

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию Лазарева Михаила Васильевича на тему: «Исследование и научное обоснование технических решений по модернизации и реконструкции энергоблоков 300 МВт», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.5. Энергетические системы и комплексы в диссертационный совет 75.1.001.01 АО «Всероссийский дважды ордена Трудового Красного Знамени Теплотехнический научно-исследовательский институт»

1. Актуальность темы диссертационной работы

В настоящее время в России эксплуатируются 67 энергоблоков мощностью 300 МВт, что составляет существенную долю парка энергетического оборудования ТЭС. Эти энергоблоки иногда используются в режиме регулирования мощности, что оказывает существенное влияние показатели надежности работы энергосистем и энергетических комплексов. Эффективность этих энергоблоков не совсем удовлетворяет современным требованиям, поэтому простая замена старого оборудования на аналогичное новое не решает задачи удовлетворения запросов промышленности. Замещение энергоблоков на ПГУ ограничено ввиду санкций на поставку зарубежных газовых турбин. В связи с этим, поиск путей повышения эффективности турбин мощностью 300 МВт является актуальной задачей. Ввиду ограниченности средств предпочтительно решать данную задачу с максимально возможным и целесообразным использованием работающего оборудования ТЭС.

2. Структура диссертационной работы

Диссертация состоит из введения, основной части (5 глав) и заключения, общим объемом 148 страниц с Приложением.

Во **введении** обосновывается актуальность работы, сформулирована цель, объект и предмет исследования, соответствие диссертации заявленной

специальности, определены основные положения научной новизны, практической и теоретической значимости, представлена общая характеристика диссертационной работы.

В первой главе выполнен обзор различных программ реализации задач повышения эффективности энергетического оборудования и финансирования затрат на решение этих задач: ДПМ – Договор о предоставлении мощности; КОМ – Конкурентный отбор мощности; КОММод – Конкурсный отбор мощности на модернизацию. Проанализировано влияние бурного развития парогазовых технологий, основанных на зарубежных энергетических установках на устойчивость отечественного рынка производства электроэнергии. Рассмотрены различные решения повышения эффективности паросилового цикла электростанций с использованием газотурбинных агрегатов, проведена оценка эффективности каждого решения. В главе представлен также обзор ряда технических предложений, направленных на повышение эффективности энергоблоков с турбинами мощностью 300 МВт, и, в частности, реактивное облопачивание.

Во второй главе представлено описание методики проведения испытаний турбоустановок до и после проведенных модернизаций. Результаты автоматизированного сбора информации используются в программном комплексе «Boiler Designer» для моделирования технологических схем конкретных турбоустановок, оценки технико-экономических показателей как отдельных элементов, так и установки в целом. Такие модели используются для оценки степени деградации отдельных элементов технологической схемы ПТУ в процессе эксплуатации, формировании решений о ремонте оборудования по состоянию.

Необходимо отметить важность методического подхода по оценке влияния экономичности отдельных элементов энергоблока на интегральные технико-экономические показатели, в частности, удельный расход топлив на выработку (отпуск) электроэнергии. Представлены выражения для изменения расхода условного топлива в зависимости от изменения отдельных

составляющих: КПД ЦВД, ЦСД турбины; затрат электроэнергии на собственные нужды энергоблока; КПД котла; мощности ЦНД в результате модернизации его проточной части. Данные выражения определены как частные производные функции – удельный расход топлива. Такой подход справедлив для независимых параметров, характеризующих эффективность энергоблока, что не всегда имеет место. Часто, повышение эффективности одного из элементов технологической схемы, может привести к ухудшению показателей схемы в целом. Это, в частности, прослеживается в оценке эффективности газового подогревателя конденсата (ГПК), описанного в главе 3.

Во второй главе представлено также описание методики измерения зазоров в лопаточном аппарате газовой турбины ГТЭ-110 в условиях эксплуатации.

