электроэнергии, имели маленький срок службы. Для замены дампы накаливания были разработаны компактные люминесцентные лампы (КЛЛ).

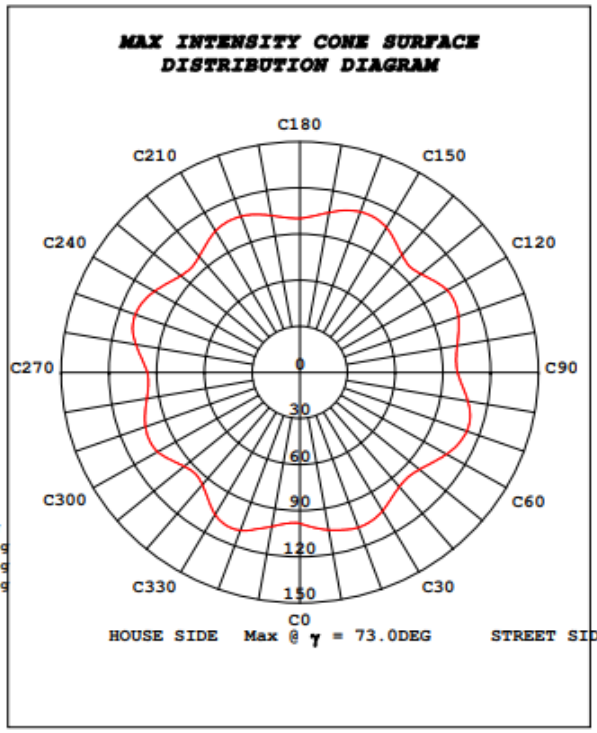
Измерения характеристик компактных люминесцентных ламп спиралеобразной и канальной формы с помощью гониофотометра GO-2000A проводились в ЦКП Института электроники и светотехники Мордовского государственного университета имени Н.П. Огарёва [1, 2]. В данной работе в качестве измеряемых ламп были выбраны КЛЛ формы «лотус» мощностью 20 Вт, «спиралевидная» мощностью 15 Вт и светодиодная лампа формы «груша» мощностью 14 Вт, а так же четырехканальная лампа мощностью 25 Вт.

При помощи гониофотометрического комплекса [3] были измерены значения светового потока, световой отдачи, распределение силы светы и другие светотехнические характеристики. На рис. 1 представлен результат измерения КЛЛ форм-фактор «лотос» с мощностью 20 Вт и цветовой температурой 4100 К. На рис. 2 – измерения КЛЛ форм-фактор «спиралевидная» с мощностью 15 Вт и цветовой температурой 4200 К. На рис. 3 представлен результат измерения светодиодной лампы форм-фактора «груша» с мощностью 14 Вт и цветовой температурой 4000 К. На рис. 4 представлен результат измерения четырехканальной лампы с мощностью 25 Вт и цветовой температурой 4500 К.

Test:U:220.0V I:0.1330A P:16.55W PF:0.5656 Lamp Flux:609.056x1 lm		
NAME: Sun	TYPE:	WEIGHT:
DIM.:	SPEC.:	SERIAL No.:
MFR.: Ãðàá	SUR.:	PROTECTION ANGLE:

DATA OF LAMP		PHOTOMETRIC DATA		Eff: 64.58 lm/W	
MODEL		Imax(cd)	110.9	η street_up(%)	38.4
NOMINAL POWER(W)	18	LOR(%)	175.5	η street_down(%)	49.9
RATED VOLTAGE(V)	220	TOTAL FLUX(lm)	1069	η house_up(%)	37.4
NOMINAL FLUX(lm)	609.056	MAXIMUM @(C,γ)	75,73.0	η house_down(%)	49.8
LAMPS INSIDE	1	η up(%)	75.8	76 FLASHAREA(m2)	
TEST VOLTAGE(V)	219.9	η down(%)	99.7	SLI	

