



**Публичное акционерное общество энергетики
и электрификации «Мосэнерго»
(ПАО «Мосэнерго»)**

Проспект Вернадского, д. 101, корп. 3, г. Москва,
Российская Федерация, 119526
тел.: (495) 957-19-57, факс (495) 957-15-80
e-mail: mosenergo@mosenergo.ru, www.mosenergo.ru
ОКПО 00102798, ОГРН 1027700302420, ИНН 7705035012, КПП 997650001

10.11.2025 № 8/4
на № _____ от _____

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель управляющего директора
– главный инженер, Заместитель
председателя Научно-технического совета
Публичного акционерного общества
энергетики и электрификации «Мосэнерго»,
кандидат технических наук
Сергей Николаевич Ленёв

« 10 » _____ 2025 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации

публичного акционерного общества энергетики и электрификации
«Мосэнерго», г. Москва

на диссертационную работу **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
(технические науки)

Актуальность темы диссертационной работы

Ключевая цель эксплуатации энергетического оборудования – поддержание высокой эффективности его работы для бесперебойного энергоснабжения населения и промышленных объектов. Для достижения данной цели важно обеспечить высокий уровень эксплуатации и должное техническое состояние оборудования. Оценка эффективности эксплуатации производится на основе сопоставления фактических и номинальных (нормативных) значений технических и технико-экономических (ТЭП) показателей работы оборудования.

Расчет технических и технико-экономических показателей эксплуатируемого оборудования проводится на основе результатов измерения контролируемых параметров, составляющих данные технического и коммерческого учета. Важным этапом предварительной обработки результатов измерений является сведение материального и энергетического балансов по отдельным единицам, группам оборудования и электростанции в целом. При сведении балансов определяются действительные значения показателей, на основе которых далее рассчитываются как фактические, так и номинальные значения ТЭП, а при их сопоставлении вычисляются составляющие резерва тепловой экономичности (РТЭ) – перерасход или экономия топлива ввиду несоответствия фактического технического состояния и уровня эксплуатации оборудования номинальному.

Методика сведения балансов, предусмотренная нормативными документами энергетической отрасли, во-первых, не обеспечивает возможность учета индивидуальных метрологических характеристик каналов измерений, во-вторых, не позволяет выполнять сведение материального и энергетического балансов совместно, в-третьих, применима толь-

ко для оборудования паросилового цикла. Кроме того, для парогазовых установок (ПГУ) отсутствуют обоснованные методики расчета составляющих РТЭ, что не только затрудняет собственно анализ эффективности эксплуатации, но и лишает расчетчика инструмента дополнительного контроля правильности определения фактических и номинальных ТЭП – баланса РТЭ.

Таким образом, диссертация Зиновьевой А.С., направленная на повышение эффективности эксплуатации ПГУ ТЭС за счет разработки и внедрения методик совместного сведения материального и энергетического балансов, а также расчета составляющих РТЭ, является актуальной.

Структура и основное содержание диссертационной работы

Диссертация изложена на 157 страницах и состоит из введения, четырех глав, перечня основных результатов работы, списка литературы из 169 наименований и двух приложений.

Во введении обоснована актуальность выбранной темы, сформулированы цели и задачи, научная новизна, теоретическая и практическая значимость, методология и методы исследований, степень достоверности результатов диссертации, приведены положения, выносимые на защиту, информация о реализации и апробации результатов работы, количестве публикаций автора по теме диссертации, личном вкладе автора и структуре работы.

Первая глава посвящена анализу существующих подходов к решению поставленных задач: рассмотрены нормативные документы, регламентирующие процедуру сведения балансов и расчета РТЭ, общематематические подходы к решению некорректных задач, а также подходы, разработанные отечественными и зарубежными научными школами в части решения некорректных задач. Рассмотрены особенности объекта исследования, а именно парогазовых установок, и существующий опыт практического применения ранее разработанных методик сведения балансов научной школы Ивановского государственного энергетического университета им В.И. Ленина.