В третьей главе приведены результаты испытаний энергоблока мощностью 310 МВт, надстроенного газовой турбиной ГТЭ-110. Описаны изменения тепловой схемы, конструкции котла, представлены расчетные и фактические показатели экономичности энергоблока. Показано, что ГПК, предназначенный для частичного вытеснения системы регенерации паровой турбины при работе парогазовой установки, запроектирован с излишней величиной поверхности теплообмена, что приводило к вскипанию конденсата в аппарате при частичных нагрузках энергоблока. Проанализированы причины уменьшенного КПД энергоблока в сравнении с расчетными значениями.

В главе рассмотрен также автономный режим работы блока без газовой турбины с регенеративным воздухоподогревателем (РВП) и газовым подогревателем конденсата. Экономичность блока в автономном режиме с РВП до и после реконструкции почти не изменилась. Повышение КПД проточной части турбины оказалось скомпенсированным увеличением расхода электроэнергии на собственные нужды. Работа блока с ГПК, без РВП, привела к снижению технико-экономических показателей.

Проведенные испытания показали, что работа энергоблока в автономном режиме с РВП и ГПК или только с ГПК возможна, что позволяет переходить из автономного режима в комбинированный без отключения оборудования.

Приведены результаты исследований на реконструированном энергоблоке 300 МВт в ПГУ-800. Данная ПГУ выполнена по сбросной схеме с установкой двух газовых турбин Siemens и двух котлов утилизаторов. При этом паровая турбина также реконструирована с переводом ее на давление острого пара 13,3 МПа и уменьшением мощности до 245 МВт. Проанализированы причины отклонения фактических технико-экономических показателей ПГУ от нормативных значений.

В четвертой главе представлен результаты испытаний модернизированных турбин с реактивным облопачиванием ЦВД и ЦСД. Показано, что КПД частей высокого давления турбин возрастает в среднем на 6,2% (до 87,2%), а части среднего давления – на 2,4% (до 92,6%). Проанализированы причины различия в повышении экономичности по результатам модернизации для разных турбин.

Исследования снижения экономичности проточных частей турбин за межремонтный период показало, что данное снижение составляет 1,0...1,2% и одинаково как для модернизированных турбин, так и турбин, прошедших модернизацию.

В пятой главе предложен ряд технических решений, направленных на повышения маневренности, надежности и экономичности турбоустановок. К таким решениям относится реактивное облопачивание в ЦВД и ЦСД, применение саблевидных лопаток для ЦНД. Проанализированы и приведены рекомендации для установки различных типов промежуточных уплотнений в проточной части турбин. Представлены также предложения по улучшению показателей тепловой схемы ПТУ в части организации сброса через БРОУ.

В заключении представлены выводы по основным результатам диссертационной работы.

3. Научная новизна диссертационной работы

- обоснованы научно-технические решения по реконструкции энергоблока 300 МВт с использованием надстройки газовой турбиной ГТЭ-110;
- впервые в отечественной энергетике проведены испытания и обобщены экспериментальные характеристики газомазутного энергоблока 300 МВт, надстроенного газовой турбиной ГТЭ-110;
- получены и проанализированы количественные характеристики повышения КПД цилиндров высокого давления и среднего давления турбин после применения реактивного облопачивания и ступеней улучшенной конструкции, а также изменения КПД цилиндра низкого давления (ЦНД) за счет применения направляющих лопаток с тангенциальным навалом;
- разработан методический подход для оценки влияния мероприятий по повышению тепловой экономичности на удельный расход топлива по отпуску электроэнергии (на примере энергоблока с турбоустановкой 300 МВт).

4. Теоретическая значимость

диссертационного исследования заключается в том, что результаты и выводы, полученные при его выполнении, вносят значительный вклад в понимание и теоретическое обоснование процессов, протекающих в энергетических установках в процессе эксплуатации, могут быть использованы для:

- теоретического обоснования путей совершенствования проектируемых и эксплуатируемых энергоблоков;
- моделирования процессов, протекающих в энергетических установках при их модернизации / реконструкции.