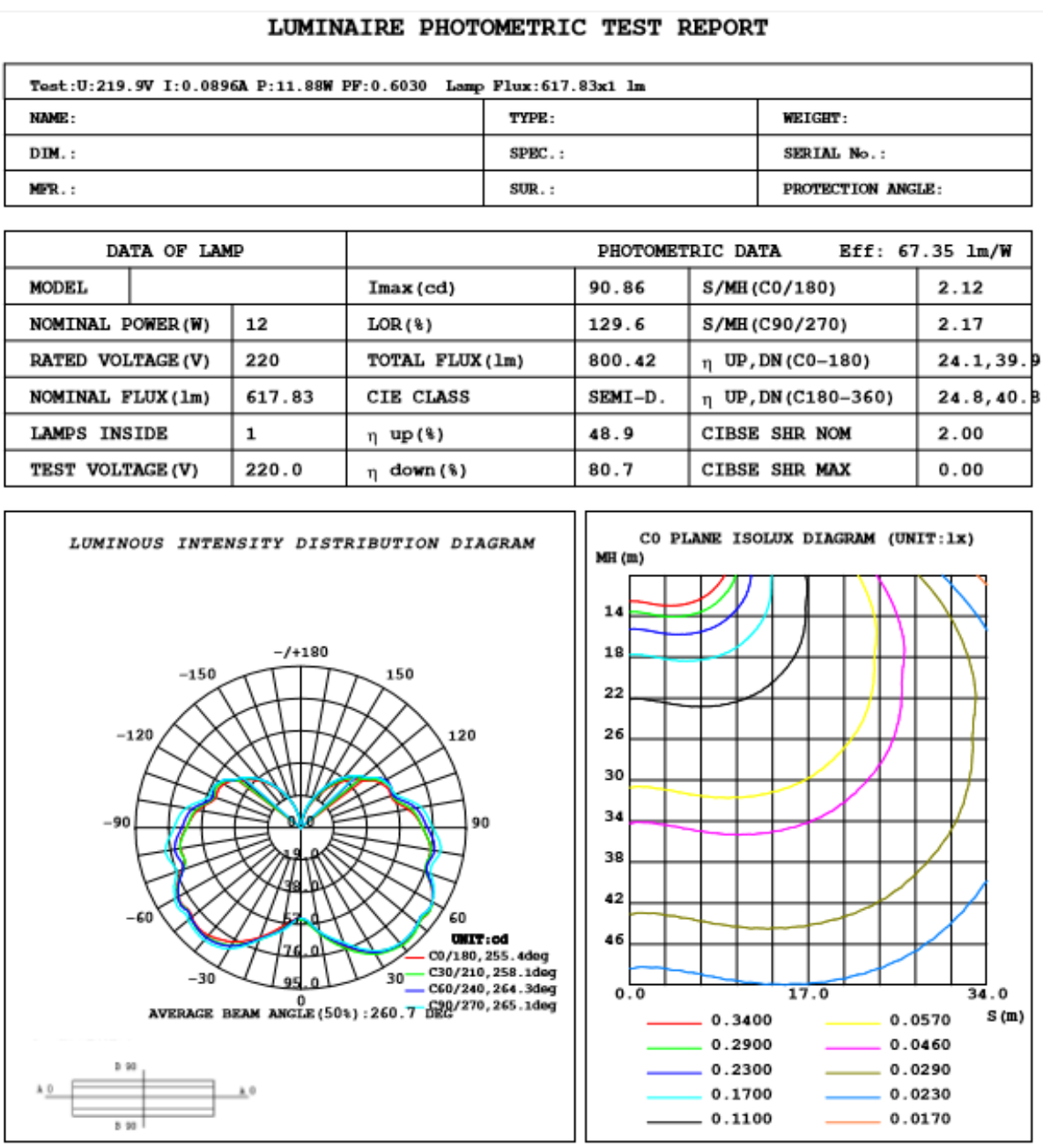




C Range: 0 - 360DEG
C Interval: 15.0DEG
Test Speed: MEDIUM
Temperature:28DEG
Operators:A.A.A
Test Date:2018-05-11

γ Range: 0 - 180DEG
γ Interval: 0.5DEG
Test System:EVERFINE GO-2000A_V1 SYSTEM V2.0.270
Humidity:53.0%
Test Distance:12.870m [K=1.0000]
Remarks:

Рис. 1. Результат измерений характеристик лотосной КЛЛ мощностью 20 Вт с цветовой температурой 4100 К



LUMINAIRE PHOTOMETRIC TEST REPORT

Test:U:219.9V I:0.0896A P:11.88W PF:0.6030 Lamp Flux:617.83x1 lm		
NAME:	TYPE:	WEIGHT:
DIM.:	SPEC.:	SERIAL No.:
MFR.:	SUR.:	PROTECTION ANGLE:

DATA OF LAMP		PHOTOMETRIC DATA Eff: 67.35 lm/W			
MODEL		Imax(cd)	90.86	S/MH(C0/180)	2.12
NOMINAL POWER(W)	12	LOR(%)	129.6	S/MH(C90/270)	2.17
RATED VOLTAGE(V)	220	TOTAL FLUX(lm)	800.42	η UP,DN(C0-180)	24.1,39.9
NOMINAL FLUX(lm)	617.83	CIE CLASS	SEMI-D.	η UP,DN(C180-360)	24.8,40.8
LAMPS INSIDE	1	η up(%)	48.9	CIBSE SHR NOM	2.00
TEST VOLTAGE(V)	220.0	η down(%)	80.7	CIBSE SHR MAX	0.00

LUMINOUS INTENSITY DISTRIBUTION DIAGRAM

-/+180 -150 150 -120 120 -90 90 -60 60 -30 30 0 19.0 38.0 57.0 76.0 95.0

UNIT:cd

C0/180, 255.4deg

C30/210, 258.1deg

C60/240, 264.3deg

C90/270, 265.1deg

AVERAGE BEAM ANGLE(50%):260.7 DEG

C0 PLANE ISOLUX DIAGRAM (UNIT:lx)

MH(m)

14 18 22 26 30 34 38 42 46

0.0 17.0 34.0 S(m)

0.3400 0.2900 0.2300 0.1700 0.1100 0.0570 0.0460 0.0290 0.0230 0.0170

Рис. 2. Результат измерений характеристик спиралевидных КЛЛ мощностью 15 Вт с цветовой температурой 4200 К

