

ОТЗЫВ

официального оппонента Дудолина Алексея Анатольевича
на диссертацию Зиновьевой Анастасии Сергеевны

«Совершенствование методик расчета технических и технико-экономических показателей работы парогазовых установок ТЭС»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 2.4.5 – Энергетические системы и комплексы

Актуальность темы диссертационной работы

Актуальность диссертационной работы обусловлена необходимостью решения практически значимой проблемы современной теплоэнергетики - повышения достоверности определения показателей тепловой экономичности парогазовых установок ТЭС в условиях некорректно заданной исходной информации. Мониторинг технического состояния и оценка эффективности работы энергетического оборудования тепловых электрических станций осуществляется на основе анализа показателей его тепловой экономичности, при этом обязательным этапом расчетов, согласно руководящим документам, является сведение материальных и энергетических балансов. Однако существующие нормативные методики не позволяют учитывать степень достоверности определения отдельных параметров и обоснованно находить компромисс между невязкой балансов, обусловленной несовершенством метрологических характеристик приборов учета, и величиной вносимых в первичные данные корректировок.

Особую остроту эта проблема приобретает применительно к газотурбинным (ГТУ) и парогазовым (ПГУ) установкам, которые имеют существенные особенности как объекты сведения балансов по сравнению с оборудованием традиционного паросилового цикла. В ГТУ материальный и энергетический балансы затрагивают разные теплоносители (воздух, топливо, дымовые газы), а также оборудование вспомогательных технологических систем, при этом в утилизационных ПГУ показатели работы ГТУ определяют и показатели работы котла-утилизатора, работа которого, в свою очередь, связана с работой паровой турбины. Это означает, что в ПГУ материальный и энергетический балансы по ГТУ, КУ и ПТ должны быть связанными между собой, что дополнительно усложняет задачу.

Существенным фактором, подтверждающим актуальность работы, является отсутствие в системе нормативных документов энергетической отрасли обоснованных методик расчета таких важнейших с точки зрения организации эксплуатации и ремонта оборудования показателей как составляющие резерва тепловой экономичности (РТЭ) для ГТУ и ПГУ. При этом известно, что баланс РТЭ является косвенным методом контроля обоснованности расчета всех фактических и номинальных значений ТЭП энергетического оборудования, в том числе и методов сведения материального и энергетического балансов как подготовительного этапа расчета.

Актуальность темы работы подтверждается её соответствием приоритетному направлению научно-технологического развития Российской Федерации "Высокоэффективная и ресурсосберегающая энергетика" в рамках критической технологии "Технологии создания

высокоэффективных систем генерации, распределения и хранения энергии", а также выполнением основных этапов работы в рамках НИОКР и хозяйственных договоров с предприятиями энергетической отрасли. Разработка обоснованных методик сведения материальных и энергетических балансов для ГТУ и ПГУ при некорректно заданной исходной информации является актуальной задачей как в научном, так и в практическом отношении, поскольку позволит повысить эффективность эксплуатации парогазовых установок ТЭС за счет увеличения точности и обоснованности определения показателей, характеризующих техническое состояние оборудования и совершенство режимов его работы.

В свете изложенного, диссертационное исследование А.С. Зиновьевой, направленное на разработку и практическую апробацию комплекса методик для расчёта технико-экономических показателей ПГУ – включая методику совместного сведения материальных и энергетических балансов газотурбинных установок и усовершенствованную методику расчёта составляющих РТЭ для парогазовых энергоблоков утилизационного типа, – обладает бесспорной научной и практической актуальностью.

Общая характеристика диссертационной работы

Диссертация изложена на 157 листах, включает 29 рисунков, 18 таблиц. Работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и двух приложений.