Вторая глава диссертационной работы посвящена разработке методики совместного сведения материального и энергетического баланса для газотурбинных установок (ГТУ). Автор предлагает несколько подходов к разработке методики сведения балансов: методику сведения балансов без учета особенностей каналов измерения и при фиксированных значениях энтальпий теплоносителей (скалярная постановка задачи с получением аналитического решения); методику, учитывающую индивидуальные метрологические характеристики каналов измерений при фиксированных значениях энтальпий (векторная постановка задачи с получением как аналитического решения, так и решения методом статистического программирования); методику, учитывающую как метрологические характеристики каналов измерения, так и неточность результатов измерения теплотехнических параметров. Проведен сравнительный анализ различных подходов к решению оптимизационной задачи, выбрана методика, позволяющая максимально учитывать причины появления неопределенностей. Дополнительно в главе выполнена оценка влияния применяемой методики сведения материального и энергетического балансов ГТУ на результаты расчета ТЭП.

В третьей главе предложена усовершенствованная методика расчета составляющих РТЭ ПГУ. В сравнении с разработанной методикой рассмотрена методика расчета

РТЭ, применяемая для объектов АО «Интер РАО-Электрогенерация», указаны её недостатки. Приведены результаты применения разработанной автором методики расчета составляющих РТЭ ПГУ.

В четвертой главе приведены результаты практического использования разработанных автором методик. Программный модуль, основанный на разработанной методике совместного сведения материального и энергетического балансов ГТУ, был интегрирован в существующий программный модуль «Баланс», применяемый, в частности, для сведения балансов водопарового тракта парогазовых ТЭС. Модуль успешно применяется как в реальной эксплуатации, так и для задач повышения квалификации персонала ТЭС. На базе предложенных методологии решены практические задачи оценки эффективности эксплуатации ПГУ-116 и ПГУ-120 (ТЭС «Международная» ООО «Ситиэнерго») и ПГУ-450 (филиал «Уренгойская ГРЭС» АО «Интер РАО-Электрогенерация»), что подтверждается соответствующими документами, приведенными в приложении к работе.

В заключении сформулированы основные выводы и результаты диссертационной работы согласно поставленным задачам, указаны перспективные направления развития тематики исследований.

В приложении приведены два свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ и три документа, подтверждающих практическое использование результатов диссертационной работы.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается тем, что проведенные автором исследования базируются на применении апробированных методов математического моделирования и анализа тепловой экономичности энергетических установок; согласованностью основных положений диссертации с опубликованными данными; апробацией разработанных методик расчета в условиях промышленной эксплуатации ПГУ; проверкой разработанных методик применительно к различным промышленным объектам. Научные положения, выносимые на защиту, раскрыты в тексте диссертации и в опубликованных соискателем работах.

Основные теоретические и практические результаты диссертационной работы опубликованы в 22 научных работах, в том числе в 5 статьях в рецензируемых журналах по списку ВАК; 15 тезисах и полных текстах докладов конференций. Получено 2 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Научная новизна

1. В рамках подхода регуляризации Тихонова к решению некорректных задач разработана методика совместного сведения материального и энергетического балансов ГТУ по данным технического учета, позволяющая обоснованно корректировать результаты измерения контролируемых параметров исходя из условия сведения балансов по аддитивным параметрам с учетом метрологических характеристик используемых средств измерения. Получены аналитические и численные решения задачи при её скалярной и векторной постановках.

2. 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. Получены количественные характеристики влияния используемой методики сведения балансов на показатели тепловой экономичности оборудования ПГУ утилизационного типа.

3. Разработана усовершенствованная методика расчета составляющих резерва тепловой экономичности оборудования ПГУ 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.

Значимость полученных автором диссертации результатов для развития соответствующей отрасли науки

Научное значение результатов исследования заключается:

- в формулировке и решении задачи совместного сведения материального и энергетического балансов ГТУ по результатам измерения контролируемых параметров за счет расширения области применения методики сведения материальных и энергетических балансов ТЭС, основанной на подходе регуляризации Тихонова при решении некорректных задач, на энергоблоки парогазового цикла;
- получении новых результатов, характеризующих влияние используемой методики сведения балансов ГТУ на показатели тепловой экономичности ГТУ, котлов-утилизаторов (КУ), паровых турбин (ПТ) и ПГУ в целом;
- повышении объективности оценки технического состояния оборудования ПГУ утилизационного типа и уровня его эксплуатации за счет разработки и внедрения усовершенствованной методики расчета составляющих РТЭ.

