

ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора физико-математических наук, профессора,
члена-корреспондента РАН **Стрижака Павла Александровича**
на диссертацию **Терехина Алексея Павловича** на тему
**«Повышение энергоэффективности Архангельской области путем
увеличения надежности работы котлоагрегатов с кипящим слоем»,**
представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 2.4.5 «Энергетические системы и комплексы»

Диссертационное исследование выполнено в рамках направления применения вторичных региональных ресурсов для создания смесевых топлив с обеспечением энергетического суверенитета и снижения эмиссионных показателей работы энергетических установок. Одна из главных задач Энергетической стратегии России на период до 2050 года – переход к экологически чистой и ресурсосберегающей энергетике, рациональному природопользованию, энергетической эффективности и безопасности, диверсификации используемых видов топлива и энергии. Наиболее энергоемкие отрасли Архангельского энергорайона – целлюлозно-бумажные и картонные производства. Основные топлива в регионе: каменный уголь, мазут и природный газ. В диссертации предложена замена части ископаемого топлива в энергобалансе побочными продуктами производства – осадком сточных вод и кородревесным топливом. В настоящее время такие решения актуальны и востребованы во всем мире. Нередко применяются композиционные топлива с долей вторичных ресурсов от 10% до 60%. На объектах малой энергетики применяются ненефтяные топлива из вторичных ресурсов с решением ключевых задач: утилизация отходов; сбережение ископаемых ресурсов; расширение номенклатуры сырья; снижение эмиссии. **Тематика диссертационных исследований** является, безусловно, актуальной.

Тема диссертации соответствует приоритетному направлению **развития науки, технологии и техники РФ: п. 8 «Энергоэффективность, энергосбережение и ядерная энергетика»,** направлению Н2 стратегии научно-технического развития России **«Переход к экологически чистой и**

ресурсосберегающей энергетике, повышение эффективности добычи и глубокой переработки углеводородного сырья, формирование новых источников, способов транспортировки и хранения энергии».

Диссертация **состоит из введения, четырех глав и заключения.** Рукопись хорошо структурирована. В конце диссертации представлены приложения с пояснением опыта внедрения результатов исследований в отрасли, образовательной и научной деятельности.

Во введении автор сформулировал проблему, на решение которой направлены исследования, и обосновывал целесообразность их проведения с акцентом на применение совокупности экспериментальных и расчетных методов. Обоснована целесообразность комплексных методов и подходов.

В первой главе представлены известные результаты исследований процессов энергетического использования осадка сточных вод и кородревесного топлива. Определено влияние энергетического использования этих видов топлива на энергосистему Архангельской области, а также технологии повышения энергетической ценности осадка сточных вод и кородревесного и проблемы, связанные со сжиганием биомассы в котельных агрегатах с кипящим слоем. Выделены актуальные нерешенные задачи. Сформулированы основные выводы по главе.

Во второй главе представлены результаты исследований влияния осадка сточных вод на энергосистему Архангельской области. Проведены термические, элементные и морфологические исследования КДТ и ОСВ с целью увеличения эффективности их энергетического использования в котельных агрегатах с кипящим слоем. Показано, что осадок сточных вод обладает высокой теплотой сгорания и повышенной зольностью. Установлены характеристики пиролиза образцов. Сформулированы основные выводы по главе.

В третьей главе приведены результаты комплексного исследования работы котлоагрегатов, использующих технологию кипящего слоя для сжигания низкокачественного топлива — кородревесного топлива и осадка сточных вод. При исследованиях работы котельных агрегатов с кипящим слоем выявлены основные эксплуатационные проблемы: агломерация материала кипящего слоя и частиц топливной золы; шлакование, загрязнение и эрозия поверхностей

нагрева; неравномерное распределение топлива и температуры в кипящем слое. Сформулированы основные выводы по главе.

В четвертой главе приведены результаты исследования процесса агломерации материала кипящего слоя в котлоагрегате Е-75-3,9-440 ДФТ в процессе его эксплуатации от пуска до останова. Установлены причины агломерации. Для исключения процесса агломерации материала слоя и частиц топливной золы предложены технические мероприятия. Сформулированы основные выводы по главе.

В заключении отражены основные выводы и результаты выполненных исследований.

В приложении А приведен акт о внедрении результатов диссертационной работы в учебный процесс.

В приложении Б приведен акт о внедрении технических решений, предложенных в диссертационной работе.

Сформулированы направления развития диссертационной работы:

1. Исследование работы котельных агрегатов с кипящим слоем при сжигании вторичных энергоресурсов Архангельской области: опилок, пеллет из опилок, торфа и торфяных гранул.
2. Исследование работы котельных агрегатов с кипящим слоем при использовании альтернативных материалов слоя.
3. Исследование процесса агломерации кипящего слоя промышленных котельных агрегатов при сжигании различных вторичных энергоресурсов Архангельской области.

Научная новизна диссертации заключается в следующем:

1. Получены данные о работе котельных агрегатов с кипящим слоем, сжигающих осадок сточных вод и кородревесное топливо.
2. Получены экспериментальные данные процесса агломерации частиц топливной золы и инертного материала кипящего слоя, влияющего на эффективность и надежность работы 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.

Теоретическая и практическая направленность Определен энергетический потенциал кородревесного топлива и осадка сточных вод. Сформулированы ограничения их энергетического использования. Установлена реакционная способность и её влияние на термическую конверсию образцов в кипящем слое. Определены летучие вещества, выделяющиеся при различных температурах пиролиза. Разработаны рекомендации по повышению эффективности и надёжности работы котельных агрегатов с пузырьковым кипящим слоем.

Сформулированные научные положения диссертационных исследований **обоснованы**. В тексте автореферата и диссертации приведены результаты, иллюстрирующие правомерность сделанных автором заключений.

