

ОТЗЫВ

официального оппонента Шемпелева Александра Георгиевича
на диссертацию Ямалтдинова Артема Альбертовича
«Разработка и исследование путей повышения эффективности выхлопных
патрубков цилиндров низкого давления теплофикационных турбин»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 05.04.12 – Турбомашины и комбинированные турбоу-
становки

На рассмотрение представлена диссертация, состоящая из введения, пяти глав, заключения, изложенных на 143 страницах машинописного текста, содержащих 27 рисунков и 23 таблиц, а также списка литературных источников, насчитывающего 148 наименования и приложений.

Ознакомление с содержанием диссертации, автореферата и опубликованных соискателем работ позволяет сделать следующее заключение.

1. Актуальность работы

Разработка и исследование путей повышения эффективности паровых турбин на любом этапе развития техники всегда являлось и является актуальной задачей. В современных условиях проблема повышения экономичности и надежности паротурбинных установок стоит достаточно остро вследствие необходимости модернизации оборудования находящихся в эксплуатации длительное время, а также при разработке новых, более совершенных, паротурбинных установок. Одним из направлений решения этой проблемы является разработка способов повышения эффективности выхлопных патрубков цилиндров низкого давления теплофикационных турбин (далее по тексту выходных патрубков), за счет снижения потерь кинетической энергии потока, выходящего из последней ступени, рассматриваемых в представленной работе.

В этой связи следует отметить, что к настоящему времени проведено достаточно большое количество исследований основанных на использовании пакетов гидродинамических программ, позволяющих осуществить постановку трехмерного расчета выходного патрубка в исходном варианте обводов проточной части патрубка, а затем с помощью инвариантных расчетов совершенствовать их конструкции. В научной литературе практически нет сведений о разработке практических мероприятий по совершенствованию конструкций выходных патрубков теплофикационных паровых турбин находящихся в эксплуатации или вновь проектируемых.

В настоящее время в доступной литературе отсутствуют методики или результаты расчета на прочность и жесткость выходных патрубков паротурбинных установок.

Таким образом, разработка и исследование путей повышения эффективности выхлопных патрубков цилиндров низкого давления теплофикационных паровых турбин, чему посвящена диссертационная работа, несомненно, является весьма актуальной не только в научном, но и в прикладном плане.

2. Научная новизна и работы

- одним из основных достижений диссертанта в научном плане является использование численного моделирования течения влажного пара в выходных патрубках теплофикационных паровых турбин

- впервые на основе численного моделирования проведены исследования и разработки по модернизации выходных патрубков турбин серий Т-100 и Т-250, позволившие получить значительные приросты мощности вырабатываемых турбоустановками и получить существенную экономию топлива.

- отличительной особенностью представленной работы является разработка и практическое использование методики численного расчета на прочность и жесткость выходных патрубков с помощью метода конечных разностей. Использование такого подхода в сочетании с результатами расчетов с помощью физико-математических моделей течения влажного пара позволило автору подтвердить возможность реализации проектов модернизации выходных патрубков.

- весьма важной составной частью работы является разработанная и исследованная равнопрочная, удовлетворяющая условиям надежности, конструкция нового выходного патрубка турбины Т-125/150-12,8. Предложенные автором физико-математические модели и методики расчёта на прочность и жесткость позволили автору предложить конструктивные решения, позволяющие значительно снизить металлоемкость и трудоемкость конструкции и обеспечить значительную экономию топлива.

3. Практическая значимость

Практическая значимость представленной работы не вызывает сомнений и обеспечена следующим:

- использованием в работе физико-математических моделей позволяющим осуществлять модернизацию и проектирование высокоэффективных выходных патрубков паровых турбин УТЗ;

- достоверной методикой численного расчета на прочность и жесткость обеспечивающей возможность проектирования выходных патрубков паро-

вых турбин с меньшей металлоемкостью и трудоемкостью и их изготовления;

- физико-математическими моделями и методиками расчета на прочность и жесткость, которые могут быть использованы при проектировании теплофикационных и конденсационных турбин других заводов-изготовителей.