Во введении автор обосновывает актуальность темы, определяет цель и задачи исследования, формулирует научную новизну и значимость полученных результатов для теории и практики, а также основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе диссертационной работы выполнен комплексный аналитический обзор опубликованных данных и накопленного эксплуатационного опыта, который послужил теоретической и методологической основой для всего последующего исследования. Прежде всего, была проведена систематизация требований нормативных документов энергетической отрасли, регламентирующих организацию контроля показателей тепловой экономичности оборудования эксплуатируемых ТЭС. В рамках этого анализа были выявлены существенные пробелы и методические противоречия в действующей нормативной базе, в частности, отсутствие единых и научно обоснованных подходов к сведению материальных и энергетических балансов для оборудования парогазового цикла. Далее был осуществлен детальный критический разбор существующих методов сведения материального и энергетического балансов по тепловым схемам паросиловых энергетических установок. Особое внимание уделено нормативному подходу, регламентированному в руководящих указаниях, и выявлены его принципиальные недостатки, заключающиеся в неспособности учесть все балансовые соотношения и взаимное влияние материального и энергетического балансов. Проведен обзор альтернативных подходов к решению задачи согласования данных, включая методы нелинейного программирования, метод множителей Лагранжа, метод штрафных функций, а также подходы, основанные на концепции регуляризации Тихонова для решения некорректных задач. Продемонстрировано, что последний подход, активно развиваемый научной школой ИГЭУ, показал свою эффективность применительно к паротурбинным установкам, но не был распространен на газотурбинное оборудование.

В главе всесторонне рассмотрены особенности газотурбинных и парогазовых установок ТЭС как объектов сведения материальных и энергетических балансов. Проанализирована расчетная балансовая схема ГТУ, формализованы уравнения материального и энергетического балансов, а также выявлены ключевые проблемы, возникающие при их сведении на основе данных эксплуатационного контроля. Особый акцент сделан на критическом анализе методики, использованной в диссертационном исследовании Зимина А.П., и доказана ее ограниченная применимость для ГТУ ввиду невозможности учета индивидуальных метрологических характеристик средств измерения и отсутствия механизма разумного компромисса между невязкой балансов и отклонением параметров от измеренных значений.

Значительный раздел первой главы посвящен анализу роли и методологии расчета резервов тепловой экономичности оборудования ТЭС. Изучена нормативная база, регламентирующая расчет суммарного РТЭ и его составляющих для паросилового оборудования, и констатируется отсутствие аналогичных проработанных документов федерального уровня для парогазовых установок. Проведен разбор существующей корпоративной методики ПАО «Интер РАО» и выявлен ряд ее существенных недостатков, снижающих достоверность определяемых значений РТЭ.

Завершающим этапом аналитического обзора стал детальный разбор эксплуатационного опыта на примере конкретных энергоблоков ПГУ-116 и ПГУ-120 ТЭС «Международная». Проанализированы их принципиальные тепловые схемы, структуры графов и матрицы инцидентности, разработанные в предшествующих исследованиях, а также полученные практические результаты, подтвердившие принципиальную важность сведения балансов для взаимной «увязки» промежуточных показателей тепловой экономичности.

На основании проведенного анализа в заключительном разделе главы была сформулирована цель работы и поставлены пять конкретных научно-исследовательских задач, решение которых направлено на преодоление выявленных методических проблем и пробелов в нормативном регулировании. Таким образом, первая глава не только представляет собой исчерпывающий аналитический обзор, но и служит четким обоснованием необходимости проведения настоящего исследования, определяя его цели, задачи и методологические границы.

Во второй главе диссертационной работы решена ключевая задача исследования – разработка и апробация методики совместного сведения материальных и энергетических балансов газотурбинных установок по результатам измерения контролируемых параметров, основанной на концепции регуляризации Тихонова при решении некорректных задач. Исследование проводилось поэтапно, начиная с формализации базовой постановки проблемы. Было установлено, что традиционные подходы, регламентированные для паросиловых установок, неприменимы к ГТУ ввиду технологических особенностей последних, связанных с наличием нескольких разнородных теплоносителей и сложной структурой материальных и энергетических потоков. В рамках скалярной постановки задачи при фиксированных значениях энтальпий теплоносителей была получена аналитическая зависимость для корректировки значений расходов теплоносителей и электрической мощности ГТУ, минимизирующая целевую функцию, представляющую собой компромисс между невязкой балансов и отклонением скорректированных параметров от их исходных измеренных значений. Практическая проверка данной постановки на примере контрольного режима ГТУ типа GTX-100 выявила ее основной недостаток – невозможность учета индивидуальных

метрологических характеристик конкретных средств измерения, что проявлялось в выходе регуляризованных значений параметров за пределы их доверительных интервалов.