Достоверность полученных автором диссертации результатов основана на использовании современных экспериментальных методик, высокоточного оборудования, сравнении с экспериментальными и теоретическими данными других авторов.

Проводя оценку **научной и практической значимости** основных результатов, положений и выводов, представленных в диссертации, необходимо отметить, что автором выполнена масштабная научно-исследовательская работа, заслуживающая высокой оценки научного сообщества.

Личный вклад А.П. Терехина сформулирован развернуто в автореферате и диссертации.

Анализ содержания рукописи и автореферата диссертации А.П. Терехина дает основание для формулирования **замечаний и рекомендаций**:

1. В диссертации применяются два основных образца в качестве топлив: осадок сточных вод и кородревесное топливо. Характеристики этих топлив варьируются в широких диапазонах. Особенно актуален этот вопрос к осадку сточных вод. Важно выполнить анализ диапазонов изменения основных характеристик добавок в регионе, стране и мире. Это даст возможность определить границы применимости результатов диссертационных исследований в мировой энергетике.

2. Осадок сточных вод активно применяют в технологиях пиролиза и гидросжижения с последующей переработкой бионефти. Рентабельность решений сильно зависит от состава и объемов сырья. Важно привести сравнение предлагаемых решений с известными с акцентом на рентабельность и доступность.
3. Целесообразно детально изучить механизмы формирования оксидов серы, азота и углерода при сжигании рассматриваемых образцов. Это позволит выделить потенциал и ограничения снижения соответствующих выбросов при работе на разных режимах и при разной температуре в кипящем слое.
4. Схема подачи топлив в котельный агрегат оказывает существенное влияние на характеристики их горения. Необходимо этот вопрос более детально изучить для формулирования рекомендаций по практическому применению предложенных решений в области термической конверсии смесевых топлив из вторичных ресурсов.
5. При анализе параметров энергетических установок на альтернативных топливах важно выполнить сравнение характеристик их работы с учетом материальных и тепловых балансов в разных режимах, нестабильностью состава топлив и сезонными особенностями.
6. Для объективных оценок перспективности предлагаемых решений необходимы результаты мультикритериальных оценок с учетом экологических, экономических, энергетических, эксплуатационных и иных факторов при переходе с коммерческих топлива на альтернативные.
7. В работе представлены экспериментальные данные. Целесообразно их обобщить с применением безразмерных математических выражений, которые бы позволяли выполнять масштабирование и перенос результатов исследований на разные энергетические системы.

Сделанные замечания **не снижают высокой положительной оценки** диссертационной работы А.П. Терехина и носят в основном рекомендательный характер для развития исследований автора.

Тема диссертации А.П. Терехина «Повышение энергоэффективности Архангельской области путем увеличения надежности работы котлоагрегатов с кипящим слоем» **соответствует паспорту специальности** «2.4.5 –

Энергетические системы и комплексы»: п. 3 – разработка, исследование новых технологий для производства электрической энергии, использования органического топлива, способов снижения негативного воздействия на окружающую среду; п. 4 – разработка научных подходов, методов, алгоритмов, технологий конструирования и проектирования, контроля и диагностики, оценки надежности основного и вспомогательного оборудования энергетических систем, станций и энергокомплексов и входящих в них энергетических установок; п. 6 – теоретический анализ, экспериментальные исследования, физическое и математическое моделирование, проектирование энергоустановок, электростанций и энергетических комплексов, функционирующих на основе преобразования возобновляемых видов энергии (энергии водных потоков, солнечной энергии, энергии ветра, энергии биомассы, энергии тепла земли и других видов возобновляемой энергии) с целью исследования и оптимизации их параметров, режимов работы, экономии ископаемых видов топлива и решения проблем экологического и социально-экономического характера.

Содержание автореферата соответствует содержанию рукописи диссертации.

Результаты диссертационного исследования А.П. Терехина **хорошо апробированы** на всероссийских и международных научных конференциях. Имеются публикации в российских и международных журналах (Fuel, Химия твердого топлива, Электрические станции, Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, Известия высших учебных заведений. Лесной журнал и др.). Всего автором опубликованы 14 научных работ, по теме диссертационной работы - 13. В журналах, включенных в перечень ведущих рецензируемых журналов и изданий ВАК, опубликовано 5 работ. В журналах первого квартиля (K1) ВАК опубликованы 3 работы и в журналах второго квартиля (K2) – 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 опубликованы в журналах 4 уровня (У4).

Заключение

Диссертация А.П. Терехина является законченной научно-квалификационной работой, в которой приведены результаты решения крупной научно-практической задачи в области повышения энергоэффективности региональной системы путем увеличения надежности работы котлоагрегатов с кипящим слоем. Диссертационная работа выполнена в соответствии с требованиями, предъявляемыми ВАК РФ к кандидатским диссертациям, а именно пп. 9-11, 13, 14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842 (в действующей редакции), а ее автор, Терехин Алексей Павлович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.5 – Энергетические системы и комплексы.

Официальный оппонент, доктор физико-математических наук,
профессор, член-корреспондент РАН,
профессор Научно-образовательного центра И.Н. Бутакова,
заведующий лабораторией тепломассопереноса
Национального исследовательского
Томского политехнического университета
Стрижак Павел Александрович
(3822) 606-102
pavelspa@tpu.ru

Подпись П.А. Стрижака заверяю
Ученый секретарь Национального
исследовательского Томского
политехнического университета,
кандидат технических наук
Новикова Валерия Дмитриевна



Национальный исследовательский Томский политехнический университет
634050, г. Томск, пр. Ленина, д. 30
т. 8(3822), 701-777, доп. 1910
10.06.2026