

**ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА  
НА ДИССЕРТАЦИЮ ЗИМИНА АРТЁМА ПАВЛОВИЧА  
"СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ РАСЧЁТА ПОКАЗАТЕЛЕЙ  
ТЕПЛОЙ ЭКОНОМИЧНОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ ТЭС",  
представленную на соискание ученой степени  
кандидата технических наук по специальности  
05.14.14 –Тепловые электрические станции,  
их энергетические системы и агрегаты**

На рассмотрение представлена диссертация Зимина А.П., изложенная на 233 страницах, состоящая из введения, четырех глав, основных выводов и результатов, списка литературы из 146 наименований и двух приложений.

**Актуальность работы** несомненна и исчерпывающим образом обоснована автором во введении.

Задачи расчета фактических и номинальных значений показателей тепловой экономичности оборудования ТЭС составляют существенную часть работы сотрудников производственно-технических отделов электростанций и организаций, занятых проведением тепловых испытаний энергетического оборудования. Важность решения этих задач обусловлена тем, что показатели тепловой экономичности используются как при оценке фактического технического состояния оборудования (на основе анализа составляющих резерва тепловой экономичности), так и при управлении энергетическими активами (на стадиях тарифного регулирования в теплоснабжении и формирования ценовых заявок на ОРЭМ). От точности расчета показателей тепловой экономичности в конечном итоге зависит эффективность использования оборудования и маржинальная прибыль ТЭС.

Поскольку руководящие документы энергетической отрасли в основном разработаны в прошлом веке, в них не содержится методически выверенных и научно обоснованных рекомендаций относительно учета неточности определения различных параметров первичного технического учета и её влияния на конечные значения показателей тепловой экономичности. Научное сообщество России к настоящему времени предложило ряд решений, базирующихся на методах согласования балансов (материальных, энергетических, эксергетических), которые в целом обеспечивают повышение точности расчета показателей тепловой экономичности энергетического оборудования. Однако их применение на практике затруднено ввиду отсутствия формализованных методов постановки и решения задач, а также, в ряде случаев, необходимости расчета показателей (например, эксергии потоков), не свойственных практической работе персонала ТЭС. В связи с этим для энергетической отрасли России актуальной является задача разработки научно обоснованных методов корректировки данных первичного технического учета показателей работы оборудования ТЭС, обеспечивающих согласование параметров материальных и энергетических потоков в системах сложной структуры.

Диссертация Зимина А.П. посвящена разработке расчетных алгоритмов, обеспечивающих возможность учета при сведении балансов различной степени достоверности определения параметров исходной информации, метрологических и технологических ограничений по всем или некоторым выбранным узлам тепловой схемы, а также возможность установления степени соот-



ветствия расчетных невязок балансов по контролируемым узлам схемы номинальным характеристикам погрешности системы мониторинга с возможностью локализации источника ошибки, и в этом отношении является актуальной.

**Анализ степени новизны и обоснованности основных положений диссертации.** Оценим новизну и обоснованность каждого из сформулированных автором основных выводов (с. 157-159).

1. *«Проведен комплекс расчетных и экспериментальных исследований, направленных на совершенствование оценки показателей качества агрегатов ТЭС при проведении тепловых испытаний и расчете показателей тепловой экономичности путем разработки и реализации методик сведения материальных и энергетических балансов в энергетических системах по результатам измерения параметров потоков теплоносителей».*

Вывод отражает цель диссертации, а также средства достижения цели. Необходимо обратить внимание, что принятый автором путь решения поставленной задачи, предполагающий совместное сведение материальных и энергетических балансов, в полной мере соответствует номенклатуре показателей, с которыми имеет дело в практической работе персонал производственно-технических отделов ТЭС, и отвечает требованиям руководящих документов энергетической отрасли. Такой подход с положительной стороны характеризует диссертанта как специалиста, владеющего не только математическими методами расчета систем сложной структуры, но и опытом решения практически значимых задач в теплоэнергетике.

2. *«На основе матричной модели материальных потоков в энергетических системах и подхода к решению некорректных задач на основе регуляризации Тихонова сформулирована задача оценки соответствия рассчитываемых по данным технического учета невязок материального баланса нормативным метрологическим характеристикам используемых средств измерения с локализацией источника ошибки, получены аналитические и численные решения задачи. Предложенный подход обобщен на методику совместного сведения материальных и энергетических балансов в тепловой схеме ТЭС по данным технического учета, позволяющую учесть различную степень достоверности определения параметров исходной информации, метрологические и технологические ограничения по всем или некоторым выбранным узлам схемы. Разработанная методика реализована в программном модуле «Баланс», ориентированном на решение прикладных задач обработки результатов тепловых испытаний и расчета показателей тепловой экономичности оборудования ТЭС».*

Предложенные автором методики, основанные на сведении материального и совместно материального и энергетического балансов, составляют научную новизну диссертации. При этом использованный автором подход следует признать перспективным с точки зрения его потенциального развития, например, применительно к задачам расчета газообмена в энергетических системах сложной структуры. В этом случае без изменения математического аппарата возможно добавление в систему балансовых уравнений дополнительного уравнения, отвечающего за баланс массы выбранного растворенного в теплоносителях газа. Аналогично система балансовых уравнений может быть дополнена ограничениями по эксергетическим характеристикам процесса. То есть предложенный подход является в существенной степени масшта-



бируемым и потому может быть признан универсальным, что обуславливает научную ценность рассматриваемого результата работы.

