

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора технических наук, профессора
Нихамкина Михаила Шмеровича на диссертационную работу
Сосновского Андрея Юрьевича

«Повышение надёжности систем тепловых перемещений выносных корпусов
подшипников паровых турбин», представленную на соискание ученой
степени доктора технических наук по специальности 2.4.7. - Турбомашины и
поршневые двигатели

1. Актуальность темы диссертационной работы.

Паровые турбины более ста лет являются одним из наиболее распространенных и сложных элементов современной энергетики. Условия работы турбины характеризуются высокой частотой вращения роторов, высокими параметрами пара, большими статическими и динамическими нагрузками. Важнейшим требованием к конструкции паровых турбин является надежность. Последствия аварий могут оказаться катастрофическими и потребовать дорогостоящих восстановительных работ.

Надежность паровых турбин во многом определяется тем, как решена проблема тепловых расширений узлов на стационарных и переходных режимах. Изменение теплового состояния узлов турбины вызывает перемещения корпусов подшипников, приводит к изменениям взаимного положения опор валопровода и вибрациям турбоагрегата. Несмотря на то, что эта проблема известна и изучается с начала 20-го века, она продолжает оставаться актуальной в связи с увеличением энергопотребления, ростом мощности турбин, повышением требований к их маневренности.

Эти факторы делают проблему, поставленную и решенную в диссертации А.Ю.Сосновского, крайне актуальной.

2. Структура и содержание работы.

Диссертационная работа состоит из введения, 8 глав, заключения, описки сокращений, списка литературы из 158 наименований. Общий объём диссертации 325 страниц, в том числе 126 рисунков, 13 таблиц. По структуре и оформлению диссертация и автореферат диссертации соответствуют установленным требованиям.

Во введении сформулированы актуальность рассматриваемой проблемы, цель, задачи и методы исследования, его научная новизна и практическая значимость, подтверждение достоверности, указаны апробация и внедрение полученных результатов, описана структура работы.

В первой главе представлен анализ современного состояния проблемы надёжности систем тепловых перемещений (СТП) паровых турбин, дан обзор публикаций по этой теме. Описаны и проанализированы известные конструктивные решения, опыт эксплуатации турбин. Сделан вывод о недостаточной изученности причин и механизмов возникновения затруднённых тепловых перемещений, сформулированы основные задачи исследования.

Во второй главе на основании анализа эксплуатационных данных показано, что основным критерием, определяющим надёжность СТП является поворот ригеля фундамента. Проведён анализ влияния температурных и силовых воздействий на изменение уклона ригеля фундамента. Исследованы причины возникновения этих факторов и последствия их влияния на изменения величины уклона ригеля. Приведены предельно допустимые значения поворота ригелей.

В третьей главе на основании выполненных автором исследований ряда турбин показано, что одной из основных причин нарушений работы СТП и, как следствие, вибрационного состояния турбины, является влияние присоединённых к турбине трубопроводов. Имеются в виду отклонения от проектных параметров при монтаже трубопроводов, а также изменение их теплового состояния при работе турбины. Так как полностью исключить влияние этих факторов не реально, предложено рассмотреть возможность применения конструктивных решений, обеспечивающих устойчивость СТП в этих условиях.

В четвёртой главе разработана кинематическая модель, в которой цилиндры турбины, корпуса подшипников и фундамент представлены в виде многозвенной шарнирной системы. Введено понятие «базового модуля», состоящего из трех звеньев: «продольных шпонок», выносного корпуса подшипника и цилиндра. С использованием разработанной модели определены условия устойчивости для различных вариантов СТП с разными вариантами соединения валов в валопроводе. Предложено наглядное представление границ устойчивости СТП в виде диаграммы устойчивости.

В пятой главе решена задача устойчивости СТП к температурному перекоосу по фланцам цилиндра. В рамках ряда упрощающих допущений разработана расчетная модель для определения усилий, возникающих в корпусах опор при неравномерном нагреве цилиндра. Модель верифицирована по результатам конечно-элементного расчета в двумерной постановке. Расчёты, выполненные с использованием разработанной модели,

показали, что с увеличением зазора на продольных шпонках увеличивается допустимый температурный перекоп.

В шестой главе разработана новая конструкция направляющих осевого перемещения, минимизирующая возможность возникновения пластических деформаций в паре «КП-продольные шпонки». Конструкция защищена патентом РФ на полезную модель. Проведен ее расчетный анализ с использованием разработанных моделей. Новая конструкция направляющих осевого перемещения применена на ряде турбин последних лет выпуска на Уральском турбинном заводе.

В седьмой главе рассмотрена концепция автоматизированного выявления дефектов СТП. Автором на основе анализа результатов собственных натурных и расчётных исследований определен минимальный объём параметров паровой турбины, позволяющий достоверно диагностировать причины нарушений в работе СТП. Определены характеристики измерительных приборов: точность, пределы измерения, дискретность опроса. Сформулированы диагностические признаки дефектов.

В восьмой главе представлены результаты внедрения полученных в диссертации результатов в практику эксплуатации и проектирования паровых турбин. Сформулированы рекомендации по повышению надёжности СТП.

В заключении приведены основные выводы по работе.

Таким образом, диссертация А.Ю. Сосновского является логически завершённым научным исследованием.

Текст диссертации и автореферата написан технически грамотным языком, стиль изложения – научный, корректный.

Содержание автореферата соответствует тексту диссертации.

Общие выводы по работе отражают результаты научных исследований и не противоречат материалам диссертации и автореферата.

3. Новизна научных положений, сформулированных в диссертации.

