



**Некоммерческое партнерство
«НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СОВЕТ
Единой энергетической системы»**
109044, Россия, Воронцовский пер., 2, стр.1
Тел. (495) 912-10-78, 912-57-99, факс. 632-72-85
www.nts-ees.ru

ОТЧЕТ
заседания подсекции «Тепломеханическое оборудование»
НП «НТС ЕЭС»

по теме:

**«Повреждение сборных валов роторов турбин.
Причины и пути решения»**

Москва, 2009 г.



**Некоммерческое партнерство
«НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СОВЕТ
Единой энергетической системы»**

109044 г.Москва, Воронцовский пер., дом 2
Тел. (495) 912-1078, 912-5799, факс (495) 632-7285
E-mail: dtv@nts-ees.ru, <http://www.nts-ees.ru/>
ИНН 7717150757

«УТВЕРЖДАЮ»
Председатель Научно-технической
коллегии НП «НТС ЕЭС»
член-корр. РАН, д.т.н., профессор

А.Ф. Дьяков

«_____» 2009 г.

ПРОТОКОЛ

Заседания подсекции «Тепломеханическое оборудование» НП «НТС ЕЭС»
по теме: «Повреждение сборных валов роторов турбин.
Причины и пути решения»

19 мая 2009 г.

№

г. Москва

Присутствовали: 15 человек (Регистрационный лист, Приложение 1)

На заседании выступили:

Со вступительным словом:

Председатель подсекции «Тепломеханическое оборудование» НП «НТС ЕЭС»,
заместитель директора Филиала ОАО «Инженерный центр ЕЭС» - «Фирма
ОРГРЭС» - Купченко В.А.

С докладом:

«Повреждение сборных валов роторов турбин. Причины и пути решения» -
заместитель генерального директора ОАО «ВТИ» - д.т.н. Резинских В.Ф.
(Приложение 2).

С экспертным заключением:

Профессор, д.т.н. МЭИ (ТУ) Трухний А.Д. (Экспертное заключение. Приложение 3).

В обсуждении приняли участие: Гуторов В.Ф. (ОАО «ВТИ»), Валиков М.П. (ОАО МЭР), Длугосельский В.И. (РАН, НТС), Трухний А.Д. (МЭИ (ТУ)).

Заседание подсекции Тепломеханического оборудования отмечает:

За последнее время отмечается (и статистические данные это подтверждают) что проблема надежности роторов низкого давления, отслуживших расчетный срок службы, приобрела отраслевой характер. Так на 22 роторах ЦНД турбин ПТ-135(140)/165-130 УТЗ обнаружены поперечные трещины в зоне канавок под упорные кольца, фиксирующие осевое положение дисков РНД.

Аналогичные повреждения имеются на РНД паровых турбин Т-250-240 УТЗ, Т-100-130 УТЗ, Т-50-130 УТЗ, ПТ-60-130 ЛМЗ, Т-175-130 УТЗ, К-300-240-ХТЗ, К-300-240-ЛМЗ.

Штатная система вибродиагностики ни в одном из 22 случаев не выявила каких-либо нарушений. Нормативными документами контроль валов на наличие трещин – не предусмотрен. Надежная методика выявления трещин в зонах валов без снятия дисков – отсутствует.

В 2003 году (07.08) Департамент Генеральной инспекции РАО «ЕЭС России» выпустил указание ОУ-15-2003(ТП). С этого момента ОАО «Теплоэнергосервис-ЭК» проводит систематический контроль и обследование канавок на РНД при ремонте роторов со снятием насадных дисков, проходящих у них ремонт, и ведет учет результатов этого контроля (на 29 роторах турбин ПТ-135(140)/165-130).

На 22 из них (турбины ПТ-135(140)/165-130-ТМЗ), выявленные трещины представляют угрозу надежной эксплуатации не только роторов турбин, но и электростанции в целом.

Важность проблемы, поставленной на обсуждение – очевидна.

Величина трещин на обследованных роторах достигала критического размера, что может привести к разрушению валопровода с непредсказуемыми последствиями.

Вероятная причина образования трещин – высокий уровень напряжений в зоне кольцевых проточек, а также наличие коррозионной среды. Об этом говорили участники заседания и на это обратил особое внимание эксперт Трухний А.Д. в своем экспертном заключении и во время дискуссии.