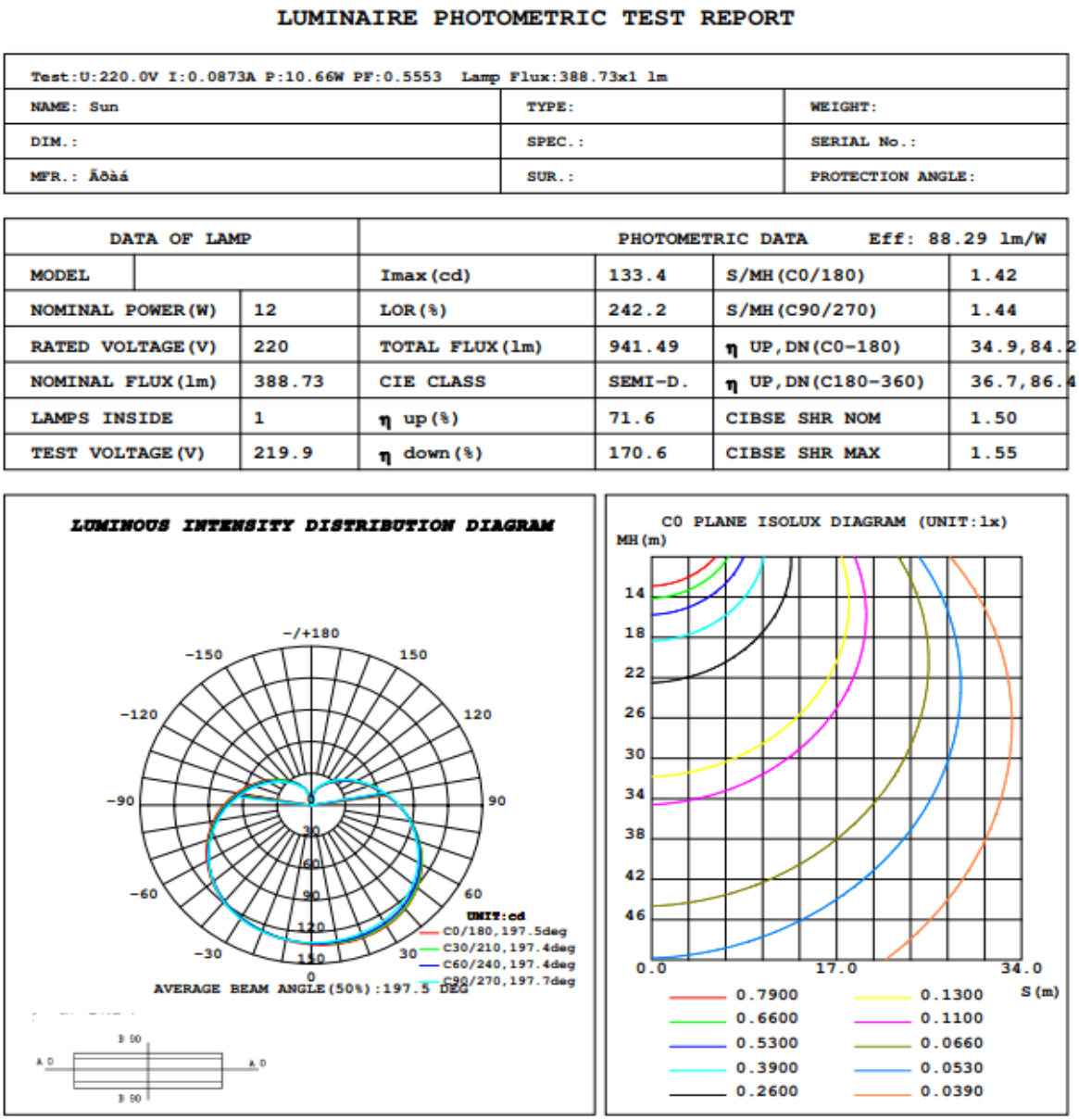


Рис. 3. Результаты измерений характеристик светодиодной лампы мощностью 14 Вт, форма «груша»

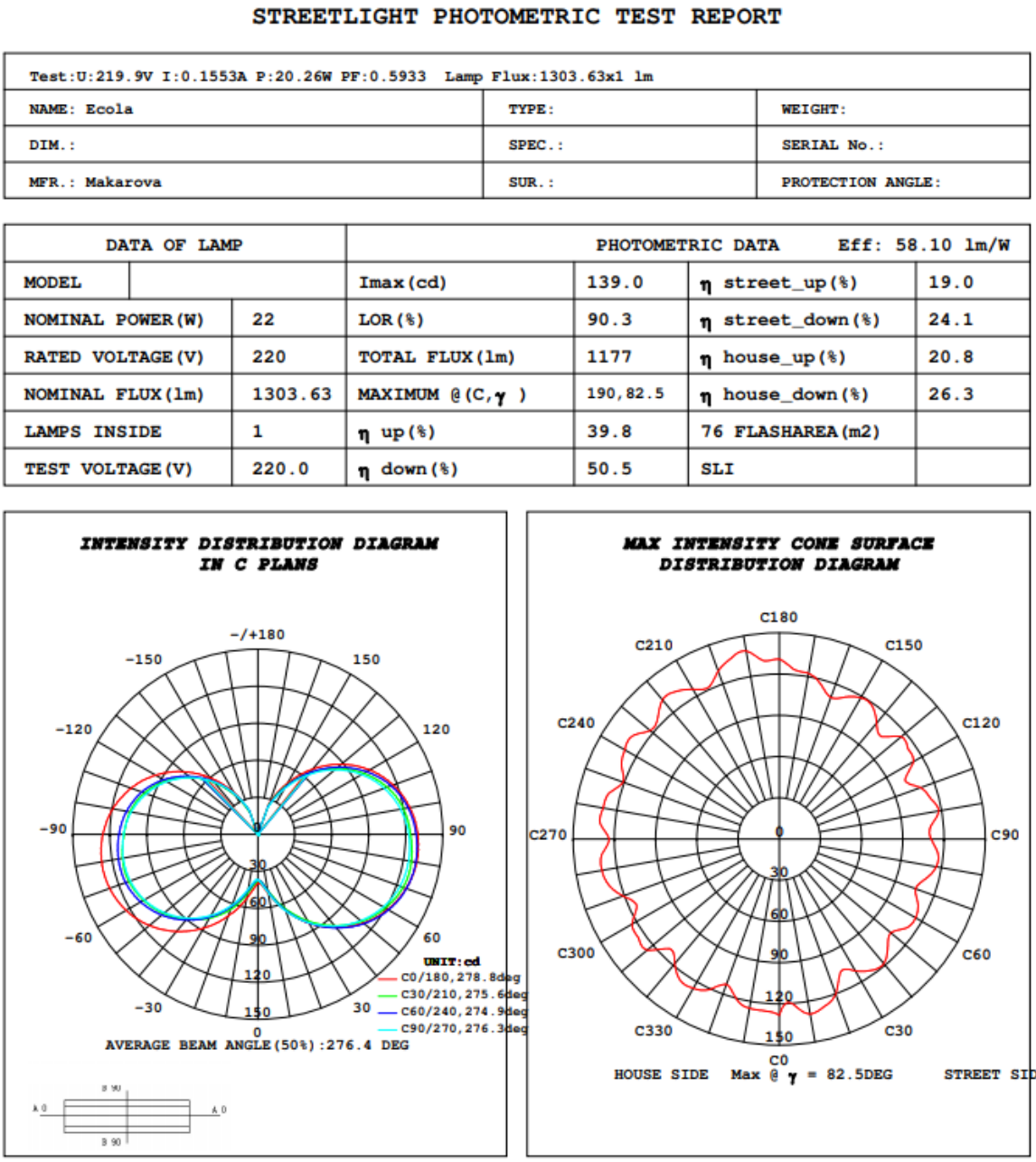


Рис. 4. Результаты измерений характеристик четырехканальной лампы мощностью 25 Вт