Научная новизна материалов диссертации заключается в следующем:

1) выявлены основные закономерности взаимодействия элементов СТП, определяющие ее надёжность в условиях неравномерного нагрева элементов турбины и силового воздействия трубопроводов;

2) введено понятие устойчивости СТП, как исключения диагонального контакта в паре «корпус подшипника – продольные шпонки»; предложена математическая модель для исследования устойчивости СТП; предложено

наглядное представление области устойчивости СТП в виде диаграммы устойчивости;

3) выявлены основные закономерности влияния конструктивных и эксплуатационных факторов на устойчивость СТП;

4) разработана концепция модуля автоматизированной оперативной диагностики СТП, позволяющего выявлять три группы дефектов: повышенные силы трения на поверхности скольжения корпуса подшипника, заклинивание корпуса подшипника на продольных шпонках и заклинивание одной из пары опорных лап на поперечной шпонке.

4. Практическая значимость результатов диссертации.

Практическая направленность – основное достоинство диссертации А.Ю. Сосновского. Она состоит в следующем:

1) разработан комплекс моделей и инженерных решений, который является эффективным инструментом для решения задачи обеспечения надежности СТП паровых турбин на стадиях их проектирования и эксплуатации;

2) разработана защищенная патентом РФ конструкция направляющих осевого перемещения выносных корпусов подшипников паровой турбины;

3) разработаны рекомендации, обеспечившие повышение надёжности работы СТП для 18 паровых турбин, находящихся в эксплуатации;

4) разработаны рекомендации по оснащению паровых турбин средствами измерения, достаточными для достоверной работы модуля диагностики СТП;

5) результаты исследования в течение нескольких лет применяются при проектировании и изготовлении паровых турбин на предприятиях энергомашиностроения.

5. Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, подтверждается:

1) экспериментальными и эксплуатационными данными, полученными при исследованиях на турбинах различных типоразмеров в различных условиях эксплуатации;

2) совпадением части результатов с данными других авторов;

3) положительными результатами практического использования предложенных решений по нормализации тепловых перемещений корпусов подшипников паровых турбин на ряде турбоагрегатов.

6. Апробация работы.

Основные положения диссертационной работы А.Ю.Сосновского опубликованы в 27 научных работах, из них 12 в рецензируемых журналах и изданиях, рекомендованных ВАК РФ для публикации результатов исследований и 8 статей в зарубежных научных изданиях, входящих в перечень Scopus. В ходе выполнения работы при участии автора получен патент РФ на полезную модель.

Результаты диссертационной работы доложены в 1997-2022 годах на 14 международных и всероссийских конференциях.

7. Основные замечания по диссертации и автореферату.

1) в главе 2 автор пишет, что объективным и универсальным показателем нарушений в функционировании СТП является: «поворот корпуса подшипника и ригеля по абсолютной величине при пуске или останове превышает соответственно 0,5 мм/м и 0,2 мм/м»; эти цифры обоснованы эксплуатационными данными для ограниченного круга турбин. На наш взгляд, более общим мог бы быть критерий, связанный с недопустимым уровнем вибраций, которая возникает при нарушениях работы СТП;

2) в главе 5 модель для определения усилий, возникающих в корпусах опор при неравномерном нагреве цилиндра, верифицирована по результатам конечно-элементного расчета в двумерной постановке. Этот расчет выполнен в очень упрощенной плоской постановке, не описаны граничные условия и условия контакта между узлами.

3) в обзоре литературы недостаточно представлен зарубежный опыт исследований в области надежности паровых турбин;

4) представляется излишне подробным изложение материала в автореферате.

8. Заключение о соответствии диссертации критериям, предъявляемым к докторским диссертациям.

Все вышеизложенное позволяет считать, что диссертация Сосновского Андрея Юрьевича «Повышение надёжности систем тепловых перемещений выносных корпусов подшипников паровых турбин» является самостоятельной завершённой научной-квалификационной работой, в которой содержится решение актуальной научной проблемы, имеющей важное значение для

энергомашиностроения. Результаты диссертации могут быть применены при проектировании и эксплуатации современных паровых турбин.

Диссертационная работа Сосновского Андрея Юрьевича «Повышение надёжности систем тепловых перемещений выносных корпусов подшипников паровых турбин» соответствует паспорту специальности 2.4.7. «Турбомашины и поршневые двигатели».

Диссертационная работа Сосновского Андрея Юрьевича «Повышение надёжности систем тепловых перемещений выносных корпусов подшипников паровых турбин» соответствует критериям, предъявляемым к докторским диссертациям и удовлетворяет требованиям п. 9 Положения о присуждении учёных степеней в УрФУ, а её автор заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальности 2.4.7. «Турбомашины и поршневые двигатели».

Официальный оппонент:

профессор кафедры «Авиационные двигатели» Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» (ПНИПУ),
доктор технических наук (05.07.05), профессор



Нихамкин Михаил Шмерович

22.10.2023

Служебный телефон: +7(342)239-13-61, e-mail: nikhamkin@mail.ru

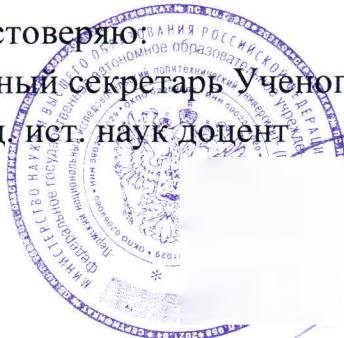
Почтовый адрес организации: 614990, г. Пермь, Комсомольский пр-т, 29, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»
<http://www.pstu.ru>

Подпись Нихамкина Михаила Шмеровича

удостоверяю:

Ученый секретарь Ученого совета ПНИПУ,

канд. ист. наук доцент



Макаревич Владимир Иванович