Необходимо отметить, что конструкции выходных патрубков предложены в настоящей работе изменениями к настоящему времени эксплуатируются в составе турбоустановки Т-120/130-12,8 УТЗ на Астанинской ТЭЦ-3, а также отгружены к установке или изготавливаются еще для ряда ТЭЦ и ГРЭС для турбоустановок: Т-60/65-8,8 УТЗ, Т-95/105-8,8 УТЗ, К-65-12,8 УТЗ, Т-40/50-8,8. Кроме того, результаты работы использованы в проекте модернизации выходных патрубков турбин серии Т-250 для ПАО "Мосэнерго", а также в рабочем проекте выхлопных патрубков турбины Т-125/150-12,8.

4. Обоснованность и достоверность результатов

Обоснованность и достоверность результатов исследований, положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, гарантируются применением общепризнанных методик, современных научно-технических достижений в рассматриваемой области, большим объемом проведенных расчетов, хорошим соответствием их результатов и экспериментальных данных, проверкой и подтверждением основных положений работы в процессе их внедрения. В частности, достоверное получение результатов было обеспечено за счет использования в работе сертифицированного программного обеспечения ANSYS, успешно применяемого во всем мире.

Обоснованность и достоверность обеспечивается еще и тем, что в основе работы лежат результаты исследований проведенных заводом-изготовителем за длительный предшествующий период и моделируемые выходные патрубки полностью соответствуют геометрическим формам и размерам, указанных в чертежах завода-изготовителя. Результаты, полученные в настоящей работе, достаточно хорошо согласуются с данными полученными в ходе теоретических и экспериментальных исследований известных авторов, а также соответствием полученных результатов существующими представлениями о течении влажного пара в выхлопных патрубках.

5. Общая характеристика работы

Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы цель и задачи исследования, показана степень разработанности темы исследования,

научная новизна и практическая значимость полученных результатов, показан личный вклад автора, представлены положения, выносимые на защиту.

В первой главе представлен обзор литературы по теме исследования, посвященный основным направлениям и методам повышения эффективности работы выходных патрубков паровых турбин. Рассмотрены работы в данной области ведущих организаций и специалистов. Особое внимание уделено систематизации результатов экспериментальных исследований проведенных УТЗ, начиная с конца пятидесятых годов до настоящего времени. Проведен анализ работ по численному моделированию течения рабочего тела в проточной части выходных патрубков, и представлены результаты верификации проведенных ранее расчетов. Рассмотрены реализованные проекты модернизации выходных патрубков. На основе критического анализа и обобщения литературных данных сформулированы задачи исследования.

Во второй главе представлены результаты исследований методами численного моделирования течения влажного пара в выходных патрубках турбин серии Т-100 и Т-250. Численное моделирование течения влажного пара в выходном патрубке турбин серии Т-100 выполнено в программном комплексе ANSYS. Расчетная область включала в себя только проточную часть выходного патрубка. На основе расчетных исследований на математических моделях получена количественная и качественная оценка работы выходного патрубка. На основе полученных данных проведена верификация указанных моделей. Численное моделирование течения влажного пара в выходном патрубке турбин серии Т-250 выполнялось в программном комплексе MTF5®software. Расчетная область дополнительно включала в себя последнюю ступень (направляющие и регулирующие лопатки) и камеру влагоудаления. В главе показано, что такой подход позволяет получить результаты более близкие к экспериментальным данным (погрешность расчета составила 2%) и оценить работу системы влагоудаления, но требует значительных вычислительных мощностей.

В главе приведены исследование влияния направляющих ребер на эффективность выходных патрубков паровых турбин серии Т-100. Результаты расчета выходного патрубка без верхних направляющих ребер показали, что коэффициент полных потерь в среднем снизился на 11%. Показано, что удаление двух направляющих ребер не сказывается на жесткости выходного патрубка. Результаты исследований позволили рекомендовать удаление двух направляющих ребер в верхней половине выходного патрубка, как минимальный объем модернизации в серийной конструкции паровых турбин данной серии.