В ходе измерений было выявлено, что заявленная фирмой-производителем мощность компактных люминесцентных ламп была занижена до 20 %, форм-фактор спиралеобразных ламп наиболее близок к форм-фактору ЛН. Спиралеобразные лампы можно рекомендовать в качестве адекватной замены ЛН для освещения жилых зданий.

Источники

1. Вилков А.А., Пильщикова Ю.А., Трянин Д.В. Сравнительные исследования компактных люминесцентных ламп спиралеобразной формы // Проблемы и перспективы развития отечественной светотехники, электротехники и энергетики: матер. XIII Всерос. науч.-техн. конф. с междунар. участием в рамках IV Всерос. светотехн. форума с междунар. участием. С. 355–358.

2. Вилков А.А., Пильщикова Ю.А. Исследование форм-фактора компактной люминесцентной лампы на ее светораспределение // Материалы XX науч.-практ. конф. молодых ученых, аспирантов и студентов Национального исследовательского Мордовского государственного университета им. Н.П. Огарёва: сб. тр. В 3 ч. Саранск, 2016. Ч. 1. С. 174–177.

3. Гониофотометр GO-2000A // Смарт системс: Поставка специализированного оборудования для контроля качества. URL http://smart-systems.su/ru/catalog/everfine/goniophotometers/go-2000a/ (дата обращения: 10.09.18).

УДК: 66.022.1

ПЕРСПЕКТИВА ПРОИЗВОДСТВА БАТАРЕЙ НА ОСНОВЕ ГРАФЕНА

Алнур Ильнурович Шакиртов[1], Тимур Булатович Шайсултанов[2], Роман Владимирович Чулаков[3], Флорентин Гомес Габриэль Марсело[4], Ринат Файзрахманович Юнусов [5]

КНИТУ-КАИ, г. Казань

[1,2,3,4,5]tshajsultanov@mail.ru

В данной статье рассматриваются свойства графена, его отличительные преимущества батарей, произведенных на его основе, по сравнению с обычными батареями, используемыми в повседневной жизни, а также его перспективы в производстве и использовании показаны преимущества использования графена в батареях, приведены доказательства того, что на зарядку они затрачивают намного меньше времени по сравнению с обычными литиевыми батареями. Используя различные химические соединения электродов с графеном, получены результаты, подтверждающие очень низкое внутреннее сопротивление в таких батареях.

Ключевые слова: графен, батарея, наноэлектроника, перспективы.

PERSPECTIVE OF BATTERY PRODUCTION BASED ON GRAPHEN

Alnur Ilnurovich Shakirtov, Timur Bulatovich Shaysultanov,
Roman Vladimirovich Chulakov, Florentin Gomez Gabriel Marcelo,
Rinat Faizrahmanovich Yunusov

This article discusses the properties of graphene, its distinctive advantages of batteries produced on its basis, compared with conventional batteries used in everyday life, as well as its perspectives in production and use, shows the advantages of using graphene in batteries; They spend much less time compared to conventional lithium batteries. Using various chemical compounds of electrodes with graphene, results were obtained confirming the very low internal resistance in such batteries.

Key words: graphene, battery, nanoelectronics, prospects.

Графен, по-другому называемый монослоем графита – это двумерная аллотропная модификация углерода, образованная слоем атомов углерода толщиной в один атом. Высокая подвижность носителей заряда (максимальная подвижность электронов среди всех известных материалов) делает его перспективным материалом для использования в самых различных приложениях, в частности, как будущую основу наноэлектроники. Однако у нового материала есть и определенные существенные отличия, делающие его уникальным по своей природе. Но подтверждение этим выводам было получено только в 2004 г., когда К. Новоселовым и А.Геймом впервые был получен углерод в свободном состоянии [1–4]. Это новое вещество, которое назвали графеном, и стало крупным открытием ученых. Современные технологии требуют быстрого и динамического развития. С каждым годом техника становится всё совершеннее и требует всё большего количества энергии от источников питания. Обычные литий-ионные батареи перестают соответствовать требованиям, которые необходимы современным электронным устройствам. Они не так быстро заряжаются и обладают большой массой. Решением этой проблемы может послужить графен. Его уникальные свойства позволят решить возникшие проблемы [5–6].

В опыте (рис. 1) возьмем за сравнение две батареи, абсолютно аналогичные друг другу по емкости. Единственным отличием будет их состав. Одна батарея старого образца – литий-ионная, другая – Dinogy Ultra Graphene 2.0 1300mA·h 4S 80C – одна из самых распространенных графеновых батарей. Обе имеют одинаковую ёмкость в 1300 mA·h. Время зарядки каждой батареи измеряется при одинаковом напряжении 14 V от 0 до 100 %. Поможет нам в этом зарядное устройство SKYRCD100, на дисплее которого высвечивается, напряжение и внутреннее сопротивление каждой батареи (рис. 1).