Для преодоления указанного ограничения был осуществлен переход к векторной постановке задачи, позволяющей назначать различные параметры регуляризации для каждого корректируемого параметра в соответствии с точностью его измерения. Для этой постановки было получено аналитическое решение, а также разработаны и сравнимы два численных метода: метод итераций аналитических решений и метод статистического программирования. Сравнительный анализ показал, что хотя оба метода позволяют получить решение, удовлетворяющее метрологическим ограничениям, метод статистического программирования является более предпочтительным с точки зрения алгоритмизации и программной реализации для систем автоматизированного контроля, несмотря на большее требуемое количество итераций. Дальнейшее совершенствование методики было связано с учетом неопределенности результатов измерения не только расходов и мощности, но и теплотехнических параметров теплоносителей, в частности, их энтальпий. Проведенный анализ чувствительности выявил, что наибольшее влияние на решение оказывают энтальпия продуктов сгорания за турбиной и обобщенная характеристика тепловых потерь, в то время как влияние энтальпий топлива и воздуха оказалось незначительным. На основе этого был предложен и реализован комбинированный алгоритм, объединяющий регуляризацию расходных и теплотехнических параметров в рамках единой процедуры, выполняемой методом статистического программирования, что позволило дополнительно снизить невязки балансов.

Завершающим этапом исследований во второй главе стал комплексный анализ влияния примененной методики сведения балансов на результаты расчета фактических показателей тепловой экономичности ГТУ. На примере ГТУ типа GTX-100 было показано, что использование разработанной методики позволяет снизить рассогласование между значениями КПД брутто, рассчитанными по прямому и обратному балансам, с нескольких процентов (вплоть до 15% в отдельных режимах при отсутствии сведения балансов) до величин порядка 0.02-0.15% в вариантах, удовлетворяющих метрологическим ограничениям. Наибольшая точность была достигнута при использовании векторной постановки задачи с учетом неопределенности теплотехнических параметров (вариант «В-4»), который был рекомендован в качестве основного для практической реализации. Таким образом, во второй главе не только была разработана стройная математическая теория решения задачи сведения балансов для ГТУ, но и доказана ее высокая практическая эффективность, заключающаяся в существенном повышении точности и достоверности определяемых показателей тепловой экономичности.

В третьей главе решена вторая ключевая задача исследования - разработка усовершенствованной методики расчета составляющих резерва тепловой экономичности оборудования парогазовых установок утилизационного типа. Исследование начинается с анализа методологической базы, где установлено, что существующие нормативные документы федерального уровня не содержат регламентированных методик расчета РТЭ для ГТУ и ПГУ, а имеющаяся корпоративная методика ПАО "Интер РАО" содержит существенные упрощения и неточности. На основе этого анализа была разработана комплексная методика, основанная на единых методологических подходах с системами нормирования паросиловых установок, но учитывающая специфику парогазового цикла.

Основное содержание главы включает детальную проработку составляющих РТЭ для каждого элемента ПГУ. Для газотурбинных установок предложены расчетные зависимости для определения РТЭ вследствие отклонения фактических перепадов давлений на всасе компрессора и на выходе из газовой турбины, а также формула для расчета общего РТЭ по показателю "КПД брутто ГТУ". Особое внимание уделено корректному учету теплосодержания топливного газа на входе в камеры сгорания, что устраняет существенную погрешность, присутствующую в существующих методиках. Для котлов-утилизаторов без дожигания топлива разработаны формулы расчета РТЭ, обусловленных отклонением потерь тепла с уходящими газами и от наружного охлаждения, с выделением в отдельную составляющую влияния температуры уходящих газов.

Значительный раздел посвящен методике расчета составляющих РТЭ паровых турбин ПГУ, где учтены особенности их работы в составе парогазового цикла, включая использование турбин двух или трех давлений. Особо рассмотрен случай ПГУ с суховоздушными градирнями, для которых предложена специальная методика расчета поправки к мощности, учитывающая отвод избыточного количества тепловой энергии от потока сетевой воды. Также разработаны подходы к определению РТЭ по затратам тепловой и электрической энергии на собственные нужды ПГУ, учитывающие специфику парогазового цикла через введение коэффициента ценности пара.