В главе также представлены результаты исследований способов повышения эффективности выходных патрубков паровых турбин серии Т-250. Модернизация проведена путем увеличения внутреннего объема сборной камеры, замены реберной силовой системы на стержневую систему, перефилирования канала диффузора, изменения меридионального обвода камеры влагоудаления. Показано, что такая модернизация позволяет снизить коэффициент полных потерь ξ_p для номинального режима на 29% (ξ_p исх.=1,52; ξ_p мод.=1,08), коэффициент неравномерности выхода ω на 26%.

В третьей главе представлена методика численного расчета на прочность и жесткость выходных патрубков паровых турбин. Расчет на прочность и жесткость патрубков осуществлен методом конечных разностей в программном комплексе ANSYS Mechanical 14.5, с помощью построенной твердотельной модели. Показано, что предложенные в работе методики позволяют выявить зоны максимальных напряжений и деформаций, рассмотреть способы повышения жесткости и прочности выходных патрубков без существенного увеличения массы: блокирование деформаций введением поперечных и диагональных связей (стержней); применение эллиптических, сводчатых, сферических форм деталей; усиление участков перехода от одного сечения к другому и мест заделки.

В подтверждение разработанной методики, в главе представлены результаты расчетов на прочность и жесткость модернизированного выходного патрубка турбин серии Т-100, связанной с удалением направляющих ребер в верхней половине.

В четвертой главе представлены результаты разработки нового выходного патрубка для турбины Т-125/150-12,8, предназначенного для нового строительства и замены выработавших индивидуальный ресурс турбин серии Т-100. Показаны результаты разработки и исследования равнопрочной конструкции нового выходного патрубка, позволяющего обеспечить снижение металлоёмкости и трудоемкости на 20%, а также снижение коэффициента полных потерь, по сравнению с выходными патрубками турбин серии Т-100, от 30 до 40% в зависимости от рассматриваемого режима.

В пятой главе приведено технико-экономическое обоснование необходимости повышения эффективности выходных патрубков теплофикационных турбин. В первой части главы рассмотрены режимы работы теплофикационных ЗАО «УТЗ». По результатам опросных листов электрических станций за последние пять лет установлено, что турбины серии Т-100 и Т-250 в среднем работают на конденсационных режимах 52% и 43% от общего календарного времени, соответственно. На основе этих данных и с учетом времени затрачиваемого на капитальные ремонты, во второй части главы проведены тех-

нико-экономические расчеты повышения эффективности выходных патрубков. Показано, что удаление двух направляющих ребер в выходных патрубках турбины Т-100/120-130-3 дает возможность получить дополнительный прирост мощности 250 кВт. Экономия топлива в результате модернизации выходных патрубков составляет 180 т.у.т./год. Комплексная модернизация выходных патрубков турбины Т-250/300-240-3 позволяет получить прирост мощности 2,1 МВт. Экономия топлива при этом составляет 1576 т.у.т./год.

6. Публикации по теме диссертации

Основные результаты диссертации опубликованы в 11 печатных работах, в том числе 4 работы опубликованы в научных журналах, включенных в перечень рецензируемых научных изданий, определенный ВАК. Основные положения диссертации докладывались на шести международных и всероссийских конференциях в период с 2014 по 2015 гг. Получен один патент на полезную модель.

7. По диссертационной работе имеется ряд замечаний и вопросов:

1. В научной литературе, при рассмотрении вопросов расчета выходных патрубков, в качестве одного из характерных участков принято выделять переходной патрубок от выходного патрубка к конденсатору. Проектирование этого участка обычно сводится к корректировке формы, количества и положения перегородок, паропроводов и других его элементов. При значительной высоте переходного патрубка такая корректировка может снизить коэффициент потерь всей конструкции. Во второй главе представленной работы этот элемент из расчета исключен. Возникает вопрос о правомерности такого исключения.