Рис. 1. Измерение внутреннего сопротивления графеновой батареи при зарядке

При зарядке графеновой батареи (рис. 2) дисплей зарядного устройства указывал внутреннее сопротивление в 20 mΩ [7]. Обычная батарея имела внутреннее сопротивление 72 mΩ, что, опять-таки, в 4 раза превышает сопротивление батарейки, содержащей графен. Батарея DinogyUltra-Graphene 2.0 1300mA·h 4S 80C содержит 89 % графена и 11 % лития [8].

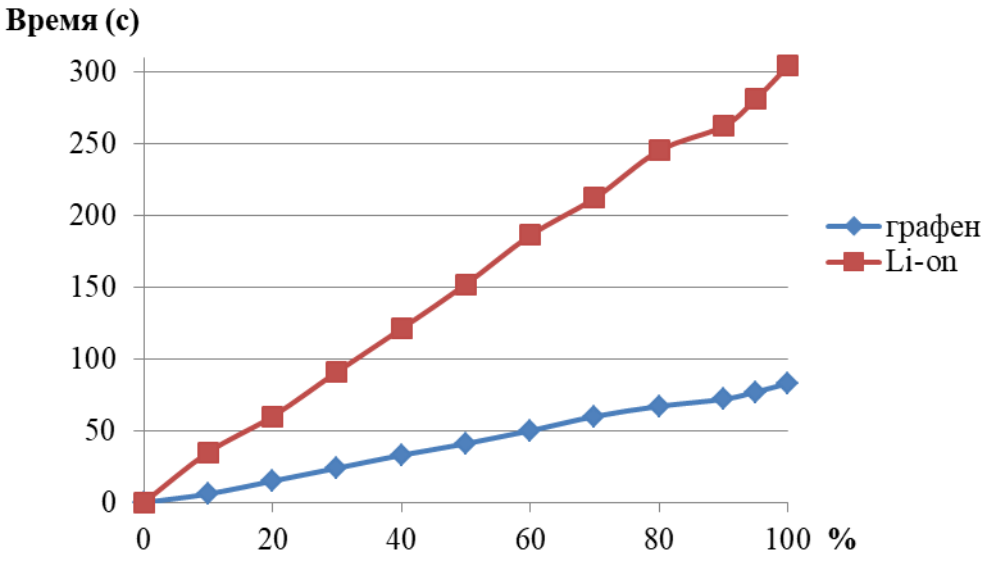


Рис. 2. Зависимость времени заряда батареи от ее состава

Установлено, что для полной зарядки графеновой батареи необходима 1 мин. 23 с. Что касается обычной батарейки, она потребовала примерно в 4 раза больше времени – 5 мин. 4 с. Происходит это потому, что графен обладает уникальным свойством – низким внутренним сопротивлением.

Используя эти данные, мы можем предположить, что при увеличении в составе батареи графена до 100 % можно практически полностью избавиться от внутреннего сопротивления, сделав графеновые батареи суперпроводниками, которые не будут нагреваться. Графен в составе батареи значительно облегчает её массу, так как сам по себе является легким материалом. Таким образом, облегчаются и устройства, использующие такие батареи, что на практике является огромным плюсом.

Источники

1. Two-dimensional atomic crystals / K.S. Novoselov [et al.] // Proceedings of the National Academy of Sciences. 2005. Vol. 102(30). P. 10439–10444.

2. Морозов Д.С. Применение наноматериалов в авиационной промышленности // Наука в движении: от отражения к созданию реальности: матер. Всерос. науч.-практ. конф. М., 2016. С. 60–65.

3. Морозов Д.С. Перспективы применения наноматериалов в энергетике // Наука в движении: от отражения к созданию реальности: матер. II Всерос. науч.-практ. конф. М., 2017. С. 79–85.

4. Юнусов Р.Ф., Кормильцев Н.В. Электронный курс по наноматериалам и нанотехнологиям // Современные научные исследования и разработки. 2016. № 3(3). С. 135–141.

5. Булатова И.М. Графен: свойства, получение, перспективы применения в нанотехнологии и нанокомпозитах // Вестник Казанского технологического университета. 2011. № 10. С. 45–48.

6. Geim A.K. Graphene: Status and Prospects // Science. 2009. Vol. 324. Is. 5934. P. 1530–1534.

7. Flexible graphene-based lithium ion batteries with ultrafast charge and discharge rates / C. Zongping [et al.] // Proceedings of the National Academy of Sciences. 2012. Vol. 109(43). P. 17360–17365.

8. All-graphene-battery: bridging the gap between supercapacitors and lithium ion batteries [Electronic resource] / K. Haegyeom [et al.] // Scientific Reports. 2014. Vol. 4, Article number: 5278.

СОДЕРЖАНИЕ

Секция 1. ПРИБОРОСТРОЕНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ ОБЪЕКТАМИ МЕХАТРОННЫХ И РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ В ТЭК И ЖКХ

Атаев Г.Н., Мустафаев В.А., Зейналабдыева И.С. Нечеткая модель управления параллельно функционирующих гибких производственных модулей в системе механообработки 3
Безкоровайный В.С., Тарасенко О.В., Яковенко В.В., Швец С.Н. К расчету магнитных систем ферромодуляционных измерительных преобразователей 10
Игнатьева О.А., Абдуллин И.И., Васильев В.В. Современные проблемы жилищно-коммунального хозяйства и пути их решения в регионах России 13
Кузнецов Б.В., Шабалина А.Ю., Ильина Л.В. Сравнительная оценка качества средств контроля и диагностики мехатронных систем 17
Ломакин И.В., Девликамова Э.Р. Анализ возможностей контроля качества электроэнергии 19
Ломакин И.В., Латыпов Р.Ф. Проблемы моделирования конечных автоматов с памятью 21
Ломакин И.В., Романова А.Н. Анализ возможностей контроля качества горячего водоснабжения 27
Ломакин И.В., Туктаров П.В. Автоматизация контроля системы электропитания автомобиля 29
Мирошников В.В., Лавренченко А.В., Булыгин Н.С. Анализ работы феррозондового магнитоизмерительного канала 35
Смирнов Ю.Н. О Внедрении цифровых платформ в промышленных предприятиях 37
Смирнов Ю.Н., Фатыхов Р.И. Об информационной безопасности промышленных предприятий в условиях цифровизации 43
Талыбов Н.Г. Модель принятия решений для определения точек перемещения лапки манипуляторов 47

