

## ОТЗЫВ

официального оппонента Аминова Рашида Зарифовича на диссертационную работу Зиганшиной Светланы Камилловны «Энергосбережение в котельных установках тепловых электрических станций за счет использования вторичных энергоресурсов», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.14.14 – «Тепловые электрические станции, их энергетические системы и агрегаты».

Содержание диссертации изложено на 449 страницах, состоит из введения, восьми глав, изложенных в трех частях, выводов, списка литературы (417 наименований) и 6 Приложений.

**1. Актуальность темы.** В настоящее время развитие энергетики сопровождается ростом стоимости топливно-энергетических ресурсов. Поэтому совершенствование процессов тепло- и массообмена в теплоэнергетических установках направлено на экономию топлива, улучшение экологических характеристик установок, снижение удельных затрат на производство электроэнергии. При этом исключительно важное значение для повышения эффективности теплоэнергетических установок приобретают вопросы энергосбережения, в частности, за счет использования тепловых вторичных энергетических ресурсов. Диссертационная работа Зиганшиной С.К. посвящена разработке технологий совершенствования работы котельных установок тепловых электростанций за счет утилизации теплоты уходящих продуктов сгорания и снижения потерь теплоты и теплоносителя с непрерывной продувкой барабанных котлов, теплоты вентилируемого горячего воздуха дымовых труб ТЭС, совершенствованию вакуумных струйно-барботажных и кавитационных деаэраторов подпиточной воды тепловой сети, предварительному подогреву дутьевого воздуха энергетического котла путем регенерации теплоты конденсации отработавшего в турбине водяного пара, разработке технологий отвода уходящих газов котла-утилизатора ГТУ в атмосферу через вытяжную башню градирни и промежуточному перегреву водяного пара в двухконтурном котле-утилизаторе парогазовой ТЭС. Анализ состояния котельных установок осуществлялся в условиях действующего теплотехнического оборудования.

Учитывая изложенное, тема диссертационной работы Зиганшиной С.К. является **актуальной**.

**2. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации**

Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, обладают высокой степенью обоснованности. В основу их положены результаты большого числа проведенных испытаний на действующем оборудовании электростанций. Разработан целый комплекс новых технических и технологических решений, позволяющих повысить эффективность работы как котельных установок, так и всей тепловой электростанции в целом, включая парогазовые электростанции. Все это позволяет обеспечить реальную эконо-



мию топлива, материальных ресурсов и снизить выбросы вредных веществ в окружающую среду.

### **3. Достоверность и новизна исследования, полученных результатов, сформулированных в диссертации.**

Достоверность результатов теоретических расчетов обеспечивается адекватностью применяемых математических моделей реальным физическим объектам, применением математически обоснованных методов и законов сохранения энергии и массы при решении теоретических задач и методик расчета теплообменных аппаратов, подтверждена сравнением с данными, полученными при проведении натурных экспериментов на промышленных установках. Результаты теоретических разработок по тепло- и массообмену при глубоком охлаждении продуктов сгорания подтверждены безаварийной работой конденсационного поверхностного теплообменника и дымовой трубы на Ульяновской ТЭЦ-3.

### **4. Значимость результатов для науки и практики**

Научная новизна работы заключается в том, что соискателем разработаны основы математического моделирования тепло- и массообменных процессов, протекающих при высокой степени охлаждения уходящих газов котельных установок в теплоутилизаторах вплоть до конденсации содержащихся в них водяных паров. Предложена схема котельной установки без химводоочистки, реализация которой на базе прогрессивных технологических решений, позволяет повысить эффективность производства теплоты и снизить выбросы оксидов азота в атмосферу. Представленные в диссертации способы совершенствования непрерывной продувки котлов, методы утилизации теплоты горячего воздуха дымовых труб ТЭС с вентилируемым каналом, научно-технические решения по совершенствованию конструкций вакуумных деаэраторов, обладают достаточно высокой эффективностью, которая подтверждена расчетными и экспериментальными данными. Новизной обладает также и комплекс выполненных соискателем исследований по совершенствованию работы парогазовых установок путем отвода уходящих газов котла-утилизатора ГТУ в атмосферу через вытяжную башню градирни и промежуточного перегрева водяного пара в двухконтурном котле-утилизаторе. Результаты представленных в диссертации разработок могут найти применение не только на ТЭС, но и в других областях промышленности.

Представленные в диссертационной работе результаты исследований свидетельствуют о полномасштабном решении комплекса новых научно обоснованных технологических решений по созданию научных основ математического моделирования тепло- и массообменных процессов при глубоком охлаждении продуктов сгорания в конденсационных теплообменниках поверхностного типа, предназначенных для подогрева низкопотенциальных теплоносителей различного вида, повышению эффективности работы тепломеханического оборудования паротурбинных и парогазовых ТЭС за счет использования теп-



ловых вторичных энергоресурсов, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие энергетики страны.

