

## ОТЗЫВ

официального оппонента Зиганшиной Светланы Камировны на диссертацию Золина Максима Вячеславовича «Повышение эффективности работы тепловых электростанций и котельных установок путем совершенствования технологий термической деаэрации», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.5 – Энергетические системы и комплексы

### **1. Актуальность темы диссертационного исследования**

Одним из основных процессов при работе источников теплоснабжения является водоподготовка, одним из этапов которой является термическая деаэрация воды. Технологии термической деаэрации и схемы включения деаэраторов существенно влияют на экономичность и надежность работы тепловых электростанций и котельных установок. Качественная противокоррозионная обработка воды обуславливает повышение энергетической эффективности оборудования и ТЭС. Учитывая изложенное, тема диссертационной работы Золина М.В., направленной на совершенствование технологий термической деаэрации воды ТЭС и котельных установок, является актуальной.

### **2. Оценка содержания диссертационной работы**

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованных литературных источников из 170 наименований и двух Приложений, изложена на 170 страницах машинописного текста.

Цель диссертационной работы в формулировке соискателя заключается в разработке и научном обосновании технических и технологических решений, направленных на повышение энергетической эффективности работы тепловых электростанций и котельных установок путем совершенствования действующих схем и процессов в термических деаэраторах.

**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** рассмотрены общие вопросы термической деаэрации теплоносителей, описаны её физико-химические основы. Приведен подробный обзор конструкций атмосферных и вакуумных деаэраторов, газоотводящих аппаратов и охладителей пара. В результате проведенного анализа сформулированы цель и задачи исследования.

**Вторая глава** работы посвящена разработке технологических решений по повышению эффективности работы атмосферных деаэраторов. Разработан способ повышения эффективности работы атмосферного деаэратора за счёт использования теплоты пара в цикле работы котельной установки путем направления пара деаэратора в специальный теплообменник для подогрева сетевой воды. Предложена схема включения деаэратора с автоматическим регулированием отвода пара. Проведено исследование работы деаэратора на различных режимах его работы.

**В третьей главе** приведены технологические решения по повышению энерге-

тической эффективности тепловых электростанций путем изменения схемы включения деаэратора добавочной воды в систему регенерации паротурбинной установки. Выполнен расчёт энергетической эффективности разработанных схем.

**В четвертой главе** представлен анализ существующих конструкций и схем включения газоотводящих аппаратов для вакуумных деаэраторов. Проведен анализ эффективности комбинированной работы пароструйных и водоструйных эжекторов на примере Ульяновской ТЭЦ-2. Разработана схема включения водоструйного эжектора, способствующая углублению вакуума в деаэраторе за счет поддержания пониженной температуры рабочей воды.

**В заключении** сформулированы основные результаты работы в соответствии с целью исследования и поставленными задачами, приведены рекомендации по дальнейшему научному и практическому использованию предложенных технических решений.

**3. Научная новизна диссертационной работы** заключается в обосновании целесообразности работы атмосферного деаэратора с минимальным расходом пара при подпитке деаэратора только производственным конденсатом, технологических решений, позволяющих использовать деаэрированную добавочную воду для обеспечения эффективной и надежной работы охладителя основного эжектора, охладителя пара уплотнений турбины и сальникового подогревателя, технического решения, обеспечивающего углубление вакуума в деаэраторе за счет понижения температуры рабочей воды водоструйного эжектора на ТЭЦ.

**4. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации,** подтверждается применением методов, основанных на фундаментальных законах технической термодинамики, теории теплообмена, апробированных методик технико-экономического анализа, сопоставимостью полученных результатов расчетов с экспериментальными данными.

#### **5. Значимость результатов работы для науки и практики**

Теоретическая значимость работы заключается: в разработанных технических решениях, которые могут быть использованы при реализации проектов на источниках теплоснабжения; в расчете экономичности схемы с использованием теплоты пара деаэратора в цикле работы котельной установки; в определении граничных условий и режима работы деаэратора при подпитке производственным конденсатом; в проведении анализа эффективности работы газоотводящих аппаратов на ТЭЦ, в том числе оценки работы пароструйных и водоструйных эжекторов.

