

УТВЕРЖДАЮ

**Исполняющий обязанности ректора
ФГАОУ ВО «Северный
(Арктический) федеральный
университет имени М.В. Ломоносова»**

доктор политических наук, доцент



Д.В. Данилов

Д.В. Данилов

2026г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова»

Диссертационная работа «Повышение энергоэффективности Архангельской области путем увеличения надежности работы котлоагрегатов с кипящим слоем» выполнена на кафедре «Теплоэнергетика и теплотехника» Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Северный (Арктический) Федеральный Университет имени М.В. Ломоносова».

В период подготовки диссертации соискатель Терехин Алексей Павлович являлся аспирантом на кафедре «Теплоэнергетика и теплотехника» ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) Федеральный Университет имени М.В. Ломоносова» с 2022 года по настоящее время.

В 2020 году Терехин А.П. закончил бакалавриат Северного (Арктического) Федерального Университета по направлению подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника».

В 2022 Терехину А.П. присуждена степень магистра по направлению подготовки 13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника».

Научный руководитель – Павел Андреевич Марьяндышев, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Теплоэнергетика и теплотехника».

Диссертационная работа «Повышение энергоэффективности Архангельской области путем увеличения надежности работы котлоагрегатов с кипящим слоем» обсуждалась на заседании кафедры «Теплоэнергетика и теплотехника» Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Северный (Арктический) Федеральный Университет имени М.В. Ломоносова». По итогам обсуждения на заседании принято заключение:

Актуальность темы диссертационной работы

Экономика России во многом опирается на предприятия энергоёмких отраслей. Бесперебойная работа крупных предприятий напрямую зависит от стабильности их энергетического обеспечения, что делает главной задачей эффективную эксплуатацию и обслуживание соответствующих энергосистем данных предприятий.

Одни из наиболее энергоёмких отраслей Архангельского энергорайона - целлюлозно-бумажные и картонные производства, обеспечение которых до сих пор преимущественно зависит от ископаемых видов топлива – каменного угля, мазута и природного газа. Данная ситуация сложилась из-за двух основных факторов: высокой энергоёмкости целлюлозно-бумажной отрасли и роли таких предприятий в обеспечении энергетических потребностей близлежащих населённых пунктов. Так одни из крупнейших ЦБП предприятий региона – Архангельский ЦБК и Котласский ЦБК обеспечивают потребности населения в электро и теплоэнергии.

Сократить долю ископаемых топлив возможно за счёт использования вторичных энергоресурсов — например, заменой части ископаемого топлива в энергобалансе побочными продуктами производства. Одним из таких побочных продуктов являются кородревесное топливо и осадок сточных вод. Повышение эффективности энергетического использования осадка является важной задачей для сокращения доли традиционных топлив. На целлюлозно-бумажных предприятиях осадок получается в результате очистки промышленных и городских сточных вод.

Осадок сточных вод и кородревесное топливо играют важную роль в энергетической системе Архангельского ЦБК. За 2025 год на предприятии энергетически утилизировано около 130 тыс. тонн влажного осадка сточных вод и около 400 тыс. тонн кородревесного топлива или 9 тыс. т.у.т. и 100 тыс. т.у.т. соответственно. На предприятии основным топливом является каменный уголь. Его среднее годовое потребление за 2020 – 2024 года составляло 550 тыс. т.у.т. в год. Также значительную долю в топливном балансе предприятия занимает возобновляемое топливо – черный щелок с годовым потреблением около 250 тыс. т.у.т. Годовой расход вспомогательного топлива (мазут М100) составляет 5 тыс. т.у.т. Доля биомассы (кородревесное топливо, осадок и щелок) в энергобалансе предприятия составляет примерно 40 %, доля осадка сточных вод и древесного топлива составляет 0,99% и 11,00%. Доля осадка сточных вод и кородревесного топлива в топливном балансе региона

суммарно составляет 4,2%, а в энергобалансе 0,87% от установленной мощности.

