

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Мурманского Бориса Ефимовича «Разработка, апробация и реализация методов повышения надежности и совершенствования системы ремонтов паротурбинных установок в условиях эксплуатации», представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.04.12 – Турбомашины и комбинированные турбоустановки.

Диссертационная работа посвящена вопросам обеспечения надежной работы паротурбинных установок, находящихся в эксплуатации на ТЭС.

Научное направление всех основных разработок и исследований, представленных в диссертационной работе, соответствует паспорту научной специальности 05.04.12 – "Турбомашины и комбинированные турбоустановки".

Актуальность темы диссертации

Основным приоритетом государственной политики является максимально эффективное использование потенциала существующего энергетического комплекса для повышения качества жизни населения страны, устойчивого роста экономики. Для достижения поставленных целей необходимо обеспечить решение таких первоочередных задач, как проведение реновации энергооборудования, выработавшего свой ресурс, модернизация отрасли электроэнергетики для более эффективного использования ресурсов.

В настоящее время более 50% оборудования тепловых электростанций отработало от 30 до 50 лет. К концу 2020 года более половины мощностей действующего сегодня теплосилового оборудования будет находиться в эксплуатации в большинстве случаев по индивидуально установленному ресурсу. Это говорит о том, что значительная часть стареющего парка оборудования, в том числе и турбин, требует особого отношения с точки зрения его надежности и живучести. Проблема эксплуатации паровых турбин за пределами паркового ресурса глобальна и характерна для всех без исключения стран. Эксплуатация стареющего оборудования выявляет новые факты снижения

надежности элементов паровых турбин, на которые следует обратить внимание сегодня, так как завтра они станут нарастать лавинообразно и не позволят осуществить намеченные планы прироста мощности. Мировой опыт свидетельствует о том, что диагностика состояния и последующее устранение дефектов оборудования требует на порядок меньших затрат, чем на ввод новых энергомоощностей.

Проблема эксплуатации стареющего оборудования ТЭС в ближайшее время с позиций надежности и аварийности работы оборудования будет обостряться.

Развитие рыночных отношений в электроэнергетике и рост количества системных аварий повышает значимость вопросов обеспечения надежности энергетического оборудования.

Указанное выше показывает, что применительно к современным условиям развития и функционирования электроэнергетики разработка комплексного подхода к повышению надежности паротурбинных установок, находящихся в эксплуатации и совершенствованию системы их ремонтов является одним из наиболее эффективных направлений модернизации отрасли электроэнергетики.

Работа соответствует приоритетным направлениям развития науки, технологий и техники РФ (энергоэффективность, энергосбережение, ядерная энергетика), а также критическим технологиям РФ (технологии энергоэффективного производства и преобразования энергии на органическом топливе) из перечня, утвержденного Указом Президента РФ № 899 от 07.07.2011.

Именно поэтому работа Мурманского Б.Е., посвященная решению проблемы повышения надежности и совершенствование ремонтов оборудования ПТУ в условиях эксплуатации, является своевременной и актуальной.

Научная новизна и значимость работы

Научная новизна и значимость диссертационной работе заключается в разработке, апробации и внедрении в эксплуатацию комплекса методиче-

ских и практических рекомендаций, позволяющих решать проблемы повышения надежности и совершенствования системы ремонтов оборудования ПТУ в условиях эксплуатации, в частности:

1. На основе статистического анализа повреждаемости, выполненного более чем по 800 ПТУ за 25 летний период эксплуатации, определены наиболее повреждаемые узлы и элементы оборудования паротурбинных турбоустановок и причин их повреждаемости.
2. Определены приоритетные направления повышения надежности турбин и турбинного оборудования ПТУ в условиях эксплуатации.
3. На основе единого подхода разработаны подсистемы (модули) мониторинга для наиболее повреждаемых узлов паротурбинных установок: систем регулирования, тепловых расширений паровой турбины, вибросостояния, вспомогательного оборудования (питательных насосов, конденсатных насосов, насосов системы циркуляционного водоснабжения и сетевых насосов).
4. Разработаны методы:
 - повышения надежности систем: парораспределения, ротор-подшипники турбоагрегата;
 - по улучшению работы системы тепловых расширений турбин;
 - повышения надежности работы конденсатора ПТУ.
5. Разработаны и обоснованы индивидуальные стратегии ремонта для оборудования различных технологических подсистем ПТУ с учетом конкретных условий их эксплуатации:
 - предложено рекомендовать для арматуры стратегию ремонта «по отказу», исключая наиболее ответственную арматуру (стопорные клапана турбины, регуляторы питания котла и др.)
 - предложено стратегию ремонта трубопроводов выбрать «по отказу», кроме наиболее ответственных трубопроводов (острого пара, промперегрева, питательной воды).

Практическая значимость полученных результатов

В диссертационной работе на основе обобщения данных по повреждаемости оборудования большого парка ПТУ различной мощности выявлены наиболее повреждаемые узлы турбин и вспомогательного оборудования, разработаны, апробированы и внедрены на ряде электростанций, методы повышения надежности этих узлов. Данные методы могут быть использованы для эксплуатируемого паротурбинного оборудования и на других ТЭС.