Практическая значимость диссертации С.К. Зиганшиной заключается в том, что основные представленные в ней разработки внедрены на промышленных предприятиях Российской Федерации или приняты к внедрению со значительным экономическим эффектом более 192 млн. рублей в год (в ценах 2020 г.), а также широко используются в учебных процессах СамГТУ и других вузов РФ по направлениям подготовки «Теплоэнергетика и теплотехника» и «Энергетическое машиностроение».

#### **5. Оценка содержания диссертации и степени обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций.**

Диссертационная работы С.Н. Зиганшиной содержит введение, восемь глав, выводы, список использованной литературы. Оформление диссертации соответствует нормативным требованиям.

*В первой главе* диссертации приводится обзор работ отечественных и зарубежных ученых по выбранному направлению исследований. Отмечено, что, несмотря на наличие значительного количества работ в области использования тепловых вторичных энергоресурсов в котельных установках ТЭС, исследования в этой области следует продолжить, в связи с тем, что имеется целый ряд нерешенных задач.

*Во второй главе* диссертации приведены результаты натурных испытаний конденсационного теплоутилизатора (КТ) на Ульяновской ТЭЦ-3. Проанализированы результаты работы КТ на трех производительностях парового котла ДЕ-10-14 ГМ. Получены новые данные по коэффициентам теплопередачи КТ в зависимости от скорости газов в условиях конденсации водяных паров из парогазовой смеси. Подсчитан экономический эффект от внедрения КТ и срок окупаемости приведенных затрат, который составил менее одного года.

*Третья глава* посвящена разработке математических моделей тепло- и массообменных процессов, протекающих при глубоком охлаждении уходящих газов котельных установок. Получено безразмерное уравнение теплоотдачи. В этой же главе представлена математическая модель теплообмена охлажденных в КТ продуктов сгорания, движущихся в газоотводящей трубе. Изложены методики тепловых расчетов конденсационных теплоутилизаторов. Результаты разработок внедрены на Ульяновской ТЭЦ-3, приняты к внедрению на Самарской ТЭЦ.

*В четвертой главе* дано описание схемы котельной установки без химводоочистки, в которой комплексно утилизируются теплота уходящих газов (физическая и конденсации водяных паров), пары декарбонизатора и деаэратора. Получены новые экспериментальные данные, которые показали, что разработанное решение обладает значительными конструктивными и эксплуатационными достоинствами. Предложена котельная установка, в которой предварительный подогрев дутьевого воздуха котла производится частью уходящих газов с их охлаждением ниже точки росы водяных паров в по-



верхностном теплообменнике. В результате обобщения экспериментальных данных разработана методика определения потерь теплоносителя и теплоты с непрерывной продувкой котлов.

*В пятой главе* представлены данные экспериментальных исследований влияния коэффициента избытка воздуха в уходящих газах на КПД энергетических котлов Безымянской ТЭЦ и Саранской ТЭЦ-2 и потерь энергии при дросселировании водяного пара в редуцированных установках предприятия ООО «Самараоргсинтез», даны рекомендации по их сокращению.

*В шестой главе* приведены результаты комплекса экспериментальных исследований процессов деаэрации подпиточной воды систем теплоснабжения и результаты разработок новых научно-технических решений по совершенствованию вакуумных деаэраторов Самарской ТЭЦ и Центральной отопительной котельной Самарской ГРЭС. Разработанные технологии внедрены в промышленность, что позволило повысить надежность работы трубопроводов и оборудования ТЭС за счет снижения концентрации кислорода в подпиточной воде.

*Седьмая глава* посвящена описанию разработанных способов и схем утилизации теплоты подогретого воздуха дымовых труб ТЭС с вентилируемым воздушным каналом. Предложено выходящий из воздушного канала дымовой трубы подогретый воздух подавать в топку котла для осуществления процесса горения органического топлива или направлять в короб подвода воздуха к калориферу, то есть осуществлять его рециркуляцию. Результаты численных расчетов, выполненные для дымовой трубы Самарской ТЭЦ высотой 240 м, показали, что экономия может составлять 5 млн. 297 тыс. руб/год.

*В восьмой главе* приводятся способы использования тепловых вторичных энергоресурсов на ТЭЦ за счет регенерации теплоты отработавшего в цикле установки рабочего тела путем подогрева низкопотенциальных теплоносителей, отвода уходящих газов котла-утилизатора ГТУ в атмосферу через вытяжную башню градирни и промежуточного перегрева водяного пара в двухконтурном котле-утилизаторе парогазовой ТЭС.