Выработка электроэнергии за счет сжигания осадка сточных вод и кородревесного топлива осуществляется на двух теплоэлектростанциях АО Архангельского ЦБК – ТЭС-1 и энерготехнологической ТЭС-3. На ТЭС-1 установлен котельный агрегат Е-83,5-9,8-540 ДФ, работающий в общую магистраль с 5 угольными и 1 газовым котлом (все БКЗ-210-100). Выработка электроэнергии производится 3 паровыми турбинами марки ПТ и двумя противодавленческими турбинами марок ПР и Р. Доля биомассы в выработке электроэнергии на ТЭС-1 составляет примерно 10 МВт. Энерготехнологическая ТЭС-3 вырабатывает электроэнергию и отпускает технологический пар при помощи трех турбин среднего давления типа Р, которые работают от общей паровой магистрали по тепловому графику нагрузки производства. Выработка перегретого пара осуществляется пятью котельными агрегатами – Е-75-3,9-440 ДФТ, КМ75-40М и тремя СРК-770. Доля электроэнергии вырабатываемой за счет сжигания осадка сточных вод и кородревесного топлива составляет около 8 МВт.

Работа направлена на оптимизацию энергетического использования альтернативных видов топлива: кородревесных отходов осадка сточных вод — в действующих энергоустановках с кипящим слоем Архангельского энергорайона. За счёт наращивания доли альтернативных источников в энергетическом балансе района удастся уменьшить привязанность региона к ископаемому топливу. Диверсификация энергоресурсов обеспечит более высокую надёжность энергосистемы, одновременно сокращая вредное влияние энергетических объектов на экологию региона.

Связь диссертационной работы с приоритетными научно-исследовательскими работами

Диссертационная работа соответствует:

- Энергетической стратегии России на период до 2050 года, утвержденная распоряжением Правительства РФ от 12.04.2025 г. № 908-р.

- Доктрине энергетической безопасности России, утвержденной указом президентом Российской Федерации 13 мая 2019 года, утвержденная указом Президента РФ от 13 мая 2019 г. № 216.

- Направлению из стратегии научно-технологического развития Российской Федерации до 2035 года, утвержденную указом Президента РФ 28 февраля 2026 № 145: «Переход к экологически чистой и ресурсосберегающей энергетике, повышение эффективности добычи и глубокой переработки углеводородного сырья, формирование новых источников энергии, способов ее передачи и хранения».

Научная новизна исследований

1. Получены данные о работе котельных агрегатов с кипящим слоем сжигающих осадок сточных вод и кородревесное топливо.

2. Впервые получены экспериментальные данные о процессе агломерации частиц топливной золы и инертного материала кипящего слоя, влияющего на эффективность и надежность работы промышленного котельного агрегата.

3. Разработаны технические мероприятия, направленные на увеличение энергоэффективности Архангельской области путем повышения надежности работы котельных агрегатов с кипящим слоем и увеличением их межремонтного периода.

Практическая значимость полученных результатов

1. Разработаны технические мероприятия по повышению эффективности и надежности работы котельных агрегатов с пузырьковым кипящим слоем.

2. Экспериментально подтвержден метод расчета концентрации оксида калия в материале кипящего слоя.

Реализация результатов работы

По результатам разработаны технические мероприятия направленные на повышение надежности и энергоэффективности котельных агрегатов с кипящим слоем. Результаты внедрены на предприятии АО «Архангельский ЦБК».

Соответствие диссертации паспорту научной специальности

Диссертация является научно-квалификационной работой, соответствует паспорту научной специальности 2.4.5 Энергетические системы и комплексы по пунктам 3,4 и 6.

Достоверность и обоснованность полученных результатов

Достоверность и обоснованность результатов подтверждаются комплексными и всесторонними исследованиями, основанными на апробированных методиках экспериментальных исследований; большим объемом экспериментальных и опытных данных, повторяемостью экспериментов; сравнением полученных данных с результатами ранее опубликованных научно-исследовательских работ; применением современного программного обеспечения и средств измерения; подтверждением результатов экспериментальными данными.

Личный вклад автора

Личный вклад автора состоит в подготовке литературного обзора, разработке программ и проведение промышленных испытаний котельных агрегатов, проведении теоретического анализа, натурных экспериментов,

апробации результатов и подготовке публикаций по тематике научного исследования.

Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем ученой степени

Всего автором опубликованы 13 научных работ по теме диссертационной работы. В журналах, включенных в перечень ведущих рецензируемых журналов и изданий ВАК, опубликовано 6 работ. В журналах первого квартиля (К1) ВАК опубликованы 4 работы и в журналах второго квартиля (К2) – 2 работы. В базы данных цитирования Scopus, Web of Science включены 6 статей, 1 публикация включена в первый квартиль (Q1) базы данных Web of Sciences. 7 статей включены в ядро РИНЦ. В белый список включены 6 работ, 1 работа опубликована в журнале 1 уровня (У1), 3 работы опубликованы в журналах 2 уровня (У2), 2 работы опубликовано в журналах 4 уровня (У4).