Целесообразно использовать наработки, изложенные в данной работе, для формирования комплексной методики прогнозирования показателей надежности паротурбинного оборудования, технического состояния отдельных его элементов, а также планирования инвестиционной и ремонтной деятельности энергетических предприятий. Также приведенные статистические данные можно использовать в процессе реконструкции и проектирования энергетических объектов.

Обоснованность и достоверность результатов работы

При выполнении исследований и решении поставленных в работе задач корректно использовались современные методы исследования: методы теории вероятности и математической статистики, методы математического моделирования. Кроме того, обоснованность и достоверность полученных результатов подтверждена апробацией и внедрением основных результатов исследования на действующем оборудовании, подтверждением результатов исследования при работе в различных условиях эксплуатации ПТУ. Обоснованность и достоверность полученных результатов подтверждена также длительным опытом надежной эксплуатации большого числа паровых турбин, на которых реализованы результаты исследований и разработок автора.

Общая характеристика работы

Диссертационная работа изложена на 407 страницах и состоит из введения, 8 глав, заключения, библиографического списка, приложений.

Во введении обоснована актуальность темы исследования, показаны научная и практическая значимость полученных результатов, обоснована их достоверность.

В первой главе представлены результаты анализа публикаций по вопросам сбора и обработки информации, применяемых для оценки надежности оборудования ПТУ, методов повышения надежности оборудования ПТУ, вопросам разработки систем мониторинга и диагностики оборудования паротурбинной установки, совершенствования системы ремонтного обслуживания оборудования.

Во второй главе представлены результаты разработки концепции комплексной системы повышения надежности паротурбинной установки, методики анализа повреждаемости оборудования паротурбинной установки, методики определения приоритетных направлений повышения надежности, принципиальных положений комплексной системы мониторинга состояния паротурбинной установки в условиях эксплуатации и ремонта.

В третьей главе представлены результаты статистического анализа показателей надежности основного и вспомогательного оборудования ТЭС; обосновано, что более 30% отказов энергоблоков связано с повреждениями оборудования ПТУ. Получены функции плотности распределения для показателей интенсивности повреждений и времени восстановления для различных подсистем турбин. Показаны характерные распределения причин отказов и времени восстановления, полученные на основе обобщения результатов анализа причин отказов турбин и турбинного оборудования по 800 ПТУ за 25 лет эксплуатации. Представлены результаты исследования дефектов, выявленных при эксплуатации и ремонте турбин и турбинного оборудования, определены наиболее характерные виды дефектов, их причины и диагностические признаки. По результатам обобщения выполненного анализа определены приоритетные направления повышения надежности турбин и турбинного оборудования.

В четвертой главе показаны результаты разработки и реализации методов повышения надежности работы систем парораспределения и автоматического регулирования турбин. Предложена методика технико-экономического обоснования целесообразности выполнения реконструкции гидродинамических систем регулирования вместо их ремонта, представлены полученные результаты. Обоснована возможность реализации систем мониторинга для электрогидравлических систем регулирования, представлены разработанные методики диагностирования системы автоматического регулирования турбин в процессе эксплуатации. Представлены результаты разработки и апробации методов повышения надежности систем парораспределения, основанные на применении поверхностно-активных веществ.

В пятой главе представлены результаты исследования причин, вызывающих различные виды повреждений баббитовой заливки подшипников, выполнено обобщение видов и причин повреждений. Представлены результаты анализа и обобщения дефектов вибрационного состояния турбины и их диагностических признаков, сформулированы и структурированы 104 признака для диагностирования 34 характерных дефектов турбоагрегата, вызывающих изменение его вибросостояния. Предложена и обоснована методика автоматизации диагностирования повреждений в процессе эксплуатации. Представлены результаты исследования причин протечек масла из подшипников, а также результаты разработки, апробации и реализации методики для предотвращения протечек масла из подшипников, основанной на изменении свойств поверхности вала при ее обработке поверхностно-активными веществами на основе эпилама. Предложена двухслойная конструкция вкладыша опорного подшипника, исключая повреждения шейки вала при прекращении маслоснабжения подшипников.

В шестой главе приведены методика и результаты экспериментального исследования работы системы тепловых расширений турбин в условиях эксплуатации. Представлены результаты исследования эффективности примене-

ния различных методов по улучшению работы системы тепловых расширений турбин, проводимых в условиях эксплуатации и ремонта.

По результатам исследований обосновано, что для надежной работы узла «поперечная шпонка-паз» необходима его реконструкция с переходом на конструкцию поворотной шпонки. Выполнен анализ надежности различных конструкций поворотных шпонок.

Разработаны модели для анализа процессов, происходящих в системе тепловых расширений турбин. Представлены результаты моделирования процессов, происходящих при температурном перекосе по фланцам корпуса цилиндра.

Предложена конструкция опорного разгружающего устройства для нормализации тепловых расширений турбин в межремонтный период.

Представлены результаты разработки модуля мониторинга состояния системы тепловых расширений турбин в процессе эксплуатации.