Практическая ценность работы заключается в разработке: схемы использования пара атмосферного деаэратора для подогрева сетевой воды; схемы включения деаэратора с автоматическим регулированием отвода пара, позволяющая снизить расход пара на деаэратор при его подпитке производственным конденсатом; технологических решений, позволяющих снизить потери теплоты в конденсаторе турбины за счет ограничения включения рециркуляции основного конденсата в режимах работы с малым пропуском пара в конденсатор; схемы узла вакуумной деаэрации, обеспечивающей углубление вакуума в деаэраторе за счет понижения температуры рабочей воды водоструйного эжектора и программного продукта для расчета параметров работы теплообменника, в котором пар деаэратора используется в качестве греющего теплоносителя.

## 6. Замечания и вопросы по диссертационной работе

1. В формулу (1.3.1) нужно было ввести множитель  $10^{-3}$  и потери теплоты с выпаром  $Q_{\text{вып}}^{\text{потерь}}$ , определяемые по этой формуле, указать не в кДж, а в кВт.

2. Уравнение (1.3.2) для расчета удельного расхода выпара  $d_{\text{вып}}^{\text{min}}$  записано неправильно. Не все члены указанного уравнения имеют одинаковую размерность.

3. На рис. 1.7.1 указано, что на Na-катионитные фильтры, предназначенные для умягчения воды, подается обессоленная вода. Поясните, для чего?

4. На стр. 63 диссертации указано: «... Расход пара на отопительную часть составляет 3,75 т/ч, ...», а на стр. 72 приведено: «в зимний период 2019 г., 2021 г. и 2022 г. (средняя температура минус 20 °С – минус 25 °С) ... расход пара на теплопункт 2 - 4,5 т/сут». С чем связано такое расхождение в расходах пара на теплопункт?

5. При расчете температуры ХОВ после охладителя выпара (ОВ) скорость движения воды в его трубках принята равной 6,5 м/с (см. стр. 73 диссертации). По данным РТМ 108.030.21-78 «Расчет и проектирование термических деаэраторов» скорость воды в трубках ОВ, выполненных из коррозионно-стойкой стали, должна быть не более 3,5–4 м/с, а для латунных трубок – не более 2,0 м/с.

6. На стр. 81 приведено: «3) Эквивалентный расход пара  $D_{\text{п.экв}}$ , кг/с, ... , найдем из соотношения максимального расхода пара  $D_{\text{п}}$ , кг/с к максимальной тепловой нагрузке выпара  $Q_{\text{vi}}$ , кВт». Но, тогда единица измерения  $D_{\text{п.экв}}$  будет не кг/с, как и требуется по дальнейшим расчетам, а кг/(с·кВт). Кроме того, в формуле (2.2.15) для расчета  $\Delta_{\text{пi}}$ , т/сут, нужно указать множитель 3,6, а делитель 24 убрать.

7. На стр. 82 указано: «– расход воды на получение 1 т пара – 25 м<sup>3</sup>/т. Таким образом, экономия пара составит от 1 до 3,5 т/сут (20 - 70 кг/сут·т), ...». В диссертации отсутствует обоснование принятого значения расхода воды, учитываемого при определении  $\Delta_{\text{di}}$ . Как получены и что означают значения, указанные в скобках?

8. Поясните, почему при оценке энергетической эффективности рассматриваемых схем включения деаэратора добавочной воды в систему регенерации турбоустановки расход направляемой на деаэрацию добавочной химически очищенной воды принят равным 100 м<sup>3</sup>/ч (см. стр. 110 диссертации), если за основу для проведения расчетов рассматривалась турбина Т-100/120-130?

9. На стр. 111, 113, 114 и др. диссертации при расчете тепловой схемы ПТУ указано: «... расход пара условного эквивалентного регенеративного отбора ...». Поясните, что означает условный эквивалентный регенеративный отбор?

10. В разделе 3.1 диссертации для рассматриваемых схем включения деаэратора добавочной воды в систему регенерации турбоустановки отсутствуют расчетные значения основных показателей: электрической мощности турбины, ее КПД, КПД ТЭЦ, удельного расхода условного топлива на выработку тепловой и электрической энергии.

11. В разделе 4.1 (см. стр. 123 диссертации) указывается: «... нами совместно с сотрудниками УлТЭЦ-2 было предложено в летний период года перевести УлТЭЦ-2 в режим работы без выработки электроэнергии (в режим работы водогрейной котельной), ...». При этом на стр. 128 отмечено, что за основу для расчетов принят теплофикационный режим работы Т-185/220-130-2 и приведены формулы (4.1.2), (4.1.3) для расчета соответственно расхода пара на ПГВ из промышленного отбора и

выработки электроэнергии паром промышленного отбора при использовании водоструйного эжектора. В режиме работы станции без генерации электроэнергии турбоустановки не работают, турбина Т-185/220-130-2 не имеет промышленного отбора, а для работы водоструйного эжектора пар не требуется.