Публикации в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России и приравненных к ним по специальности

2.4.5

Терехин, А. П. Эффективность энергетического использования отходов целлюлозно-бумажного производства в котлоагрегатах с кипящим слоем Е-75-3,9-440 ДФТ и КМ-75-40М / А. П. Терехин, П. А. Марьяндышев, А. Брийард // Электрические станции. – 2024. – № 7(1116). – С. 2-10. – DOI 10.71841/ep.elst.2024.1116.7.01.

Термический анализ древесных отходов и осадка сточных вод, сжигаемых в кипящем слое на ТЭС-3 АО «Архангельский ЦБК» / А. П. Терехин, А. Брийард, П. А. Марьяндышев [и др.] // Электрические станции. – 2025. – № 2(1123). – С. 2-11. – DOI 10.71841/EP.elst.2025.1123.2.01.

Терехин, А. П. Влияние химического состава биомассы на процесс агломерации в псевдоожиженном слое котлоагрегата Е-75-3,9-440 ДФТ / А. П. Терехин, П. А. Марьяндышев, В. К. Любов // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. – 2024. – № 1. – С. 20-27. – DOI 10.17588/2072-2672.2024.1.020-027.

Терехин, А. П. Проблемы энергетического использования осадка сточных вод в котлоагрегате с кипящим слоем Е-75-3,9-440 ДФТ / А. П. Терехин, П. А. Марьяндышев // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2025. – Т. 27, № 5. – С. 106-117. – DOI 10.30724/1998-9903-2025-27-5-106-117. – EDN QZPTNU.

Терехин, А. и Марьяндышев, П. 2026. Исследование параметров производства пеллет из осадка сточных вод. Bulletin of the South Ural State University series «Power Engineering». 26, 1 (мар. 2026), 92-100. DOI:<https://doi.org/10.14529/power260111>.

**Публикации в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных
ВАК Минобрнауки России и приравненных к ним по другим научным
специальностям**

Термическое разложение пеллет из смеси торфа и кородревесных отходов / А. П. Терехин, П. А. Марьяндышев, И. И. Голованова, А. А. Громов // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2025. – № 3(405). – С. 145-154. – DOI 10.37482/0536-1036-2025-3-145-154.

**Научные статьи, опубликованные в международных базах цитирования
Scopus и (или) Web of Science**

Terekhin, A.P., Maryandyshev, P.A., & Brillard, A. (2026). Operation factors influencing bed agglomeration in an industrial fluidized bed boiler. *Fuel*, 425, 139421. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2026.139421>

Термическое разложение пеллет из смеси торфа и кородревесных отходов / А. П. Терехин, П. А. Марьяндышев, И. И. Голованова, А. А. Громов // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2025. – № 3(405). – С. 145-154. – DOI 10.37482/0536-1036-2025-3-145-154.

Maryandyshev, P. A. Effect of Moisture on the Characteristics of Co-Incineration of Pulp and Paper Sludge and Municipal Waste / P. A. Maryandyshev, A. Brillard, A. P. Terekhin // *Solid Fuel Chemistry*. – 2025. – Vol. 59, No. 4. – P. 311-318. – DOI 10.3103/S0361521925700211.

Terekhin, A. P. Investigation of the Morphology, Composition, and Structure of Dehydrated Sewage Sludge of a Pulp and Paper Enterprise / A. P. Terekhin, P. A. Maryandyshev, A. Brillard // *Solid Fuel Chemistry*. – 2024. – Vol. 58, No. 6. – P. 459-464. – DOI 10.3103/S0361521924700368.

Terekhin, A. P. Efficiency of Power Application of Pulp and Paper Production Waste in E-75-3.9-440 DFT and KM-75-40M Fluidized Bed Boilers / A. P. Terekhin, P. A. Maryandyshev, A. Briard // *Power Technology and Engineering*. – 2025. – Vol. 58, No. 5. – P. 816-823. – DOI 10.1007/s10749-025-01887-2. (Переводная версия).

Gromov, A.A., Alekseev, P.D., Terekhin, A.P. et al. Characterization of the Pyrolysis Products of Hydrolytic Lignin and Sewage Sludge Using Pyrolytic Gas Chromatography. *Solid Fuel Chem.* 59, 444–454 (2025). <https://doi.org/10.3103/S0361521925600348>

Публикации в других изданиях

Сжигание кородревесного топлива и осадка сточных вод в кипящем слое / В. К. Любов, А. Н. Попов, А. П. Терехин [и др.] // Теплообмен и гидродинамика в закрученных потоках : сборник научных трудов X международной конференции, Архангельск, 20–22 октября 2025 года. – Архангельск: Общество с ограниченной ответственностью

"Консультационное информационно-рекламное агентство", 2025. – С. 288-290. – EDN NVCRUT.

