

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.118.01, СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ИНСТИТУТ СИСТЕМ ЭНЕРГЕТИКИ ИМ. Л. А. МЕЛЕНТЬЕВА СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК, МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 16.09.2025 г. № 6

О присуждении **Забуге Федору Викторовичу**, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация **«Использование методов математического моделирования и оптимизации для оценки эффективности комплексной модернизации технологической схемы действующего энергоблока»** по специальности 2.4.5. Энергетические системы и комплексы принята к защите 19.06.2025 г. (протокол заседания № 4) диссертационным советом 24.1.118.01, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук, Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, 664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 130, совет создан приказом Минобрнауки РФ № 78/нк от 26.01.2023 г.

Соискатель **Забуга Федор Викторович**, «06» октября 1987 года рождения. В 2009 году соискатель окончил энергетический факультет Государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Иркутский государственный технический университет» по специальности «Промышленная теплоэнергетика». В 2019 году соискатель окончил очную магистратуру по направлению подготовки 13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет». В 2023 году соискатель окончил заочную аспирантуру Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук по направлению подготовки 13.06.01 Электро- и теплотехника, направленность Энергетические системы и комплексы (по научной специальности 2.4.5. Энергетические системы и комплексы в соответствии с номенклатурой, утвержденной приказом Минобрнауки РФ от 24.02.2021 г. № 118).

В настоящее время Забуга Федор Викторович работает в должности инженера-технолога 1 категории в службе наладки и испытаний тепломеханического оборудования ООО «ЭН+ ИНЖЕНЕРНЫЙ ЦЕНТР» (ООО «Инженерный Центр «Иркутскэнерго» до 22.05.2025 г.).

Диссертация выполнена в отделе теплосиловых систем Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт систем энергетики им. Л. А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук, Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор, Клер Александр Матвеевич, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук, заведующий отделом теплосиловых систем.

Официальные оппоненты:

Батухтин Андрей Геннадьевич, доктор технических наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Забайкальский государственный университет», кафедра энергетики, профессор;

Елсуков Владимир Константинович, доктор технических наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Братский государственный университет», кафедра энергетики, профессор

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный технический университет», г. Новосибирск. **В своем положительном отзыве**, подписанном Боруш Олесей Владимировной, доктором технических наук, доцентом, профессором кафедры «Тепловые электрические станции»; Елистратовым Сергеем Львовичем, доктором технических наук, доцентом, профессором кафедры «Тепловые электрические станции» и утвержденном Отто Артуром Исааковичем, кандидатом технических наук, проректором по научной работе и инновациям, указала, что диссертация Забуги Федора Викторовича является завершенной научно-квалификационной работой и соответствует критериям пп. 9-14 Положения «О порядке присуждения ученых степеней», утвержденном Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842 (с изменениями и дополнениями), а ее автор заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.5. Энергетические системы и комплексы.

Соискатель имеет 8 опубликованных работ по теме диссертации, в том числе 3 статьи в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ по специальности 2.4.5. Энергетические системы и комплексы, категорий К1 и К2, и 1 статью в сборниках трудов конференций, индексируемых в международных базах цитирования Scopus и Web of Science.

Вклад диссертанта в подготовку статей в соавторстве оценивается как весомый. В коллективных публикациях автору принадлежат результаты, которые относятся к теме диссертации. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных работах, в которых изложены основные научные результаты. Текст диссертации не содержит заимствований без ссылок на

соответствующие первоисточники. Из совместных работ в диссертацию включены лишь те результаты, которые непосредственно принадлежат соискателю.

Наиболее значимые работы:

Публикации в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ по специальности 2.4.5. Энергетические системы и комплексы:

1. Забуга, Ф. В. Исследования на основе математического моделирования энергоблока № 5 ТЭЦ-10 ООО "Байкальская Энергетическая Компания" для оценки эффективности его модернизации / Ф. В. Забуга, В. Э. Алексеюк. - DOI: 10.21285/1814-3520-2021-2-183-195. // Вестник Иркутского государственного технического университета. - 2021. - Т. 25, № 2(157). - С. 183-195.

2. Забуга, Ф.В. Оценка модернизации схемы основного конденсата энергоблока №5 ТЭЦ-10 с применением его настроенной математической модели / Ф. В. Забуга, В. Э. Алексеюк. - DOI: 10.21285/1814-3520-2022-3-426-438. // iPolytech Journal. - 2022. Т. 26, №3. - С. 426-438.