Важным результатом главы является разработка методики определения поправок к основным и промежуточным показателям тепловой экономичности ГТУ по данным эксплуатационных наблюдений с использованием множественной линейной регрессии. Апробация методики на примере ГТУ типа SGT-800 показала ее эффективность - математическое ожидание разницы значений КПД брутто, рассчитанных по прямому и обратному балансам, составило 0,09% со среднеквадратическим отклонением 0,36%. Практическая апробация разработанного комплекса методик на энергоблоке ПГУ-116 ТЭС "Международная" подтвердила их высокую эффективность - расхождение между суммарным РТЭ по ПГУ и суммой составляющих РТЭ по отдельным агрегатам составило менее 1% как в помесечном, так и в годовом разрезе. В завершение главы предложены новые, адаптированные к специфике парогазового цикла формы отчетности по составляющим РТЭ, обеспечивающие всесторонний анализ технического состояния и уровня эксплуатации оборудования.

В четвертой главе диссертационной работы представлены результаты практической реализации разработанных методик и их комплексной апробации на реальных энергетических объектах. Центральным элементом данной главы является описание интеграции разработанных методик сведения материальных и энергетических балансов ГТУ, а также расчета составляющих резерва тепловой экономичности оборудования в состав комплексной системы мониторинга технико-экономических показателей и оптимизации загрузки оборудования парогазовой ТЭС. Практическая реализация осуществлялась в виде специализированных программных модулей, получивших официальную регистрацию в качестве программ для ЭВМ: «Сведение материального и энергетического баланса газотурбинной установки по данным АСУТП» (свидетельство № 2023687086) и «Программа для реализации алгоритма сведения материального и теплового баланса основного оборудования и групп оборудования филиала "Уренгойская ГРЭС"» (свидетельство № 2023687983).

Детально описана апробация разработанных методик и программного обеспечения применительно к энергоблокам ПГУ-116 и ПГУ-120 ТЭС «Международная», в ходе которой была подтверждена эффективность предложенных решений. Проведенные расчетно-экспериментальные исследования показали, что использование разработанной методики сведения балансов ГТУ позволило повысить точность расчета показателей тепловой экономичности оборудования и выявить реальные резервы тепловой экономичности ПГУ. Особое внимание уделено анализу влияния методики сведения балансов на результаты расчета составляющих РТЭ, где установлено, что совместное применение разработанных методик сведения балансов и расчета РТЭ обеспечивает сходимость баланса РТЭ на уровне менее 1%, что свидетельствует о высокой степени взаимной согласованности всех элементов разработанной методической базы.

Отдельный раздел главы посвящен апробации методик применительно к энергоблоку ПГУ-450 в рамках выполнения НИОКР для Уренгойской ГРЭС, что подтвердило универсальность и масштабируемость предложенных подходов для парогазовых установок различной мощности и конфигурации. Важным аспектом практической реализации стало внедрение результатов работы в учебный процесс ИГЭУ через включение разработанных методик в дополнительные профессиональные образовательные программы «Расчеты фактических, номинальных, нормативных ТЭП ТЭС с парогазовыми установками» и «Повышение квалификации эксплуатационного персонала теплового цеха ПГУ», что обеспечивает подготовку высококвалифицированных специалистов для энергетической отрасли. Таким образом, в четвертой главе не только продемонстрирована практическая ценность полученных научных результатов, но и доказана их эффективность и готовность к широкому внедрению в практику эксплуатации парогазовых ТЭС, что подтверждено актами внедрения и успешной эксплуатацией разработанного программного обеспечения на реальных энергообъектах.

В заключении приведены основные выводы и результаты диссертации, а также отражены рекомендации, перспективы дальнейшей разработки темы исследования.

Научная новизна диссертационной работы состоит в следующем:

- впервые разработана методика совместного сведения материального и энергетического балансов газотурбинных установок по данным технического учета на основе подхода регуляризации Тихонова к решению некорректных задач, позволяющая обоснованно корректировать результаты измерения контролируемых параметров исходя из условия сведения балансов по аддитивным параметрам с учетом метрологических характеристик используемых средств измерения, при этом получены аналитические и численные решения задачи при ее скалярной и векторной постановках;
- разработана усовершенствованная методика расчета составляющих резерва тепловой экономичности оборудования парогазовых установок утилизационного типа, отличающаяся от известной методики корректным учетом теплосодержания топливного газа на входе в камеры сгорания ГТУ, учетом особенностей тепловых схем ПГУ с суховоздушными градирнями для охлаждения сетевой воды, а также расширенным перечнем определяемых составляющих резерва тепловой экономичности для повышения объективности оценки технического состояния оборудования и уровня его эксплуатации;
- разработана методика совместного сведения материальных и энергетических балансов по ПГУ в целом, базирующаяся на разработанной методике сведения балансов ГТУ и

известной методике сведения балансов в пароводяном тракте ТЭС, и получены количественные характеристики влияния используемой методики сведения балансов на показатели тепловой экономичности оборудования ПГУ утилизационного типа, что в совокупности представляет собой новый научный результат в области теплоэнергетики.