Важно, что автор не ограничился разработкой собственно методик расчета, а довел их до реализации в программном модуле. Однако «хорошим тоном» при подготовке диссертаций является оформление документов о защите прав на интеллектуальную собственность. В данном случае свидетельство на государственную регистрацию программы для ЭВМ в диссертации не представлено, что является очевидным недостатком работы.

*3. «Разработанная методика сведения материальных балансов по результатам измерений параметров потоков теплоносителей в тепловой схеме использована при обработке результатов проведенных гарантийных тепловых испытаний турбоагрегата ПТ-26/29-2,9/1,3 Кизеловской ГРЭС. По результатам вариантных расчетов показано, что от выбора методики сведения балансов зависит признание турбоагрегата соответствующим гарантированным заводом-изготовителем показателям».*

Этот результат работы является значимым в практическом отношении. В настоящее время тепловые испытания турбоагрегатов проводятся по методике, регламентированной соответствующим руководящим документом. Важно, что автор убедительно показал в работе несостоятельность этого документа при его использовании для обработки результатов гарантийных испытаний оборудования.

Однако очевидным выходом из полученных на Кизеловской ГРЭС данных являлась бы разработка проекта изменений к нормативной методике проведения тепловых испытаний паровых турбин, в котором учитывались бы особенности сведения материальных балансов в условиях опытов. Такие материалы в диссертации отсутствуют.

*4. «Проведены расчетные исследования по оценке изменения фактических и номинальных значений показателей тепловой экономичности оборудования и значений резерва тепловой экономичности при использовании разработанной методики сведения балансов в расчете показателей тепловой экономичности действующих ТЭС различного типа. По результатам исследований выявлено следующее:*

*– применительно к паротурбинной ТЭС с поперечными связями методика сведения балансов оказывает наибольшее влияние на результаты расчета номинальных значений удельных расходов топлива на отпуск тепловой и электрической энергии; при использовании различных методик сведения балансов значения номинального количества сожженного топлива по ТЭС за отчетный период отличаются друг от друга на величину, сопоставимую с утвержденным нормативно-технической документацией по топливоиспользованию резервом тепловой экономичности электростанции;*

*– для парогазовой ТЭС без дожигания топлива в котлах-утилизаторах методика сведения балансов не оказывает значимого влияния на результаты расчета фактических и номинальных значений удельных расходов топлива на отпуск тепловой и электрической энергии, но существенно влияет на результаты расчета промежуточных показателей тепловой экономичности отдельных агрегатов».*

Процитированные выводы отражают результаты, которые также следует отнести к научной новизне диссертации. Как было отмечено ранее, дейст-



вующие руководящие документы не содержат сведений о влиянии применяемой методики сведения балансов по данным первичного технического учета на определяемые расчетным путем фактические и номинальные значения показателей тепловой экономичности оборудования ТЭС. Поэтому полученные диссертантом результаты весьма важны в методическом плане.

Ценно также, что в работе обосновывается специфика решаемой задачи применительно к ТЭС двух различных типов. Однако для формирования полной картины целесообразно было бы рассмотреть в дополнение к неблочной паротурбинной ТЭЦ и парогазовой ТЭС объект третьего типа – блочную ТЭС с конденсационными турбоагрегатами.

*5. «Программный модуль «Баланс» внедрен в производственный процесс ПГУ-ТЭС «Международная» ООО «Ситизэнерго» (г. Москва), где используется при ежесуточном контроле системы технического учета (путем оценки невязок материальных балансов по отдельным узлам тепловой схемы и анализа динамики их изменения во времени), а также при ежемесячных расчетах показателей тепловой экономичности оборудования в рамках подготовки государственной статистической отчетности (путем совместного сведения материальных и тепловых балансов, сведения топливного и электрического балансов с расчетом фактических и номинальных значений технико-экономических показателей). Экономический эффект от внедрения методики обусловлен выявленным резервом тепловой экономичности в количестве 1308 т у.т./год».*

По существу приведенного вывода можно с ним согласиться: реализация в составе программно-технического комплекса ТЭС авторских алгоритмов сведения балансов действительно позволила значимо повысить точность расчета показателей тепловой экономичности оборудования.

Вместе с тем, представляется недостаточным приведенное в работе обоснование экономического эффекта от внедрения авторских разработок на ТЭС «Международная», выраженного экономией топлива в количестве 1308 т у.т./год. Не ясно, в какой мере этот эффект обусловлен именно повышением точности расчета показателей тепловой экономичности.