3. Клер, А.М. Подход к оценке эффективности комплексной модернизации технологических схем действующих теплоэнергетических установок на основе методов математического моделирования и оптимизации / А.М. Клер, Ф.В. Забуга, В.Э. Алексеюк - DOI: 10.25729 ESI.2024.33.1.005. // Информационные и математические технологии в науке и управлении. - 2024. - №1(33). - С. 50-65.

Публикации в изданиях, индексируемых Scopus и Web of Science:

4. Zabuga, F.V. Research based on mathematical modeling of CHP-10 power unit No 5 "Baikal Energy Company" LLC to assess the efficiency of its modernization / F.V. Zabuga, V.E. Alekseiuk - DOI: 10.1051/e3sconf/202128902002. // E3S Web Conf., International Conference of Young Scientists "Energy Systems Research 2021". - 2021. Vol. 289.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. От **Самаркиной Екатерины Владимировны**, кандидата технических наук, доцента, директора Института энергетики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет» (г. Иркутск). Отзыв содержит два замечания: 1) С целью улучшения визуального восприятия изображенной на рисунке 1 блок-схемы, входящие в состав каждой из стадий этапы, можно было бы дополнительно последовательно соединить, подчеркнув этим определенный в представленном методическом подходе алгоритм действий внутри каждой из стадий. 2) В тексте использованы несколько сокращений слов и словосочетаний без расшифровки. На страницах 20, 21 сокращение КА исходя из контекста означает «котлоагрегат», на странице 19 сокращение ПТУ – «паротурбинная установка».

2. От **Горуновича Сергея Борисовича**, кандидата технических наук, ведущего инженера производственно-технического отдела филиала ООО «Байкальская энергетическая компания» Усть-Илимская ТЭЦ (г. Усть-Илимск). Отзыв содержит два замечания: 1) Существует ли перспектива внедрения

представленного в работе метода в ООО «Байкальская Энергетическая Компания»? 2) Исходя из формулировки второй стадии методического подхода должен осуществляться поиск способов решения выявленных проблем и далее на третьей стадии, в ходе сравнительной оценки с применением математической модели, выбираться наиболее эффективный из них. В автореферате представлены две модернизации, в которых рассматриваются действующий вариант технологической схемы, и в каждом случае один модернизированный. Рассматривались ли другие варианты по модернизации технологической схемы в каждом из случаев (схема слива дренажей, схема основного конденсата) или был только один вариант, представленный в работе?

3. От **Стрижака Павла Александровича**, доктора физико-математических наук, профессора, профессора Научно-образовательного центра И.Н. Бутакова, заведующего лабораторией тепломассопереноса Национального исследовательского Томского политехнического университета. Отзыв содержит четыре замечания: 1) Диссертационное исследование выполнено на соискание ученой степени кандидата технических наук. К таким диссертациям предъявляются ожидания, что будут созданы конкретные технические решения с понятными количественными эффектами. Их целесообразно выделить в разделе с защищаемыми положениями или научной новизной или практической значимостью. 2) Основной вопрос состоит в верификации и валидации расчетных модулей и заложенных в них моделей. Этому стоит уделить особое внимание. Следует отметить, на каких экспериментах и испытаниях строится процесс апробации расчетных решений. 3) В автореферате диссертации много раз упоминается словосочетание «повышение эффективности». Из автореферата непонятно, какие конкретные диапазоны повышения установлены в работе и какие пределы, чем они обусловлены. В таблицах 1 и 3 представлены некоторые экономические оценки, но непонятны пределы и за счет чего можно добиться лучших эффектов. 4) Результаты исследований существенно зависят от характеристик исходного топлива. Как известно, они меняются значительно в течение года. В соседних регионах отличия принципиальные. Насколько этот фактор проанализирован в работе?