Любов, В. К. Термогравиметрическое исследование древесного биотоплива, идущего на сжигание в ТЭС-1 АО "Архангельский ЦБК" / В. К. Любов, А. П. Терехин // Арктические исследования: от экстенсивного освоения к комплексному развитию : Материалы III Международной молодежной научно-практической конференции, Архангельск, 26–28 апреля 2022 года. – Архангельск: Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, 2022. – С. 474-478. – EDN OUKBHA.

Ценность научных работ соискателя

Ценность научных работ состоит в разработке технических мероприятий по повышению надежности работы котельных агрегатов с кипящим слоем сжигающих осадок сточных вод и кородревесное топливо:

Предложен метод контроля агломерации материала кипящего слоя с частицами топливной золы – контроль содержания оксидов калия в слое.

Предложены и испытаны режимные мероприятия по исключению процесса агломерации и повышению надежности работы кипящего слоя.

Разработаны технические мероприятия по исключению процесса агломерации материала кипящего слоя.

Рекомендации и выводы

Диссертационная работа Терехина Алексея Павловича «Повышение энергоэффективности Архангельской области путем увеличения надежности работы котлоагрегатов с кипящим слоем» актуальна, характеризуется логичностью построения, аргументированностью основных научных положений и выводов, а также четкостью изложения.

Диссертационная работа соответствует основным приоритетным научно-исследовательским направлениям Российской Федерации в области экологически чистой и ресурсосберегающей энергетики, энергоресурсоэффективности и декарбонизации промышленных выбросов.

Научные и практические результаты диссертационного исследования представлены в публикациях в журналах перечня ВАК при Минобрнауки и индексируемых в международных базах Scopus и Web of Science, доложены на конференциях.

Диссертационная работа Терехина А.П. является завершенной научно-квалификационной работой, соответствует паспорту научной специальности 2.4.5 Энергетические системы и комплексы по пунктам 3,4 и 6.

Диссертационная работа «Повышение энергоэффективности Архангельской области путем увеличения надежности работы котлоагрегатов с кипящим слоем» выполнена в рамках деятельности молодежной лаборатории, проект № FSRU-2024-0007.

Индустриальным партнером является АО «Архангельский ЦБК», где внедрены результаты научной работы с подтверждающим актом об использовании результатов диссертационной работы.

С учетом научной зрелости автора, актуальности, научной новизны и практической значимости работы, а также ее соответствия требованиям, предъявляемым ВАК Минобрнауки России, установленным в пп. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней к диссертационным работам на соискание ученой степени кандидата наук, диссертация на тему: «Повышение энергоэффективности Архангельской области путем увеличения надежности работы котлоагрегатов с кипящим слоем» Терехина Алексея Павловича рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.5 «Энергетические системы и комплексы».

Заключение принято на заседании кафедры «Теплоэнергетика и теплотехника» ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) Федеральный Университет имени М.В. Ломоносова».

Присутствовало на заседании 15 человек, из них 2 доктора наук. Результаты голосования: «за» - 15 человек, «против» - нет, «воздержались» - нет, протокол №4 от «23» апреля 2026 г.

Председатель заседания,
Профессор кафедры
«Теплоэнергетика и теплотехника»,
доктор технических наук, профессор



В.К. Любов

И.о. зав. Кафедрой
«Теплоэнергетика и теплотехника»,
доктор технических наук, профессор



Марьяндышев П.А.

Сведение о лице, утвердившем заключение

Данилов Михаил Викторович, доктор политических наук, доцент ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) Федеральный Университет имени М.В. Ломоносова», и.о. ректора

163002, г. Архангельск, набережная Северной Двины, д. 17.

Тел. +7 (8182) 21-89-20

E-mail: rector@narfu.ru

Личную подпись <i>Любова В.К.</i>	подпись <i>Марьяндышев П.А.</i>
заверяю: ученый секретарь ученого совета	ученый секретарь ученого совета САФУ
<i>Е.Б. Раменская</i> Е.Б. Раменская	<i>Е.Б. Раменская</i> Е.Б. Раменская
« 22 » мая 2026	« 26 » мая 2026