В докладе приведены конкретные турбины на конкретных станциях (Новоузнецкая, Карагандинская ТЭЦ-2, Волжская ТЭЦ) (см. Приложение 2) и сделан вывод: ситуация с роторами имеющими сборную конструкцию приобретает отраслевой характер и те меры, которые предусмотрены вышеупомянутым ОУ-15-2003 – становятся недостаточными для надежной эксплуатации. С этим согласились участники заседания, в т.ч. и представитель Мосэнергоремонта.

Не дожидаясь кардинальных решений ОАО «УТЗ» и ОАО «Теплоэнергосервис-ЭК» предложили конкретно на турбинах УТЗ-ПТ-135(140)/165-130 внести конструктивные изменения, направленные на повышение надежности роторов низкого давления. Перейти с 3-х ступенчатой конструкции ЧНД РНД на 2-х ступенчатую с одновременным уменьшением длины лопаток последней ступени с 830 мм до 660 мм, и увеличением радиуса гантелей, конструкция ротора должна быть без стопорных колец.

В выступлении Гуторова В.Ф. ОАО «ВТИ» – отмечено, что причиной коррозионных повреждений роторов может служить водно-химический режим (ВХР), вызывающий коррозионные повреждения в зоне фазового перехода и что этим вопросом в 80-х годах прошлого века для Т-100 занимался ВТИ. Меж-

ведомственной комиссией, возглавляемой ВТИ, были разработаны предложения по изменению конструкции РНД и режимные мероприятия по ВХР. В случае с РНД следует также провести исследования, касающиеся крутильных колебаний и коррозии.

В выступлениях обозначилась общая позиция в решении назревшей проблемы и вместе с тем эксперт отмечает, что предложенные НИРы потребуют длительного времени, поэтому следует вначале подготовить несколько первостепенных работ ответы на которые не потребуют много времени.

По мнению ОАО «ВТИ», работу надо проводить в полном объеме. Это займет не более 1,5 года.

Заседание подсекции тепломеханического оборудования рекомендует:

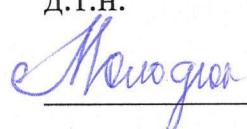
1. Работу, проделанную ОАО «ВТИ», изложенную в докладе д.т.н. Резинских В.Ф. – одобрить.
2. ОАО «ВТИ» продолжить анализ причин повреждения роторов турбин, для чего: при наличии финансирования включить в план НИР ОАО «ВТИ» на 2009-2010 годы работу по выяснению конкретных причин и механизма возникновения и развития повреждений РНД с разработкой мероприятий по повышению эксплуатационной надежности роторов.
3. Подготовить информационное сообщение в компании, в которых выявлены дефекты роторов турбин по ситуации с трещинообразованием на РНД турбин, включив в него предварительные рекомендации ОАО «ВТИ».
4. ОАО «ВТИ» подготовить техническое задание и обоснование финансирования работы в объеме 20 млн. руб.: «Исследование причин повреждений роторов среднего и низкого давления паровых турбин и разработка мероприятий по повышению их надежности».
5. Рабочему аппарату Научно-технической коллегии НП «НТС ЕЭС» разработать порядок сбора средств из фонда НИОКР компаний, в которых выявлены дефекты роторов турбин, с использованием отраслевого внебюджетного

фонда научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР) Корпорации «Единый электроэнергетический комплекс» для финансирования работы: «Исследование причин повреждений роторов среднего и низкого давления паровых турбин и разработка мероприятий по повышению их надежности».

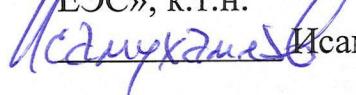
Приложения:

4. Результаты контроля цельносварных частей роторов НД турбин ПТ-135/165-130/15 на наличие кольцевых трещин в канавках под упорные кольца (2003-2005 г.)
5. Техническое задание на проведение НИР.
6. Программа НИР: Исследование причин повреждений валов роторов среднего и низкого давления паровых турбин и разработка мероприятий по повышению их надежности».