4. От **Кузнецова Виктора Александровича**, кандидата технических наук, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский федеральный университет», Институт инженерной физики и радиоэлектроники, старшего научного сотрудника. Отзыв содержит три замечания: 1) В тексте автореферата сообщается, что проведенная модернизация позволила снизить удельный расхода топлива на 0,014; 0,195; 0,210; 0,375 г на 1 кВт·ч. А сколько это в процентах? Для анализа было бы удобно представить данную информацию ещё и в процентах. 2) Судя по полученным данным в работе (таблицы 1.3 в автореферате), внедрение предложенных доработок является весьма целесообразным мероприятием. Все-таки, есть ли ещё какие-то нюансы, препятствующие внедрению подобных модернизаций на станции? И есть ли конкретные примеры модернизации на реальных объектах с применением

методики, предложенной автором? 3) Обычно в подрисуночной подписи сначала приводится номер рисунка, а потом пояснения и примечания.

Замечания не снижают научной ценности и практической значимости диссертационной работы. На замечания оппонентов и ведущей организации, а также на замечания в отзывах, поступивших на автореферат и диссертацию, соискатель привел исчерпывающие ответы.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается сферой их научных интересов и исследований в области математического моделирования и оптимизации режимов работы действующих и перспективных тепловых энергетических установок, что подтверждается научными публикациями официальных оппонентов и сотрудников ведущей организации и их способностью определить научную и практическую ценность диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработан методический подход повышения эффективности работы действующих теплоэнергетических установок (ТЭУ) за счет модернизации их технологических схем, принципиальной особенностью которого является оптимизация режимных параметров технологической схемы в сочетании с оптимизацией конструктивных характеристик новых элементов схемы с учетом характеристик режимов работы в расчетном периоде;

предложен комплекс малозатратных технических решений по модернизации технологической схемы и вспомогательного оборудования действующего энергоблока филиала ООО «Байкальская Энергетическая Компания» ТЭЦ-10, обладающих достаточно высокой экономической эффективностью;

доказана целесообразность использования разработанного методического подхода для выявления эффективных способов модернизации технологических схем и оборудования действующих теплоэнергетических установок;

введен критерий оценки эффективности модернизации технологической схемы теплоэнергетической установки, заключающийся в прямом сравнении значений оптимизированной целевой функции для базовой и модернизированной схем в идентичных режимах работы.

Теоретическая значимость исследований обоснована тем, что:

доказано, что применение настроенной по результатам замеров режимных параметров математической модели действующего энергетического оборудования позволяет с достаточной точностью выполнять оптимизационные расчеты, необходимые для принятия обоснованных технологических решений, направленных на его модернизацию;

применительно к проблематике диссертации результативно использованы методы математического моделирования, оптимизации и идентификации режимных параметров сложного теплоэнергетического оборудования;

изложен методический подход, направленный на повышение эффективности действующих энергетических установок за счет модернизации их технологических схем;

раскрыты проблемы выбора вариантов модернизации технологических схем действующих энергетических установок, связанные с применяемыми на сегодняшний день эмпирическими подходами и методиками;

изучены особенности используемых ранее методов оценки энергетической эффективности за счет модернизации технологических схем действующих энергетических установок и показаны их недостатки;

проведена модернизация разработанной расчетной модели за счет оригинальной постановки оптимизационной задачи для действующей и измененной технологической схемы ТЭУ. Сравнение полученных значений целевых функций в данном случае позволяет выполнить оценку энергетической эффективности модернизации.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

разработаны и внедрены методический подход и модельный инструментарий, позволяющие выявлять возможные варианты повышения энергетической эффективности действующего энергетического оборудования за счет модернизации его технологических схем;

определены области практического применения предлагаемого методического подхода при выборе теплоэнергетических установок для проведения комплексной модернизации их технологических схем;

создана система математических моделей элементов технологической схемы угольного энергоблока, позволяющая осуществлять объективную энергетическую и экономическую оценку вариантов малозатратной модернизации;

представлены технические решения по модернизации технологической схемы действующего энергоблока, которые учитывают требования действующей нормативно-технической документации, прошли успешную апробацию с применением разработанного методического подхода, а также получили положительную оценку при их рассмотрении на производственном техническом совете.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ построена математическая модель исследуемого энергоблока, включающая подробные математические модели паровой турбины К-150-130 и прямоточных котлоагрегатов ПК-24, настроенная на его фактическое состояние и пригодная для выполнения оптимизационных расчетов методом ступенчатой оптимизации;

теория основана на фундаментальных работах отечественных и зарубежных авторов в области математического моделирования, оптимизации и идентификации параметров работы сложного теплоэнергетического оборудования. В основе настоящих исследований находится разработанный в

ИСЭМ СО РАН метод ступенчатой оптимизации, который позволяет получать оптимальные решения по заданному критерию эффективности при малом времени расчета, применительно к задаче модернизации технологической схемы определенной для исследований ТЭУ.