2. В главе 2 на стр. 48 указано, что численное моделирование течения влажного пара в выходном патрубке турбин серии Т-100 выполнялось в программном комплексе ANSYS, а соответствующее моделирование турбин серии Т-250 выполнялось в программном комплексе MTFIS®oftware. Возникает вопрос: чем вызвана такая разница в подходах?

3. В главе 2, на стр. 75 заявлено, что численное моделирование течения влажного пара с использованием расчетной области, включающей в себя последнюю ступень и камеру влагоудаления, позволяет получить результаты более близкие к экспериментальным (погрешность расчета составила 2%) Вопрос: по сравнению с какими расчетными данными получено преимущество? Если оно получено по сравнению с расчетными данными, полученными в расчетах с использованием программного комплекса ANSYS или какого либо другого комплекса, то для турбин серии Т-250 таких данных в ра-

боте не приведено. Было бы интересным провести такие сравнительные расчеты.

4. В главе 2 на стр. 52 указано, что при задании граничных условий на выходе из ВП задавалось постоянное по сечению статическое давление, обеспечивающее пропуск номинального расхода пара. Возникает вопросы: на основании каких источников задавалось это давление? Какие величины температуры и расходы охлаждающей конденсатор воды были при этом заданы?

5. В главе 5, стр. 107 указано, что «в среднем 15% турбин серии Т-100 и 13% турбин серии Т-250 проходит ежегодно капитальный ремонт со средней продолжительностью 1900 часов и 2400 часов соответственно». В связи с этим отметить, что кроме капитального ремонта в неотапливаемый период, турбоустановки проходят средний, текущий и внеплановые ремонты с соответствующими затратами времени. Кроме того в летнее время по крайней мере одна из турбоустановок ТЭЦ работает на подогрев воды для горячего водоснабжения. Возникает вопрос: насколько корректны приведенные автором данные?

6. В главе 5, на стр. 108, в табл.5.1и на стр. 109, на рис. 5.1показаны результаты расчетов прироста мощности выходных патрубков турбин серий Т-63 и ПТ-140. В тексте диссертации и приложениях не указано, какие турбины входят в состав этих серий и какие патрубки на них установлены? Кроме того, в тексте диссертации нет данных о расчете выходных патрубков турбоустановок этих серий. Если предположить, что на турбинах серии Т-63установлен патрубок от турбин серии Т-100, то возникает вопрос, почему для турбоустановок этой серии наблюдается существенно больший прирост мощности и КПД, чем для турбин серии Т-100?

8. Заключение

Представленные в отзыве замечания не снижают научной и практической значимости диссертационной работы. Диссертация представляющей собой законченную научно-квалификационную работу, направленную на решение ряда актуальных задач по разработке и исследованию путей повышения эффективности выходных патрубков цилиндров низкого давления теплофикационных паровых турбин. Диссертация выполнена диссертантом самостоятельно на высоком научном уровне. Полученные диссертантом и выносимые на защиту результаты обладают достаточной научной новизной и практической ценностью, результаты работы достоверны, выводы и заключения обоснованы. Работа написана грамотным техническим языком. По ка-

каждой главе сделаны выводы. Научное направление всех основных разработок и исследований соответствует технической отрасли науки, паспорту научной специальности 05.04.12 - Турбомашины и комбинированные турбоустановки.

Автореферат соответствует основному содержанию диссертации.

Диссертационная работа Ямалтдинова Артема Альбертовича является законченной научно-квалификационной работой и соответствует требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемым ВАК к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор Ямалтдинов Артем Альбертович заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.04.12 - Турбомашины и комбинированные турбоустановки.

Официальный оппонент:

Доктор технических наук, доцент, профессор
кафедры «Теплотехника и гидравлика»
ФГБОУ ВО «Вятский государственный
университет»

Шемпелев
Александр Георгиевич

Дата: 21.11.2016.

Место работы: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Вятский государственный университет" (610000, Россия, г. Киров, ул. Московская, 36), телефон – 89 , эл. почта: agshem@mail.ru.

Подпись Шемпелева Александра Георгиевича заверяю
ученый секретарь ученого совета ВятГУ

Ходырева И.В.

