

ОТЗЫВ

официального оппонента Зиганшиной Светланы Камиловны 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 (технические науки)

1. Актуальность темы диссертационного исследования

Парогазовые установки утилизационного типа (ПГУ-У) наиболее перспективные и широко распространенные в энергетике. Однако ПГУ уступают установкам традиционного паросилового цикла по степени проработанности вопросов оценки тепловой экономичности в процессе эксплуатации.

Расчет технико-экономических показателей ТЭС является одним из ключевых этапов оценки уровня эксплуатации и технического состояния оборудования. На практике такие расчеты ведутся на основе исходных данных, получаемых от контрольно-измерительных приборов и АСУ ТП и обладающих неопределенностью. В случае если эта неопределенность не устраняется при расчете фактических значений технических показателей работы оборудования, результаты последующих расчетов технико-экономических показателей (ТЭП) также оказываются неточными. Расширение методической базы расчета и нормирования показателей тепловой экономичности и разработка обоснованных методик расчета составляющих резерва тепловой экономичности (РТЭ) для ПГУ являются актуальными задачами.

Учитывая изложенное, тема диссертационного исследования Зиновьевой А.С., посвященного разработке методик и алгоритмов повышения достоверности определения технических и технико-экономических показателей работы оборудования ПГУ, является актуальной.

2. Оценка содержания диссертационной работы

Представленная на отзыв диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованных литературных источников из 169 наименований, двух Приложений, изложена на 157 страницах машинописного текста.

Цель работы заключается в повышении эффективности эксплуатации парогазовых установок ТЭС за счет разработки и внедрения методик сведения материального и энергетического балансов и расчета составляющих резерва тепловой экономичности оборудования парогазовых установок.

Во введении обоснована актуальность темы, изложены цель и задачи исследования, научная новизна, теоретическая и практическая значимость результатов работы, перечислены положения, выносимые на защиту, описаны степень достоверности полученных результатов и личный вклад автора, приведены применяемые в работе методы исследования, сведения об апробации результатов работы, данные о публикациях по теме диссертации.

В первой главе представлены анализ нормативной документации на предмет рекомендованных методик сведения материального и энергетического балансов, а также требований, предъявляемых к системам контроля тепловой экономичности, и обзор литературных источников, содержащих подходы к решению некорректных

задач. Приведен анализ нормативной документации, регламентирующей расчет резервов тепловой экономичности. Дополнительно представлены особенности газотурбинной установки (ГТУ), как объекта сведения балансов по данным эксплуатационных измерений и объекта расчета ТЭП. По результатам проведенного анализа и обзора литературных источников сформулированы задачи исследования.

Вторая глава диссертации посвящена разработке методики совместного сведения материального и энергетического балансов ГТУ. Автор предлагает несколько вариантов постановки и решения задачи, отличающихся между собой возможностью учета неопределенности результатов измерения технических параметров теплоносителей. Выполнено сравнение подходов к решению задачи, сделан вывод о наибольшей эффективности и целесообразности применения одного из них, который и был принят за основу разработанной методики сведения балансов. Проведен анализ влияния совместного сведения балансов на расчет показателей тепловой экономичности ГТУ.

В третьей главе рассматривается предложенная соискателем усовершенствованная методика расчета составляющих РТЭ утилизационных ПГУ, позволяющая учитывать в полной мере конструктивные и технологические особенности парогазовых установок. Приведены результаты практического применения разработанной методики.

В четвертой главе представлены результаты внедрения разработанной методики совместного сведения материального и энергетического балансов ГТУ в существующий модуль сведения материального и энергетического балансов водопарового тракта и системы подогрева сетевой воды ПГУ-ТЭС. Отражены результаты применения методик сведения балансов и расчета составляющих РТЭ для реальных объектов энергетики: ПГУ-116 и ПГУ-120 ТЭС «Международная» ООО «Ситиэнерго», ПГУ-450 филиала «Уренгойская ГРЭС» АО «Интер РАО-Электрогенерация».

В заключении сформулированы основные выводы и результаты работы в соответствии с целью исследования и поставленными задачами, изложены рекомендации по дальнейшей научной и практической разработке темы диссертации.