Теоретическая значимость работы состоит в развитии методологии решения некорректных задач в теплоэнергетике путем расширения области применения известной методики сведения материальных и энергетических балансов ТЭС основанной на подходе регуляризации Тихонова на энергоблоки парогазового цикла за счет формулировки и решения на единой методологической основе задачи сведения балансов ГТУ, что представляет собой существенное развитие математического аппарата для задач энергетического балансирования, получены новые результаты, характеризующие влияние используемой методики сведения балансов ГТУ на показатели тепловой экономичности ГТУ, котлов-утилизаторов, паровых турбин и ПГУ в целом, что углубляет теоретические представления о взаимосвязях в сложных энергетических системах; разработаны теоретические основы расчета составляющих резерва тепловой экономичности парогазовых установок утилизационного типа с учетом специфики их термодинамических циклов и структурных особенностей, что дополняет теорию технико-экономического анализа в энергетике.

Практическая значимость работы заключается в следующем:

1. Разработан программный модуль «Сведение материального и энергетического баланса газотурбинной установки по данным АСУТП», (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023687983 от 19.12.2023 г.), в основу которого положена авторская методика сведения балансов ГТУ.
2. Определены недостатки методик расчета, составляющих РТЭ оборудования парогазовых ТЭС, приведенных в нормативных документах. В частности, выполнено сопоставление полученных автором зависимостей с известной методикой, разработанной в ПАО «Интер РАО».
3. Повышена объективность оценки технического состояния и уровня эксплуатации оборудования парогазовой ТЭС с энергоблоками ПГУ-116, ПГУ-120 за счет интеграции разработанного программного модуля и методики расчета составляющих РТЭ в комплексную систему мониторинга технико-экономических показателей и оптимизации загрузки оборудования.
4. Разработан и внедрен в рамках НИОКР в практику расчета ТЭП программный комплекс «Программа для реализации алгоритма сведения материального и теплового баланса основного оборудования и групп оборудования филиала «Уренгойская ГРЭС» АО «Интер РАО – Электрогенерация», в основу которого положена авторская методика сведения балансов по данным эксплуатационного контроля ПГУ (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023687983 от 19.12.2023 г.).

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их достоверность. Достоверность и обоснованность полученных результатов подтверждается применением апробированных методов математического моделирования и анализа тепловой экономичности энергетических установок; непротиворечивостью данных, полученных на разных объектах исследования, согласованностью результатов работы с данными других авторов для предельных случаев, положительными результатами внедрения на ТЭС, апробацией результатов на нескольких разнотипных энергоблоках, что подтверждается двумя актами внедрения.

Замечания и вопросы по диссертации

1. В разделе, посвященном методике сведения балансов на основе регуляризации Тихонова, подробно описан итерационный процесс подбора параметра регуляризации, однако отсутствует четкое методологическое обоснование выбора именно квазиоптимального критерия для его определения. Необходимо было более глубоко раскрыть сравнительный анализ с другими известными критериями (например, критерием невязки, обобщенной невязки или перекрестной проверки) и дать количественную оценку, как выбранный критерий минимизирует потенциальную систематическую ошибку в окончательном решении, особенно применительно к данным технического учета, характеризующимся различным уровнем шумов.

2. В главе 2, где анализируется влияние метода сведения балансов на КПД брутто, приведены убедительные данные о снижении рассогласования между прямым и обратным балансом. Однако возникает вопрос: проводился ли анализ чувствительности итоговых показателей, таких как КПД к возможной корреляции погрешностей различных измеряемых параметров? В работе предполагается, что погрешности независимы, что отражено в использовании диагональной ковариационной матрицы. Насколько это предположение справедливо для реальных систем КИП, и как учет возможных корреляций мог бы повлиять на результаты регуляризации?