Кроме того, не ясно, почему автор не выносит на защиту разработанный им и представленный в диссертации (с. 145–148) алгоритм сведения материальных и энергетических балансов по газотурбинным установкам.

*6. «Предложенная методика совместного сведения материальных и энергетических балансов использована на Омской ТЭЦ-4 при разработке программного комплекса «ТЭС-Эксперт», предназначенного для расчета фактических и номинальных значений показателей тепловой экономичности оборудования и составляющих резерва тепловой экономичности, а также для оптимизации загрузки оборудования. Использование методики сведения балансов обеспечило повышение объективности результатов расчета составляющих резерва тепловой экономичности оборудования, что подтверждается удовлетворительным совпадением значений резерва тепловой экономичности ТЭЦ, рассчитанных по прямому и обратному балансам».*

В тексте диссертации приведенный вывод обоснован в достаточной мере результатами расчетов при различных вариантах постановки и решения задачи сведения балансов.



Интерес представляют также имеющиеся в работе данные о соотношении фактических и номинальных показателей тепловой экономичности отдельных агрегатов. Однако не ясно, почему автор для Омской ТЭЦ-4 ограничился рассмотрением номинальных и фактических расходов свежего пара только по турбоагрегатам с конденсацией пара, исключив из анализа противодавленческие турбины.

7. «Основные полученные в работе результаты внедрены в Ивановском государственном энергетическом университете (ИГЭУ) при подготовке магистров по профилю «Тепловые электрические станции», а также при повышении квалификации работников производственно-технических отделов ТЭС на базе Института повышения квалификации и переподготовки кадров (в энергетике) при ИГЭУ по программе «Расчеты фактических, номинальных, нормативных ТЭП и составляющих резерва тепловой экономичности. Оптимизация режимов работы оборудования ТЭС».

Реализация результатов работы в рамках учебного процесса также подтверждена актом внедрения.

Несколько замечаний и вопросов дополнительно к замечаниям, сделанным при анализе выводов диссертации:

1. Чем обусловлено изменение при сведении балансов по ТЭС «Международная» относительного теплосодержания дымовых газов газотурбинных установок (с. 149, табл. 4.6, третий показатель)?

2. Можно ли, основываясь на полученных в работе данных, сформулировать какие-либо общие требования к рациональной структуре метрологического обеспечения расчета показателей тепловой экономичности ТЭС?

3. Каким образом предложенная методика совместного сведения материальных и энергетических балансов позволяет оптимизировать загрузку оборудования ТЭС?

Высказанные замечания не снижают научной и практической ценности диссертации. Большую их часть можно рассматривать как рекомендации диссертанту по его будущей научной работе.

#### **Общая оценка работы.**

Достоверность и обоснованность полученных данных обусловлена использованием при разработке математического описания систем очевидных балансовых соотношений по аддитивным характеристикам потоков теплоносителей; корректным применением методов решения оптимизационных задач; проверкой основных положений диссертации на реальных промышленных объектах; непротиворечивостью данных, полученных на различных объектах исследования; согласованностью результатов работы с данными других авторов. Ценность и обоснованность практических результатов диссертации подтверждается актами их внедрения на ТЭС.

Сказанное позволяет утверждать, что основные результаты диссертационной работы удовлетворяют критериям новизны, достоверности и обоснованности. Диссертация обладает внутренним единством содержания. Материал диссертации изложен грамотно, последовательно и подробно. В публи-



кациях автора в полной мере освещены основные результаты исследований. Автореферат отражает содержание диссертации.

Диссертация полностью соответствует специальности 05.14.14 – Тепловые электрические станции, их энергетические системы и агрегаты.

Проведенный выше анализ основных положений диссертации позволяет заключить, что тема диссертации актуальна, а полученные диссертантом и выносимые на защиту результаты обладают научной новизной и практической ценностью.

Работа полностью соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук согласно п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней» (в соответствии с постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г. в редакции от 29 мая 2017 г.).

Считаю, что автор работы Зимин Артём Павлович заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.14 – Тепловые электрические станции, их энергетические системы и агрегаты.

Официальный оппонент,  
доцент кафедры «Теплогазоснабжение  
и вентиляция» ФГБОУ ВО «Ульяновский  
государственный технический  
университет»,  
кандидат технических наук, доцент



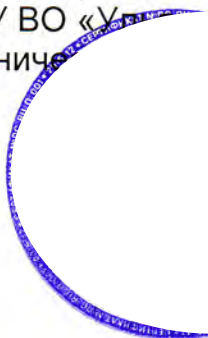
Замалеев  
Мансур Масхутович

« 30 » 10 2017 г.

Адрес: 432027, ул. Северный Венец, 32, г. Ульяновск,  
Ульяновский государственный технический университет  
Телефон: 8(8422) 77-82-48, E-mail: [tgv@ulstu.ru](mailto:tgv@ulstu.ru)

Подпись кандидата технических наук, доцента Замалеева М.М. заверяю:

Начальник Управления научных  
исследований ФГБОУ ВО «Ульяновский  
государственный технический  
университет»



Скворцов  
Сергей Вячеславович