Секция 2. ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА, ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И АВТОМАТИЗИРВОАННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД В ТЭК И ЖКХ

Абубакирова А.Р., Губаева О.Г. Актуальность безопасного производства работ под напряжением на ВЛ 0,4 кВ 54

Авилов А.В., Авилова Н.В., Тринц Д.В. Исследование собственных мод колебаний ЛЭП методом начальных параметров 55
Азимова Л.А. Электропривод на программном управлении 59
Акопов В.С., Салова И.А. Анализ распределения тепловых полей в противообледенительных системах в ЖКХ 64
Афонин В.И., Андрианов Д.П., Бадалян Н.П. Исследование влияния конструктивных факторов на шумы электродвигателей для привода пассажирских лифтов 70
Ахмедов Д.А., Ахмедов А.Д. Диагностическая оценка состояния электрической машины без отключения от работы 80
Ахмедова Т.А., Мамедов Д.Ф., Абдуллаев Г.С., Алиев И.Р. Применение программных средств для автоматизированного выбора и проектирования элементов системы управления ГПС 85
Баламетов А.Б., Салимова А.К., Гаджиев Н.И. Анализ эффективности смешанных распределительных электрических сетей низкого напряжения 92
Бебихов Ю.В., Кугушева Н.Н., Семёнов А.С. Определение токов короткого замыкания в системе электроснабжения методом математического моделирования 100
Бодылев А.С., Шакиров Р.Р., Рябишина Л.А. Способы и устройства обеспечения электромеханической совместимости в асинхронных электроприводах 107
Буллер А.Е., Кузнецова Е.А., Никонов С.Д., Омельченко С.Д. Методы прямой и косвенной оценки нагрева элементов реактивных электродвигателей 113
Вайтеленок Л.В. Оценка погрешностей фильтров Фурье для устройств релейной защиты в режимах насыщения траснформаторов тока 121
Васильев И.П., Дмитриев С.А., Рогов А.Е. Факторы, влияющие на расход топливно-энергетических ресурсов на тягу поездов 129
Вассунова Ю.Ю., Увакин А.Е. Контроллер как координатор в информационной системе предприятия 137
Гаджибалаев Н.М., Джаббарова С.М. Учет насыщения и формы кривой магнитного поля в синхронных машинах с продольно-поперечным возбуждением 142
Гасымов А.Г., Байрамалиева Э.Н., Мамедзаде Р.К. Исследование токовой компенсации для автоматического регулирования напряжения 152

Гулиев Г.Б., Рахманов Н.Р., Мустафаев А.А. Моделирование потокораспределения в электрической сети при линеаризированном представлении уравнения реактивной мощности 160
Егоров А.Н., Семёнов А.С., Харитонов Я.С. Анализ электромагнитной совместимости при использовании частотно-регулируемого электропривода на промышленных предприятиях 166
Ерошин С.С., Махортова Н.В., Победа Т.В. Исследование устойчивости вращения безопорного ротора дискового асинхронного электродвигателя 172
Зарбалиев М.М., Янушкевич К.И., Бархалов Б.Щ., Исмаилов М., Алигулиева Х.В. Об электропроводности полупроводниковых твердых растворов $TlIn1–xCe_xTe2$ ($0 \le x \le 0{,}07$) в сильных электрических полях 174
Имамиев А.Р., Погодицкий О.В. Синтез цифрового фильтра внутреннего контура системы газоанализатора 178
Клянченков Д.А. Матричные преобразователи частоты 182
Коротков С.М. Повышение эффективности мощных преобразователей переменного напряжения в постоянное для систем бесперебойного электропитания постоянного тока 188
Кузнецов А.Б., Егоров В.О., Шаймуллина А.Ф., Кузнецов Б.В. Особенности системного подхода к проблеме разработки требований к ремонтопригодности мехатронных объектов 196
Кузнецов Н.М. Энергоэффективность в северных регионах Северо-западного Федерального округа 199
Кузнецов В.А., Одрузова В.А. Устройство, позволяющее оптимизировать режимы работы гидроэлектростанции 206
Лахменев А.С., Саушев А.В. Автоматизация системы отопления посредством электропривода в концепции «Умный дом» 212
Макаров В.Г., Аббазов А.Т. Компьютерное моделирование асинхронного электропривода с частотным регулированием при поддержании постоянства потокосцепления статора 219
Макаров В.Г., Гараев Н.И. Компьютерное моделирование разомкнутой мехатронной системы «Автономный инвертор напряжения – трехфазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором» 224
Малёв Н.А., Харитонов А.А. Анализ влияния перекрестных связей в вентильном двигателе 230