3. В главе 3, посвященной расчету составляющих РТЭ, предлагается усовершенствованная методика, одной из особенностей которой является корректный учет теплосодержания топливного газа. При этом в выводах утверждается, что это позволило устранить существенную ошибку. Необходимо пояснить, была ли проведена количественная оценка вклада именно этого усовершенствования в общее повышение точности расчета РТЭ по сравнению с другими улучшениями, такими как расширенный перечень составляющих или учет СВГ?

4. В работе апробация разработанных методик проводилась на объектах типа ПГУ-116, ПГУ-120 и ПГУ-450. Учитывая, что эти блоки имеют различную конфигурацию и мощность необходимо уточнить, выявлены ли в ходе апробации специфические ограничения или особенности применения предложенных методик, связанные с мощностью, конкретной тепловой схемой или типом основного оборудования, какие могут быть пределы применимости разработанных подходов?

5. В разделе 3.7 представлена методика определения поправок к показателям ГТУ с использованием множественной линейной регрессии. Однако не в полной мере освещены вопросы, связанные с проверкой адекватности полученной линейной модели. Были ли

проведены статистические тесты на значимость коэффициентов регрессии, насколько устойчивы полученные коэффициенты к вариации входного массива данных?

6. Одним из ключевых практических результатов является интеграция методик в комплексную систему мониторинга. При этом в тексте недостаточно подробно раскрыты программные аспекты этой интеграции. Каковы вычислительные затраты предложенных алгоритмов (особенно численного метода статистического программирования) при работе в режиме, близком к реальному времени? Обеспечивает ли выбранная программная реализация устойчивую работу системы при обработке больших массивов данных с типовой для АСУ ТП периодичностью?

7. При анализе баланса РТЭ в главе 3 показана хорошая сходимость (расхождение около 1%). Однако вызывает вопрос: какая часть этого расхождения может быть отнесена на счет методической погрешности самих расчетов, а какая – на счет неучтенных факторов или погрешности исходных данных? Проводился ли анализ вклада неопределенности исходных измерений в невязку баланса РТЭ?

8. В работе предлагаются новые формы отчетности по составляющим РТЭ. Насколько эти формы согласуются с существующей в энергетической отрасли системой отчетности и практикой планирования ремонтов? Были ли рассмотрены вопросы практического перехода на новые формы отчетности на действующих станциях, и какие организационные сложности здесь могут возникнуть?

9. В заключении и аннотации указано, что работа соответствует критической технологии «Технологии создания высокоэффективных систем генерации...». Следовало бы конкретизировать, какие именно результаты и разработки диссертации имеют непосредственное отношение к данной критической технологии, и в какой форме они могут быть использованы для дальнейшего развития систем генерации, выходящего за рамки повышения точности учета и анализа?

Указанные замечания и отмеченные недостатки не снижают научную и практическую значимость диссертационной работы.

Заключение по диссертационной работе

Диссертационная работа Зиновьевой Анастасии Сергеевны «Совершенствование методик расчета технических и технико-экономических показателей работы парогазовых установок ТЭС», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.5 «Энергетические системы и комплексы» (технические науки), является самостоятельной завершенной научно-квалификационной работой, в которой разработаны новые научно обоснованные технические решения по совершенствованию эксплуатации парогазовых установок ТЭС за счет разработки и внедрения методик сведения материального и энергетического балансов и расчета составляющих резерва тепловой экономичности оборудования, что имеет важное значение для развития энергетической отрасли страны.

Диссертационная работа «Совершенствование методик расчета технических и технико-экономических показателей работы парогазовых установок ТЭС» соответствует требованиям, предъявляемым ВАК Минобрнауки РФ, установленным в пп. 9-14 «Положения

о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24.09.2013 г. (в актуальной редакции), а ее автор, Зиновьева Анастасия Сергеевна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.5 «Энергетические системы и комплексы» (технические науки).

Заведующий кафедрой
«Тепловые электрические станции»
ФГБОУ ВО «Национальный
исследовательский университет «МЭИ»,
к.т.н., доцент

Дудолин Алексей Анатольевич

«17» 10.09.2025 г.

Подпись заведующего кафедрой «Тепловые электрические станции» Дудолина Алексея Анатольевича заверяю

Заместитель начальника управления
по работе с персоналом

Полевая Людмила Ивановна

«17» 11.09.2025 г.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ»
111250, г. Москва, ул. Красноказарменная, д.14
Телефон: +7 495 362 71 50
E-mail: dudolinaa@mpei.ru