Значимость для практики состоит в разработке программного модуля «Сведение материального и энергетического баланса газотурбинной установки по данным АСУТП»; решении конкретных производственных задач для парогазовой ТЭС с энергоблоками ПГУ-116, ПГУ-120 за счет интеграции разработанного программного модуля и методики расчета составляющих РТЭ в комплексную систему мониторинга ТЭП и оптимизации загрузки оборудования; разработки и внедрения в практику расчетов программного комплекса «Программа для реализации алгоритма сведения материального и теплового баланса основного оборудования и групп оборудования филиала «Уренгойская ГРЭС» АО «Интер РАО – Электрогенерация».

Рекомендации по использованию результатов и выводов, приведенных в диссертации

Разработанные методики сведения материального и энергетического балансов ГТУ, совместного сведения материального и энергетического балансов по ПГУ в целом и методика расчета составляющих РТЭ ПГУ рекомендуются к использованию на действующих ТЭС при расчете фактических и номинальных ТЭП оборудования ПГУ в процессе эксплуатации, а также в инжиниринговых организациях, работающих в сфере нормирования показателей топливоиспользования ТЭС и разработки специализированных программных средств для оценки эффективности энергетических установок и оптимизации режимов их работы.

Соответствие диссертации научной специальности

Работа соответствует паспорту научной специальности 2.4.5 «Энергетические системы и комплексы» в части направлений исследований:

1. Пункту 1 «Разработка ... методов расчета, алгоритмов и программ выбора и опти-

мизации параметров, показателей качества и режимов работы ... энергетических установок на органическом ... топлив(е) ... в целом и их основного и вспомогательного оборудования».

2. Пункту 3 «Разработка, исследование, совершенствование действующих ... технологий и оборудования для производства электрической и тепловой энергии...».

3. Пункту 4 «Разработка научных подходов, методов, алгоритмов ... контроля и диагностики ... основного и вспомогательного оборудования ... станций ... и входящих в них энергетических установок».

По содержанию диссертации имеются следующие вопросы и замечания:

1. В работе не представлена информация о необходимости какой-либо предварительной обработки и коррекции данных технического учета, использующихся в процедуре сведения материального и энергетического балансов. Если предлагаемая автором методика позволяет получить «точный» результат, то останется приборная метрологическая погрешность, устранить которую невозможно. По этой части требуются соответствующие пояснения.

2. В работе не отражено влияние конструкции и технологических особенностей ГТУ на возможность внедрения методик сведения материального и энергетического балансов в процедуру расчета технико-экономических показателей.

3. В разделе 3.9 приведены предлагаемые формы отчетов по составляющим резерва тепловой экономичности, но оговорено, что данные формы актуальны для «треххвального дубльблока с котлами-утилизаторами двух давлений и паровой турбиной с теплофикационным отбором пара». Следовало бы привести варианты отчетных форм и для других, в том числе более распространенных, профилей ПГУ.

4. Из материалов диссертации не ясно, требуется ли пересмотр действующей нормативно-технической документации (НТД) по топливоиспользованию эксплуатируемых ПГУ с учетом предлагаемых автором методик сведения балансов и расчета составляющих резерва тепловой экономичности. Может ли рассматриваться комплекс разработанных автором методик в качестве системы проверки НТД по топливоиспользованию, разработанной конкретной организацией?

5. Выглядит необоснованным заявление о влиянии предлагаемой методики на формирование плана ремонтов. План ремонтов опирается, главным образом, на подсчет эквивалентных часов эксплуатации, но связь с ними в работе не установлена.

Приведенные замечания и вопросы не меняют общей положительной оценки диссертации.