В седьмой главе представлены результаты разработки модуля мониторинга состояния вспомогательного оборудования паротурбинной установки для насосного оборудования. Разработаны модели для оценки состояния конденсатора турбины на основе статистических методов. По результатам апробации моделей обоснована возможность прогнозирования остаточного ресурса трубных пучков конденсаторов статистическими методами в процессе эксплуатации. Сформулированы рекомендации по условиям применимости моделей.

В восьмой главе на основе исследования применяющихся в настоящее время на ТЭС систем ремонта, для каждой из них определены риски достижения устанавливаемых целей. Представлены результаты качественного и количественного анализа распределения повреждаемости для различных узлов турбин в зависимости от их наработки после выполнения ремонта. Определены наработки, при которых проявляются дефекты, вызванные качеством ремонта, а также наработки, при которых наступает износ различных узлов. Сформулированы рекомендации по изменению периодичности ремонта уз-

лов и срокам гарантийной ответственности ремонтных организаций. Разработаны и обоснованы стратегии ремонтного обслуживания для различных типов теплообменных аппаратов, трубопроводов и арматуры. Показана возможность планирования ремонтов на основе статистического анализа повреждаемости оборудования.

По представленной диссертационной работе имеется ряд замечаний и вопросов:

1. В условиях переменного суточного графика электрических и тепловых нагрузок турбоагрегаты часто эксплуатируются в режимах с частичной нагрузкой, останавливаются и пускаются. В работе не рассмотрены вопросы влияния остановочно-пусковых и переменных режимов работы турбин на их надежность, хотя известно, что данные факторы существенно влияют на показатели надежности.
2. Надежность работы оборудования обеспечивается комплексом мероприятий организационного и технического характера в работе рассмотрен только комплекс технических мероприятий.
3. В настоящее время в отрасли отсутствует единая информационная база о проводимых ремонтах, нет полной и достоверной информации о состоянии оборудования и результатах ремонтной деятельности. Необходимо воссоздать полноценную информационно-аналитическую систему в электроэнергетике страны. В первую очередь это нужно для оценки технического состояния оборудования, а также формирования базы данных об аварийности оборудования. По итогам выполненных исследований целесообразно было бы разработать рекомендации по созданию такой системы.
4. На основе статистических данных и расчетов определены основные параметры надежности паротурбинной установки в целом и отдельных её элементов, динамика их изменения в процессе эксплуатации, определены приоритетные направления повышения надежности, разработаны

методы повышения надежности оборудования ПТУ. Эффективность решения упомянутых задач напрямую зависит от качества и объективности оценки реального технического состояния данного оборудования. В связи с этим большое значение приобретает методика организации сбора эксплуатационных данных. В работе данному вопросу уделено недостаточное внимание.

5. Необходимо было бы провести сопоставление показателей надежности отечественного и зарубежного паротурбинного оборудования, а также направлений и методов повышения их надежности.
6. При определении сроков вывода в ремонт энергетического оборудования в некоторых случаях определяющим фактором является экономическая составляющая в связи с чем, целесообразно было бы провести оптимизацию сроков вывода в ремонт с учетом факторов надежности и экономичности.
7. Большое число повреждений турбины происходит из-за повреждений проточной части турбины (деталей ротора, рабочих лопаток), что и подтверждается результатами анализа, выполненного автором в третьей главе, однако в дальнейшем не рассматривается вопрос их повышения надежности.
8. В ряде случаев выводы по главам диссертационной работе подтверждают общеизвестные положения (пример гл.8 вывод -1,3,5).
9. В главе 8 при анализе зависимости повреждений различных узлов от наработки узла после ремонта, при наработках более 35 тысяч часов наблюдается значительное снижение количества повреждений. Необходимо пояснить, чем это обусловлено?

Указанные замечания не снижают научной и практической ценности диссертационной работы Мурманского Б.Е.

Диссертация соответствует требованиям, предъявляемым ВАК РФ к докторским диссертациям. Содержание автореферата полностью соответствует диссертации, несмотря на то, что желательно было бы более представительно

отразить, представленные в диссертации, методические разработки автора. Результаты диссертации опубликованы в журналах по списку ВАК (25 публикаций), учебных пособиях и справочнике «Ремонт оборудования паротурбинной установки». Большинство представленных разработок защищены патентами на изобретения и полезную модель.

Считаю, что диссертация соответствует паспорту научной специальности 05.04.12 «Турбомашины и комбинированные турбоустановки», а диссертант Мурманский Борис Ефимович заслуживает присвоения ему ученой степени доктора технических наук по специальности 05.04.12 - Турбомашины и комбинированные турбоустановки.

Официальный оппонент, доктор технических наук (05.14.01 - Энергетические системы и комплексы), профессор, заведующий кафедрой автоматизированных систем управления тепловыми процессами ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ»

>

→

____ Андрюшин Александр Васильевич

10.11.2015

111250, Россия, г. Москва, Красноказарменная улица, дом 14

Тел. +7 (495) 362-7029, электр. почта - andriushinav@mpei.ru

Подпись А.В. Андрюшина удостоверяю
начальник управления  *с/о Е.Ю. Журавлев*