3. Научная новизна диссертационной работы заключается в разработке методики совместного сведения материального и энергетического балансов ГТУ по данным технического учета, позволяющей обоснованно корректировать результаты измерения контролируемых параметров исходя из условия сведения балансов по аддитивным параметрам с учетом метрологических характеристик используемых средств измерения; в разработке методики совместного сведения материальных и энергетических балансов по ПГУ в целом на основе разработанной методики сведения балансов ГТУ и методики сведения балансов в пароводяном тракте ТЭС; в совершенствовании методики расчета составляющих РТЭ оборудования ПГУ-У.

4. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их достоверность подтверждается применением 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.

5. Значимость результатов работы для науки и практики

Теоретическая значимость результатов работы заключается в расширении области применения известной методики сведения материальных и энергетических балансов ТЭС, основанной на подходе регуляризации Тихонова при решении некорректных задач, на энергоблоки парогазового цикла за счет формулировки и решения на единой методологической основе задачи сведения балансов ГТУ; в получении новых результатов, характеризующих влияние используемой методики сведения балансов ГТУ на показатели тепловой экономичности ГТУ, котлов-утилизаторов, паровых турбин и ПГУ в целом; в повышении объективности оценки технического состояния оборудования ПГУ-У и уровня его эксплуатации за счет разработки и внедрения усовершенствованной методики расчета составляющих РТЭ.

Практическая значимость результатов работы подтверждается актом внедрения и двумя актами об использовании результатов научно-исследовательской работы и заключается в следующем.

1. На основе разработанной методики сведения балансов ГТУ создан программный модуль «Сведение материального и энергетического баланса газотурбинной установки по данным АСУТП» (свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2023687086).

2. Предложенная методика расчета составляющих РТЭ апробирована при оценке показателей тепловой экономичности утилизационных ПГУ.

3. Разработанные программный модуль и методика расчета составляющих РТЭ ПГУ интегрированы в комплексную систему мониторинга ТЭП и оптимизации загрузки оборудования парогазовой ТЭС с энергоблоками ПГУ-116, ПГУ-120, что обеспечило повышение объективности оценки технического состояния и уровня эксплуатации оборудования.

4. На основе предложенной методики сведения балансов по ПГУ создана «Программа для реализации алгоритма сведения материального и теплового баланса основного оборудования и групп оборудования филиала «Уренгойская ГРЭС» АО «Интер РАО – Электрогенерация», внедренная в рамках НИОКР в практику расчета ТЭП на Уренгойской ГРЭС (свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2023687983).

6. Замечания и вопросы по диссертационной работе

1. На стр. 40 диссертации отмечено: «... энтальпии h теплоносителей зависят от состава теплоносителей (смеси газов) и их измеренных параметров – давления (p) и температуры (t), то есть $h = f(\text{состав}; p; t)$ ». Однако в работе не приведены формулы для расчета энтальпий газов, например, по поверхностям нагрева КУ ГТУ в зависимости от состава топливного газа, коэффициента избытка воздуха в газах, температуры газов и их давления. Какие зависимости для определения энтальпий газов были заложены в разработанные программы для ЭВМ?

2. На рис. 1.4 приведена расчетная тепловая схема водопарового тракта, а на рис. 1.5 – расчетная тепловая схема тракта подогрева сетевой воды энергоблока ПГУ-116. На указанных схемах отсутствуют расчетные значения параметров теплоносителей (расход, температура, давление). Кроме того, целесообразно было привести принципиальную тепловую схему ПГУ-116 с изображением взаимосвязанных

между собой ГТУ с электрогенераторами, котлов-утилизаторов с обозначением всех поверхностей нагрева, паровой турбины, теплофикационной установки, поскольку на указанном энергоблоке проводилась апробация разработанных методик.

3. В табл. 2.4 приведены результаты расчетов КПД брутто ГТУ типа GTX-100 по прямому и обратному балансам для различных вариантов постановки и решения задачи сведения балансов. В указанной таблице для рассмотренных вариантов целесообразно было указать числовые значения мощностей $Q_{КС}$, $Q_{1к}$, $Q_{1т}$, Q_5 , $Q_{эм}$ и $N_{ГТУ}$, учитываемых при определении КПД брутто ГТУ.