12. На стр. 130 отмечено: «... затраты на собственные нужды водоподготовки при использовании водоструйного эжектора с учетом затрат на перекачку воды составят 7100 руб/ч». В диссертации отсутствует расчет указанного значения.

13. В знаменателе формулы (4) на стр. 13 автореферата вместо энтальпии выпара  $h_{\text{вып}}$  следовало указать энтальпию конденсата греющего пара при давлении в деаэраторе. Расчет по формуле (4) приводит к завышенным значениям расхода пара на деаэратор.

14. Имеются замечания по оформлению рукописи диссертации:

- на стр. 21 диссертации указано: «Деаэраторы повышенного давления применяются только для деаэрации общего потока питательной воды на электростанциях перед котлами». На ТЭС питательная вода деаэрации не подвергается. Кроме того, по тексту диссертации и автореферата часто встречается некорректное словосочетание «добавочная питательная вода». На ТЭС различают добавочную воду цикла станции, подвергаемую деаэрации, и питательную воду котлов;

- в подрисуночной подписи к рисунку 1.5.1 ошибочно указано название позиции 17 – отвод выпара, следовало указать 17 – подвод пара;

- в числителе первого слагаемого формулы (1.5.1) (см. стр. 49 диссертации) число 10 нужно было указать в пятой степени ( $10^5$ ), а не в первой;

- на рисунках 2.2.1 и 2.2.6 пар от двух котлов подается в тепловой пункт и на атмосферный деаэратор. На этих рисунках не указана линия подачи пара от котлов на технологические аппараты пивоваренного завода;

- на стр. 73, 74 и др. диссертации температура, выраженная в °С, обозначена заглавной буквой Т, следует обозначать строчной латинской буквой  $t$ . Кроме того, давление и перепад давлений, указанные на стр. 131, 132 и др., следовало обозначить строчной латинской буквой  $p$  и  $\Delta p$ ;

- в таблицах 2.3.1 и 2.3.2 не приведены значения температуры ХОВ на входе в деаэратор;

- при определении годовой экономии условного топлива  $\Delta B$ , т/год, по формуле (3.1.41) (см. стр. 121 диссертации), учитываются значения удельных расходов исходного топлива, поэтому в пояснениях к этой формуле слово «исходного» нужно было заменить на слово «условного». Значения удельных расходов топлива при расчете  $\Delta B$  были приняты без указания ссылки на источник;

- приведенные на стр. 123 диссертации значения себестоимости электроэнергии и ее стоимости на оптовом рынке целесообразно было указать в руб/(кВт·ч), а не в руб/МВт;

- в диссертации не указан тип и количество градирен, установленных на Ульяновской ТЭЦ-2.

Отмеченные выше замечания и недостатки 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 ра-

боты, в том числе 7 статей в журналах, входящих в перечень рецензируемых научных изданий ВАК Минобрнауки России, 1 статья в издании, индексируемом в международной базе Scopus, получен патент РФ на изобретение, 2 патента РФ на полезные модели, свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертационная работа Золина Максима Вячеславовича «Повышение эффективности работы тепловых электростанций и котельных установок путем совершенствования технологий термической деаэрации», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.5 – Энергетические системы и комплексы, является самостоятельной завершенной научно-квалификационной работой, в которой разработан ряд технических и технологических решений, способствующих повышению эффективности работы тепловых электростанций и котельных установок. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 2.4.5 – Энергетические системы и комплексы. Диссертационная работа по актуальности, научной новизне, практической значимости, объему и уровню проведенных исследований и полноте публикаций соответствует требованиям, предъявляемым ВАК Минобрнауки России, установленным в п.п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013 г. (в актуальной редакции), а ее автор Золин Максим Вячеславович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.5 – Энергетические системы и комплексы.

#### Официальный оппонент:

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

Зиганшина  
Светлана Камиловна

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

25.11.2024 г.

Подпись Зиганшиной Светланы Камиловны заверяю:

Ученый секретарь  
ФГБОУ ВО «Самарский государственный  
технический университет»,  
доктор технических наук, доцент



Малиновская  
Юлия Александровна