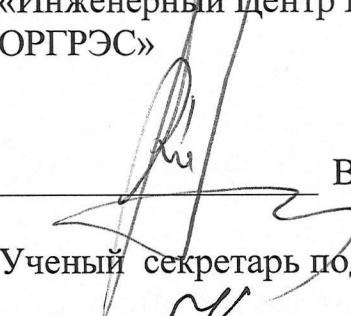
Заместитель председателя
Научно-технической
коллегии НП «НТС ЕЭС»,
д.т.н.

 Молодюк В.В.

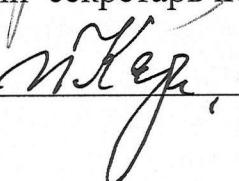
Ученый секретарь НП «НТС
ЕЭС», к.т.н.

 Исамухамедов Я.Ш.

Председатель подсекции тепломеханического оборудования НП «НТС ЕЭС»,
заместитель директора Филиала ОАО
«Инженерный Центр ЕЭС» - «Фирма
ОРГРЭС»

 В.А. Купченко

Ученый секретарь подсекции

 И.Б. Карп

Приложение 2
к Протоколу от
19 мая 2009 г

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

К заседанию НТС по теме: «Повреждение сборных роторов турбин,
причины и пути решения»

Докладчик: д.т.н. Резинских В.Ф.

Во время проведения в июле 2003 г. на ОАО «Теплоэнергосервис-ЭК» ремонта ротора низкого давления турбины ПТ-135(140)/165-130 ст. № 8 Волжской ТЭЦ, отработавшего 184 тыс. ч и имевшего 114 пусков, была обнаружена кольцевая трещина на валу по углу канавки под упорное кольцо между дисками 24 и 25-й ступеней. Глубина трещины превышала 32 мм. В это же время на валу ротора низкого давления также турбины ПТ-135 Тобольской ТЭЦ, отработавшего более 130 тыс. ч, в той же зоне была обнаружена аналогичная трещина длиной 2/3 окружности, глубиной более 25 мм.

Выявленные трещины представляют серьезную угрозу для эксплуатации турбины и электростанции в целом. Штатная система вибродиагностики не выявила каких-либо нарушений на этих турбинах. Принятыми нормативными документами не предусматривается контроль валов роторов НД на наличие трещин. Сегодня отсутствуют надежные методики выявления трещин в этих зонах без снятия дисков.

В целях обеспечения надежной эксплуатации турбин 07.08.2003 г. Департаментом Генеральной инспекции РАО «ЕЭС России» было выпущено оперативное указание ОУ-15-2003 (ТП), в котором предписывается проводить обследование канавок на роторах низкого давления, проходящих ремонт со снятием насадных дисков.

С этого момента на ОАО «Теплоэнергосервис-ЭК» стал проводиться систематический контроль и учет результатов этого контроля всех ремонтируемых на предприятии валов сборных роторов. В общей сложности в 2003-2008 г.г. выявлены поперечные трещины в концентраторах напряжений на 22 из 29 осмотренных роторах частей низкого давления (ЧНД) турбин ПТ-135(140)/165-130 ТМЗ, представляющие угрозу надежной эксплуатации ро-

торов, турбины и электростанции в целом. Срок эксплуатации этих роторов составлял от 70 до 200 тыс.ч. Кроме этого подобные повреждения обнаружены на следующих роторах: на четырех РНД турбин Т-175-130, на четырех РСД и одном РНД турбин Т-100-130, одном РНД турбины ПТ-60-130, трех РНД турбин Т-50-130, одном РНД Т-250-240, одном РСД К-300-240 ХТЗ и одном РНД К-300-240 ЛМЗ.

В феврале 2005 г. турбина ПТ-135 Карагандинской ТЭЦ-2 была выведена в ремонт из-за повышенной вибрации валопровода. Ротор НД при установке на козлах переломился на две части. Трецина, развившаяся от канавки между дисками 24 и 25 ступеней, занимала 90% сечения вала. К моменту повреждения ротор отработал 154 тыс.ч. В случае разрушения этого ротора в турбине в процессе работы последствия от аварии были бы катастрофическими.

Ситуация с роторами паровых турбин, имеющих сборную конструкцию, приобретает отраслевой характер. Мероприятий, описанных в ОУ-15-2003, уже становится недостаточно для обеспечения надежной эксплуатации турбин.