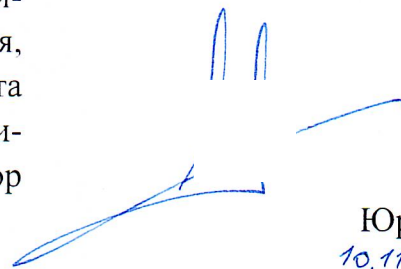
Заключение по работе

Диссертация Зиновьевой Анастасии Сергеевны «Совершенствование методик расчета технических и технико-экономических показателей работы парогазовых установок ТЭС» является завершенной научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные технические решения, состоящие в разработанных методиках совместного сведения материального и энергетического балансов газотурбинных установок и расчета составляющих резервов тепловой экономичности парогазовых установок утилизационного типа, что имеет важное значение для развития энергетической отрасли. Содержание диссертационной работы соответствует паспорту специальности 2.4.5 «Энергетические системы и комплексы» (технические науки).

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).

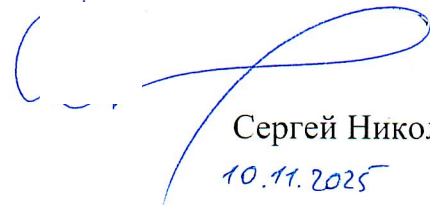
Диссертация, автореферат, а также отзыв ведущей организации обсуждены на заседании Научно-технического совета публичного акционерного общества энергетики и электрификации «Мосэнерго» 10.11.2025 протокол №2.

Главный специалист службы вибродиагностики и наладки инженерного управления, Сопредседатель Научно-технического совета Публичного акционерного общества энергетики и электрификации «Мосэнерго», доктор технических наук



Радин
Юрий Анатольевич
10.11.2025

Заместитель управляющего директора – главный инженер, Заместитель председателя Научно-технического совета Публичного акционерного общества энергетики и электрификации «Мосэнерго», кандидат технических наук



Ленёв
Сергей Николаевич
10.11.2025

Сведения о ведущей организации:

Публичное акционерное общество энергетики и электрификации «Мосэнерго»

Адрес: Российская Федерация, 119526, г. Москва, проспект Вернадского, д.101, корп.3

Телефон: +7 495 957-19-57. Факс: +7 495 957-32-00

e-mail: mosenergo@mosenergo.ru. Сайт: <https://www.mosenergo.ru/>

Подписи Радина Юрия Анатольевича и Ленёва Сергея Николаевича заверяю:

Начальник управления по технологическому перевооружению и реконструкции, Научный секретарь Научно-технического совета Публичного акционерного общества энергетики и электрификации «Мосэнерго»



Охлопков
Андрей Владимирович
10.11.2025

В соответствии с ч. 7 ст. 2 Федерального закона от 26.12.1995 № 208-ФЗ «Об акционерных обществах» и на основании зарегистрированного 06.07.2025 г. Устава ПАО «Мосэнерго» в новой редакции, ПАО «Мосэнерго» осуществляет свою деятельность без использования печати.



**Публичное акционерное общество энергетики
и электрификации «Мосэнерго»
(ПАО «Мосэнерго»)**

**Руководителям
организаций
(по списку)**

Проспект Вернадского, д. 101, корп. 3, г. Москва,
Российская Федерация, 119526
тел.: (495) 957-19-57, факс (495) 957-15-80
е-mail: mosenergo@mosenergo.ru, www.mosenergo.ru
ОКПО 00102798, ОГРН 1027700302420, ИНН 7705035012, КПП 997650001

11.08.2025 № ЦСх-29-431/25
на № _____ от _____

О внесении изменений в устав ПАО «Мосэнерго»

Уважаемые коллеги!

Настоящим письмом ПАО «Мосэнерго» информирует, что в соответствии с ч.7 ст. 2
Федерального закона от 26.12.1995 № 208-ФЗ «Об акционерных обществах» и на основании
зарегистрированного 06.07.2025 Устава ПАО «Мосэнерго» в новой редакции,
ПАО «Мосэнерго» осуществляет свою деятельность без использования печати.

**Заместитель главного инженера по
техническому перевооружению и
реконструкции**

А.В. Смирнов