5. Практическая значимость диссертационной работы

1. На основе обобщения результатов комплексных исследований апробированы и научно обоснованы технические решения, направленные на повышение маневренности, надежности и экономичности энергоблоков 300

МВт. Результаты диссертационной работы в целом, а также ее отдельные частные решения внедрены на энергоблоках № 7 Рязанской ГРЭС; № 6 Киришской ГРЭС, №№ 1-4, 8 Конаковской ГРЭС, а также использованы при разработке проекта стандарта организации АО «СО ЕЭС» «Общие технические требования к вновь вводимому энергетическому оборудованию тепловых 10 электрических станций, работающих в составе ЕЭС», отдельные положения которого вошли в «Правила технологического функционирования электроэнергетических систем» (утв. Постановлением Правительства Российской Федерации от 13 августа 2018 года № 937). Методология исследований в части проведения испытаний паровых турбин вошла в подготовленный при участии автора межгосударственный стандарт ГОСТ 35222-2024 (IEC 60953-0:2022) «Правила проведения тепловых приемочных испытаний паровых турбин. Часть 0. Широкий диапазон точности для различных типов и размеров турбин» (утв. приказом Росстандарта от 14.10.2024 № 1452-ст, введен в действие с 01.01.2025 г.). Проведенные в диссертации исследования подтверждают эффективность рассмотренных вариантов модернизации / реконструкции энергоблоков с турбоустановкой 300 МВт и позволяют выбрать оптимальное решение для конкретных условий.

6. Публикации основных результатов диссертационной работы, соответствие содержания автореферата основным положениям диссертации

По теме исследования опубликовано 27 работ, отражающих основные положения исследования, том числе 15 статей в ведущих российских рецензируемых научных изданиях из Перечня ВАК России по научной специальности 2.4.5. Энергетические системы и комплексы (технические науки). Технические решения, описанные в диссертации защищены 5 патентами Российской Федерации. Содержание автореферата в полной мере раскрывает основные положения диссертационной работы и отражает ее

основные выводы. Диссертация написана технически грамотным языком, оформление работы соответствует предъявляемым требованиям.

7. Замечания и вопросы по диссертационной работе

1. Какой срок окупаемости проекта надстройки энергоблока мощностью 300 МВт газовой турбиной ГТЭ-110?

2. Какая доля теплоты системы регенеративного подогрева питательной воды вытесняется за счет комбинированной технологии производства электроэнергии в газовый подогреватель конденсата?

3. Использовалась ли где-нибудь технология измерения зазоров в проточной части газовой турбины ГТЭ-110.

4. В разделе 4.1 указано, что по результатам балансовых испытаний энергоблока ст. № 4 Конаковской ГРЭС, в части низкого давления турбины которого были установлены саблевидные лопатки, КПД ЦНД увеличился на 7,5...8,0%. Как определялся КПД ЦНД по результатам испытаний?

5. В диссертации имеется ряд неточностей и опечаток: с. 68, строка 1: в оглавлении диссертации отсутствует раздел 4.2.

Указанные замечания не снижают общую положительную оценку диссертационного исследования.

8. Заключение

Диссертация Лазарева М.В. является законченной научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно-обоснованные технические решения и разработки по модернизации энергоблоков мощностью 300 МВт, имеющие существенное значение для развития энергетической отрасли страны

По тематике, методам исследования, новым научным положениям диссертация соответствует паспорту специальности научных работников 2.4.5. Энергетические системы и комплексы.

Считаю, что представленная к защите диссертационная работа соответствует требованиям пунктов 9,10,11,13,14 Положения о присуждении

ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842 (в действующей редакции), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор, Лазарев Михаил Васильевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.5. Энергетические системы и комплексы.

Официальный оппонент,
доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры «Турбины и
двигатели» Уральского
энергетического института
ФГАОУ ВО «Уральский федеральный
университет имени первого
Президента Российской Федерации
Б.Н. Ельцина»

Аронсон
Константин Эрленович



25.05.2026

ПОДПИСЬ
ЗАВЕРЯЮ.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ УРФУ
МОРОЗОВА В.А.



Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина».

*Адрес организации: 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19
k.e.aronson@urfu.ru, +7 (343)-375-48-51; +7 (922)-205-41-24*