4. В формулах (3.3), (3.5)–(3.9), (3.12) имеется выражение $\left(1 + \frac{\rho_{топл}^{(ф)} h_{топл}^{(ф)}}{3,6 Q_H^{р(ф)}}\right)$. Множителя 3,6 в знаменателе второго слагаемого данного выражения не должно быть, так как единица измерения $\rho_{топл}^{(ф)}$, кг/м³, $h_{топл}^{(ф)}$, кДж/кг, $Q_H^{р(ф)}$, кДж/м³ (см. стр. 81).

5. В диссертации отсутствует разъяснение цифры 2, указанной внутри скобок выражения $0,1228 \mathcal{E}_{ГТУ}(2 - \eta_{эм}^{ГТУ})$, входящего в состав формул (3.6)–(3.9), (3.12), при этом на стр. 82 приведено: «... $\mathcal{E}_{ГТУ}$ – выработка электроэнергии ГТУ за период, тыс. кВт·ч. ... $\eta_{эм}^{ГТУ}$ – электромеханический КПД ГТУ, ...».

6. Почему результаты расчетов РТЭ энергоблока ПГУ-116, представленные на рисунках 3.3 и 4.1, существенно отличаются?

7. В табл. 4.1 приведены результаты расчета показателей работы энергоблока ПГУ-120, в том числе значения КПД брутто котлов-утилизаторов, определенные по прямому и обратному балансам. В работе не представлены формулы, по которым рассчитывались КПД котлов-утилизаторов.

8. Замечания по оформлению рукописи диссертации:

- в оглавлении не приведены названия приложений;
- в выражении для расчета объемного содержания оксида углерода в дымовых газах на выходе из турбины $CO_{ГТ}^{(ф)} i$, приведенном в табл. 1.1, вместо $CO_{ГТ}^{(ф)} i$ следовало указать $CO_{ГТ м}^{(ф)} i$, т.е. концентрацию оксида углерода в дымовых газах на выходе из турбины, мг/м³, указанную на стр. 41;
- имеются опечатки в тексте диссертации, например, на стр. 26 диссертации указано: «... в зависимости от требований к точности измерения того или иного параметр.»; на стр. 32 – «Предложенный подход апробирован ... в результаты ...». В целом задача сведения балансов является частным случаем ... такой задачи, для которого ...»; на стр. 38 – «Рассматриваемые ГТУ имеет ...»; на стр. 50 – «... отбор, работающий на два горизонтальных сетевых подогревателя ПГУ-1 и ПСГ-2.»; на стр. 85 – «... коэффициент ценности пара, ... определяемый в соответствии в известными подходами ...»; на стр. 98 – «... целесообразно скорректировать отраслевые нормативных документы ...»; на стр. 104 – «Первоначально апробация этой методики проводилась и использованием данных ...». Имеющиеся в приведенном тексте опечатки подчеркнуты.

Указанные замечания имеют частный характер, не снижают научной и практической ценности работы и целостности ее содержания.

7. Подтверждение опубликования основных результатов диссертации в научной печати. По теме диссертации соискателем опубликованы 22 печатные работы, из них 5 статей в журнале, входящем в перечень рецензируемых научных из-

даний по списку ВАК, 2 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ, 15 тезисов и полных текстов докладов конференций.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

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 завершенной научно-квалификационной работой, в которой изложены научно обоснованные методики сведения материального и энергетического балансов и расчета составляющих резерва тепловой экономичности оборудования утилизационных ПГУ. Применение разработанных методик, созданных на их основе программ для ЭВМ способствует повышению эффективности эксплуатации парогазовых установок тепловых электростанций. По актуальности, научной новизне, практической значимости, объему и уровню проведенных исследований, полноте публикаций диссертационная работа соответствует требованиям, предъявляемым ВАК Минобрнауки России, 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).

Официальный оппонент:

профессор кафедры «Тепловые электрические станции» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Самарский государственный технический университет», доктор технических наук, доцент

Почтовый адрес: 443100, Россия, г. Самара,
ул. Молодогвардейская, 244, Главный корпус
Тел. (846) 333-65-77
e-mail: tes@samgtu.ru

Зиганшина
Светлана Камиловна

05.12.2025 г.

Подпись Зиганшиной Светланы Камиловны заверяю:

Ученый секретарь

ФГБОУ ВО «Самарский государственный

технический университет»,

доктор технических наук, доцент



Малиновская
Юлия Александровна