Митрофанов Н.А. Моделирование работы синхронного генератора с нессиметрией фазных обмоток статора и насыщением магнитопровода 234
Митрохина А.А., Доманов В.И. Исследование возможности создания энергоэффективного асинхронного двигателя 243
Муллаянов Т.Ф. Исследование электромеханической совместимости в асинхронном электроприводе 245
Мусаев З.Н., Балаева А.Г. Возврат потерянной механической энергии в тормозной системе транспорта 250
Нафикова А.А. Роль технологических потерь в статегии управления потерями распределительной сетевой компании 255
Нурбосынов Д.Н., Табачникова Т.В., Рюмин Е.В. Теоретические основания внедрения электродвигателей с аморфными сердечниками в условиях нефтегазовой промышленности 258
Петровнин Д.Н. Диспетчеризация насосных станций 263
Пугачев А.А., Седых С.В. Моделирование электроприводов с системой прямого управления моментом асинхронного двигателя 265
Пушкарев А.Э., Хайруллин С.А. Морфологический и термодинамический анализ способов энергосбережения на газораспределительных станциях магистральных газопроводов 273
Ризванов Р.Р., Губаева О.Г. Расчет переходных процессов в сетях 6–10 кВ, работающих с изолированной и компенсированной нейтралью при однофазном замыкании на землю 281
Рыбак А.Т., Цыбрий И.К., Пелипенко А.Ю. Энергосбережение при эксплуатации и испытаниях гидроцилиндров 283
Рыбин А.Г., Савенко А.Е. Автоматизация резервного электроснабжения региональной службы управления движением судов керченского пролива 288
Савенко А.Е., Османов Э.Ш. Выбор типа и схемы регулирования электрического генератора для надежной работы ветроэлектроустановок 295
Сидоров А.Е., Литвиненко М.С., Трутнева Е.В. Подход к оптимизации потерь в распределительных сетях низкого напряжения при географической непривязанности приемников электрической энергии 305
Сидоров С.Н., Старостина Я.К., Ширманов И.Н. Разработка маловентильного асинхронного электропривода 308

Сиразутдинов Ф.Р. Повышение надежности защиты автотрансформатора с учетом ближнего резервирования 314
Соколова И.А. Создание многофункциональных электромеханических систем на базе асинхронных машин 320
Соловьева С.И., Корольков А.Ю., Павлов П.П. Модернизация вспомогательного электропривода 327
Стрельцова А.А. Электропривод постоянного тока с широтно-импульсным регулированием 330
Толокнова О.М., Саушев А.В., Шошмин В.А. Особенности проектирования сетей низшего напряжения морских и речных портов 336
Торкунова Ю.В. Прикладные IT-решения в энергетическом секторе и их влияние на подготовку IT-специалистов 338
Фаляхов А.К. Модернизирование асинхронных двигателей регулируемого электропривода 340
Фархадов З.И., Гудратли И.Р. Автоматическое регулирование скорости электропривода постоянного тока на основе нечеткой логики 345
Ха Дык Нгуен, Валеев И.М. Совершенствование алгоритма расчета параметров режимов работы распределительной сети 351
Хуснутдинов А.Н. Применение солнечной энергии при решении проблем энергообеспечения 359
Хуснутдинов А.Н. Автоматизация коммерческого учета электроэнергии как средство снижения коммерческих потерь 361
Цветков А.Н., Цветкова О.В., Цветкова А.А. Прибор для построения ваттметрграмм электрооборудования систем электроснабжения 362
Черепенькин И.В., Хуснутдинов А.Н. Повышение эффективности рекуперативного торможения на электрическом транспорте 369
Чуприна Н.В., Толкачев К.В. Сравнительная характеристика устройств плавного пуска асинхронного двигателя 374
Шайдуллин И.А., Губаева О.Г. Расчет феррорезонансных процессов в сетях 6–10 кВ, работающих с изолированной нейтралью 379
Шакиров А.А., Зарипова Р.С. Проектирование автоматизированной системы управления освещением жилого дома 381
Шарафутдинов Д.Р., Туганов А.С., Петрова М.В. Разработка и эксплуатация стенда для проверки рабочих характеристик автомобильного генератора 384
Шмелёв В.Е., Сбитнев С.А. Моделирование потерь электроэнергии в однофазном трансформаторе по линейной схеме замещения 387

Шмидтберг А.В., Максимов В.В. Условия возникновения электрических разрядов на гирлянде изоляторов при проведении УФ-диагностики..... 398
Шмидтберг А.В., Максимов В.В. Оценка влияния внешних условий на интенсивность УФ-излучения изоляторов..... 399

Секция 3. ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ТЭК И ЖКХ

Абдуллаева С.Д. Конвективный теплообмен в условиях сверхкритических давлений жидкости 401
Алескеров Г.А. Обработка подпиточной воды для тепловых сетей по бессточному методу 405
Бархалов Б.Ш., Зарбалиев М.М., Байрамов Д.Д., Тагиев С.И. Теплопроводность экструдированных образцов $Bi_{0,7}Sb_{1,3}Te_{2,93}Se_{0,07}$, легированных атомами диспрозия 409
Березина В.П., Карпов Ф.Д., Лемешева В.А., Карпов Д.Ф. Метод неразрушающего контроля теплопроводности ограждающей строительной конструкции при стационарном тепловом режиме..... 414
Березина В.П., Климов Е.Ю., Лойко А.А., Карпов Д.Ф. Популяризация российской науки и высшего образования на примере инновационных обучающих пособий по направлениям подготовки «Строительство» и «Теплоэнергетика и теплотехника»: взгляд студента 422
Гильфанов Б.А., Власов С.М. Системы водоочистных сооружений 428
Голицына Л.А., Голицын С.А. О совершенствовании вентиляционного оборудования в лазерно-технологическом комплексе в целях снижения выбросов оксида железа 430
Даев Ж.А. Решение задач автоматизации процессов транспортировки природного газа методами нечеткого моделирования 433
Даминов А.З., Камалов Р.Ф., Соломин И.Н. Моделирование профиля лопаток полуоткрытого колеса детандера для органического рабочего тела 441
Долгова А.Н., Сысоев М.Н., Сысоев А.Н. Применение частотно-регулируемого привода в системах тепло- и водоснабжения на объектах ЖКХ..... 447
Еременко О.В., Новикова А.С. Инновационные технологии, оптимизирующие энергопотребление на производственных объектах нефтегазового предприятия..... 449