идея базируется на анализе вариантов модернизации технологических схем действующих теплоэнергетических установок и создании методов и моделей, предназначенных для оценки эффективности данных вариантов;

использованы результаты оценки энергетической и экономической эффективности модернизации технологических схем действующих теплоэнергетических установок, полученные другими исследователями ранее;

установлено качественное совпадение авторских оценок энергетической эффективности вариантов модернизации технологических схем действующих теплоэнергетических установок с аналогичными оценками других авторов при более высокой точности авторских количественных оценок;

использованы апробированные методики расчета элементов ТЭУ, а также современные методы математического моделирования, оптимизации и идентификации параметров его работы.

Личный вклад соискателя состоит в непосредственном участии в постановке цели и задач исследования; разработке методического подхода к оценке эффективности модернизации технологической схемы действующей ТЭУ, включающего применение методов идентификации математических моделей и оптимизации расчетных режимных параметров по критерию максимальной энергетической эффективности; построении подробной математической модели действующего пылеугольного энергоблока с установленной электрической мощностью 150 МВт и проведении комплекса оптимизационных расчетов, позволяющих выполнить сравнительную оценку различных технических решений, направленных на повышение энергетической эффективности данной ТЭУ; выявлении эффективных способов модернизации технологической схемы исследуемого дубль-блока и оформлении соответствующих технических решений в филиале ТЭЦ-10 ООО «Байкальская Энергетическая Компания».

В ходе защиты диссертации были заданы следующие вопросы:

1. В представленной математической постановке оптимизационной задачи индекс i соответствует количеству режимов работы ТЭУ. С учетом этого оптимизационная задача решается для каждого режима по отдельности? С какой целью это делается?

2. При определении эффективности модернизации учитывается ли продолжительность работы энергетической установки?

3. Реализованы ли на сегодняшний день представленные способы модернизации технологической схемы на действующей установке?

Соискатель Забуга Федор Викторович ответил на заданные ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию:

1. Оптимизационная задача решается для каждого режима работы ТЭУ по отдельности, что связано с наличием энергетической эффективности от отдельных

технических решений по модернизации технологических схем энергоустановок в определенном диапазоне нагрузок. В качестве примера можно привести модернизацию схемы основного конденсата энергоблока, где энергетическая эффективность достигается лишь в диапазоне нагрузок 140 – 150 МВт за счет отсутствия необходимости включения второго конденсатного насоса в параллельную работу.

2. Продолжительность работы энергоустановки учитывается. В работе представлены способы модернизации, которые повышают КПД установки на доли процентов (при этом удельный расход условного топлива снижается на доли граммов). Но с учетом продолжительности работы энергоблока за год достигается весомая экономия средств на топливе за счет модернизации его технологической схемы.

3. Результаты выполненных расчетов были представлены на филиале ТЭЦ-10 ООО «БЭК», где были оформлены соответствующие технические решения. В ходе обсуждения вопросов, связанных с рассматриваемыми способами модернизации технологической схемы энергоблока, со специалистами и руководством тепловой электростанции было получено положительное решение о возможности их реализации на практике. В настоящий момент рассматриваемые технические решения не реализованы на действующей энергетической установке. Акт внедрения отсутствует.

На заседании 16 сентября 2025 г. диссертационный совет принял решение: за решение научной задачи разработки методического подхода, направленного на повышение эффективности действующих энергетических установок за счет модернизации их технологических схем, позволяющего систематизировать процесс поиска возможных путей повышения их энергетической эффективности, имеющей существенное значение для энергетической отрасли Российской Федерации, присудить Забуге Федору Викторовичу ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 6 – докторов наук по специальности 2.4.5. Энергетические системы и комплексы, участвовавших в заседании, из 21 человека, входящих в состав совета, дополнительно введены в разовую защиту – 0 человек, проголосовали: за – 16, против – 0, недействительных бюллетеней – 1.

Председатель
диссертационного совета



Ученый секретарь
диссертационного совета

Стенников Валерий Алексеевич

Солодуша Светлана Витальевна

16.09.2025 г.