Диссертационная работа Светланы Камиловны Зиганшиной представлена на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.14.14 «Тепловые электрические станции, их энергетические системы и агрегаты» является завершенным научным исследованием, выполненным автором на высоком научно-методическом уровне, содержит совокупность новых научных результатов и раскрывает личный взгляд автора на поставленные и решаемые проблемы.

Диссертация написана доходчиво, грамотно и аккуратно оформлена, по каждой главе и работе в целом сделаны четкие выводы. В тоже время при анализе содержания работы у оппонента возникли следующие замечания.

## **6. Замечания по диссертационной работе**

1. Система конденсации пара из уходящих газов котлов на основе контактных теплообменников (КТ) основана на сжигании чистого природного газа без примесей серы. Но даже в этом случае в процессе горения образуются окислы



азота, которые частично растворяются в КТ. Об этом неоднократно отмечается в диссертации. В то же время нигде не приведен полный состав агрессивных примесей в извлекаемом конденсате, включая азотную кислоту, что вызывает сомнения с точки зрения возможности его использования в качестве подпиточной питательной, либо сетевой воды, как это утверждает диссертант.

2. На тепловых электростанциях в зимний период возможно использование резервного топлива – мазута, как правило, содержащего вредные примеси, в том числе и серу. Как это может повлиять на ресурсные показатели оборудования, КТ, газоходов, дымовой трубы?

3. При расчете КПД котла с учетом установки КТ формулы (3.57) и (3.58) не учитывают расход энергии на подогрев уходящих газов перед их подачей в дымовую трубу. Хотя диссертант утверждает, что для безопасности дымовой трубы такой подогрев должен быть либо сетевой водой, либо газовой горелкой.

Вопросы оценки ресурсных показателей оборудования, газоотводящих коробов, дымовых труб в условиях использования КТ требуют дальнейшего изучения по мере накопления опыта эксплуатации.

4. Глава V по обследованию действующих энергетических объектов носит чисто прикладной характер и ее можно было без ущерба включить в Приложения.

Отмеченные замечания, хотя и отражаются на качестве представленной диссертации, тем не менее не меняют общего положительного мнения о работе в целом.

**7. Подтверждение опубликования основных результатов диссертации в научной печати.** По теме диссертации соискателем опубликовано 120 печатных работ, в том числе 12 статей в изданиях, индексируемых в международной базе *Scopus* и *Web of Science*, 36 статей в рецензируемых журналах по списку ВАК РФ (включая 6 статей в журнале «Электрические станции»), 32 патента на изобретения РФ, 4 монографии и 5 учебных пособий. Получено 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

**Автореферат диссертации** отражает основное содержание диссертационной работы, выдержан по форме и объему.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В целом диссертация С.К. Зиганшиной «Энергосбережение в котельных установках тепловых электрических станций за счет использования вторичных энергоресурсов» представляет собой законченную научно-квалификационную работу, выполнена на базе экспериментальных исследований, методов математического моделирования процессов тепло- и массообмена на актуальную тему и содержит новые научно обоснованные технические и технологические разработки, обеспечивающие повышение эффективности работы оборудования паротурбинных и парогазовых электростанций путем использования тепловых вторичных энергоресурсов, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие энергетики страны. Выполненное исследование является комплексным.



Представленная к защите работа по актуальности, объему выполненных исследований и полноте публикаций отвечает требованиям, предъявляемым ВАК Минобрнауки России, установленным в п. 9-11, 13 Положения о присуждении ученых степеней (Постановление Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г.) к диссертационным работам на соискание ученой степени доктора наук, соответствует паспорту специальности 05.14.14 – Тепловые электрические станции, их энергетические системы и агрегаты.

Соискатель Зиганшина Светлана Камиловна заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.14.14 – Тепловые электрические станции, их энергетические системы и агрегаты.

Заслуженный деятель науки и техники РФ,  
доктор технических наук, профессор,  
Федеральное государственное бюджетное  
учреждение науки Саратовский научный центр  
Российской академии наук,  
руководитель Отдела энергетических проблем,  
Главный научный сотрудник, г. Саратов  
410054, г. Саратов,  
ул. Политехническая, 77  
Тел. (8452) 56-91-95



*Аминов*  
Аминов  
Рашид Зарифович

Отзыв Аминова Р.З. заверяю:  
Зам. председателя СНЦ РАН, к.э.н.  
410028, г. Саратов,  
ул. Рабочая, 24  
Тел. (8452) 27-14-36

*Саунин*

Саунин  
Иван Васильевич