Камалов Р.Ф., Здор В.О., Шакиров А.И. Исследование теплопереноса при циркуляционном подогреве мазута в резервуаре РВС-3000 454
Камалов Р.Ф., Шакиров А.И. Исследование интенсификации теплообмена в мазутоподогревателе ПМ-10-60 459
Карпов Д.Ф., Синицын А.А. Некоторые результаты исследования теплового баланса почвы (фрезерного торфа) при инфракрасном нагреве 459
Карпов Д.Ф. Средство и метод теплового контроля основных теплофизических свойств строительных материалов и изделий 463
Курбанов М.М., Годжаев М.М., Мамедов С.Д. Тепловые и упругие свойства монохалькогенидов галлия 469
Лукин С.В., Черникова Ю.С. Охлаждение насыщенного влагой воздуха перед ПГУ-420 в теплообменниках комплексного воздухоочистительного устройства 474
Мамедов Н.Я. Анализ возможностей применения современных информационных технологий в энергоэффективном строительстве 479
Новичков С.В., Морычев А.С. Анализ влияния видов дефектов на длительность ремонта трехконтурного котла-утилизатора 488
Ростунцова И.А. Исследования снижения воздействия городских ТЭЦ на окружающую среду 492
Ростунцова И.А., Дмитриев А.А. Повышение энергоэффективности блоков АЭС интенсификацией теплообменных процессов при конденсации пара 499
Чехонина О.С., Хуснутдинов А.Н. Перспективы применения тепловых насосов: отечественный и зарубежный опыт 506

Секция 4. АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ИНЖЕНЕРНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

Байгильдин Д.Р. Индекс инклюзивного роста как инструмент справедливой оценки социально-экономического развития муниципальных образований: на примере Республики Татарстан 509
Гришаев В.Ю., Соломатин В.П. Современные технологии в инженерном образовании 515
Доломанюк Л.В., Степанова Е.М., Петров Т.И., Сафин А.Р. Мотивация абитуриентов при выборе энергетического образования 519

Ехлакова Е.А. Современные проблемы инженерно-технического образования 523
Загриева С.И., Куценко С.М. Компьютерное тестирование как способ оценивания знаний 527
Кривоногова А.Е., Зарипова Р.С. Выбор языка программирования при обучении инженеров 532
Кузьмина Л.П. Управление человеческими ресурсами организации в рамках выполнения курсовой работы 535
Магфурова А.Ф., Хуснутдинов А.Н., Хуснутдинова Э.М., Киснеева Л.Н. Проблемы российского законодательства об энергосбережении в сфере жилищно-коммунального хозяйства 541
Миронова Е.А., Лопухова Т.В., Ахметова Р.В., Маргулис С.М. Опыт профессиональной переподготовки специалистов сетевой компании 542
Миронова Е.А. Проектирование и отбор содержания учебной дисциплины на основе технологии опережающей подготовки 548
Нуруллина Э.Р., Хизбуллина Р.Р. Подготовка кадров для энергетической отрасли: социологические и маркетинговые аспекты 553
Пелевин О.В., Юсупова И.В. Тенденции агломерационного развития Республики Татарстан 558
Пырнова О.А., Зарипова Р.С. Особенности и тенденции развития современного инженерного образования 564
Соколова Ю.С., Салтанаева Е.А. Базы данных в рамках всеобщей информатизации на примере автоматизации учебных процессов 567
Хайруллин А.М., Зарипова Р.С. Обучение будущих инженеров робототехнике – вложение в конкурентоспособность страны 569
Чехонина О.С., Бурганов Р.А. Методика классификации и расчета энергоиздержек фирмы в сфере потребления энергии 573

Секция 5. ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА И СВЕТОТЕХНИКА

Агеев С.Н., Железникова О.Е., Проничкина С.Е., Синицына Л.В. Лабораторные исследования условий освещения светодиодами второго поколения при выполнении зрительных работ производственного характера 577
Ахметвалеева Л.В., Гаязов Г.З. Создание отладочных плат для проектирования и исследования микроконтроллерных устройств 579

Бабаев А.А., Атишев А.А., Немов В.В., Пильщикова Ю.А. Исследование спектральных характеристик диммируемых светодиодных ламп 581
Бабаев А.А., Атишев А.А., Немов В.В., Пильщикова Ю.А. Исследование параметров диммируемых светодиодных ламп 583
Байнева И.И. Системы управления освещением на современном производстве 589
Кесель Л.Г., Андреев Я.С. Направление повышения энергетических характеристик промышленных лазеров 595
Оруджев Т.Я., Абдуллаева С.Г., Оруджев С.К., Гусейнов А.Б., Джаббаров Р.Б. Применение светодиодных подложек на основе углеродных нанотрубок и керамики 598
Садыков М.Ф., Корышкин И.М., Муртазина Г.Р. Создание малых систем распределенной энергетики с использованием инвертора для совмещения альтернативных и традиционных источников энергии 603
Султанов Д.В., Вилков А.А., Немов В.В., Пильщикова Ю.А. Исследование параметров компактных люминесцентных ламп, применяемых для освещения жилых зданий 605
Шакиртов А.И., Шайсултанов Т.Б., Чулаков Р.В., Флорентин Гомес Габриэль М., Юнусов Р.Ф. Перспектива производства батарей на основе графена 611

Научное издание

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ И АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД В ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ КОМПЛЕКСЕ И ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Материалы
IV Национальной научно-практической конференции

6–7 декабря 2018 г.

В двух томах

Том 2

Корректор: С.Н. Чемоданова
Компьютерная верстка: И.В. Краснова
Дизайн обложки Ю.Ф. Мухаметшина

Подписано в печать 18.09.19.
Формат 60×84/16. Бумага ВХИ. Гарнитура «Times». Вид печати РОМ.
Усл. печ. л. 35,88. Уч.-изд. л. 26,98. Тираж 30. Заказ № 5177.

Редакционно-издательский отдел КГЭУ
420066, г. Казань, ул. Красносельская, 51