Применительно к роторам турбин ПТ-135(140)/165-130 ЗАО «УТЗ» совместно с ОАО «Теплоэнергосервис-ЭК» предложили конструктивные изменения, направленные на повышение надежности роторов низкого давления (переход с 3-х на 2-х ступенчатую конструкцию ЧНД РНД при уменьшении длины лопаток последней ступени с 830 до 660 мм, устранение упорных колец, увеличение радиусов галтелей, увеличение фасок на дисках).

Эффект от этих мероприятий на первый взгляд очевиден. Но неизвестно, на сколько увеличится срок службы реконструированных роторов, и не появятся ли трещины в других зонах. Для других конструкций роторов подобные рекомендации пока не разработаны.

Причины наблюдавшихся повреждений не изучены. В целях обеспечения надежной эксплуатации роторов среднего и низкого давления паровых турбин, работающих в зоне фазового перехода и во влажном паре, необходим

ма срочная постановка научно-исследовательской работы для выяснения механизма и причин повреждения роторов, разработки методов неразрушающего контроля и мероприятий по повышению эксплуатационной надежности и ресурса роторов, подготовки соответствующего нормативного документа.

В рамках данной работы планируется:

- выполнить анализ условий эксплуатации турбин ПТ-135 с поврежденными и неповрежденными роторами НД;
- провести исследование структуры и свойств металла дефектного ротора и механизма повреждения;
- провести исследование напряженного состояния всех сборных роторов СД и НД, работающих при температуре менее 450°C;
- провести исследование усталостной прочности металла ротора на воздухе и в коррозионной среде;
- оценить время живучести роторов;
- разработать методы неразрушающего контроля валов роторов без снятия дисков;
- разработать мероприятия по повышению эксплуатационной надежности сборных роторов СД и НД, работающих при температуре менее 450°C;
- разработать стандарт организации по обеспечению эксплуатационной надежности сборных роторов СД и НД, работающих при температуре менее 450°C.

В результате этой работы будут получены ответы на следующие вопросы:

- какие факторы ответственны за повреждение роторов;
- какие типы роторов и какие зоны в этих роторах наиболее подвержены риску повреждения;
- какое время требуется для образования трещин в роторах, и сколько времени трещины развиваются до предельно допустимого размера;

- как влияют режимы эксплуатации турбин на повреждаемость роторов;
- какие изменения конструкции роторов и проточной части турбин будут необходимы и достаточны для обеспечения их надежной эксплуатации в пределах назначенного срока службы.

До минимизации вероятности аварий, связанных с повреждением сборных роторов, и разработки необходимых мероприятий необходимо:

1. Всем электростанциям, эксплуатирующим турбины ПТ-135(140)/165-130, обеспечить проведение в ближайшую ремонтную кампанию работы по контролю металла и конструктивным изменениям, предложенным ЗАО «УТЗ» и ОАО «Теплоэнергосервис-ЭК», валов роторов низкого давления со снятием насадных дисков, на всех турбинах этого типа не прошедших такой ремонт в 2003-2008 г.г.

2. Всем электростанциям при проведении ремонтов роторов низкого и среднего давления турбин всех типов с наработкой более 100 тыс.ч запланировать работы по снятию насадных дисков и проведению методом цветной дефектоскопии или МПД неразрушающий контроль кольцевых проточек и радиусных переходов валов на наличие кольцевых трещин.

3. Принять меры к исполнению приказа РАО «ЕЭС России» № 371 от 22.07.2003 в части проведения виброобследований всех турбоагрегатов мощностью 50 МВт и более.

4. Изыскать возможность финансирования НИР, направленной на обеспечение надежной эксплуатации роторов среднего и низкого давления паровых турбин, работающих в зоне фазового перехода и во влажном паре.

Экспертное заключение

по работе ВТИ "Повреждения роторов турбин, причины и пути решения"

На заключение представлены "Пояснительная записка" на 4 стр. и презентация из 25 слайдов.

В пояснительной записке фиксируется, что на 22 роторах ЦНД 29 осмотренных роторов турбин ПТ-135(140)/165-130 УТЗ обнаружены поперечные трещины в зоне кольцевых канавок под стопорные кольца, фиксирующие осевое положение дисков РНД. Наработка турбин составляла от 70 до 200 тыс. ч. Аналогичные повреждения обнаружены на четырех РНД паровых турбин Т-175-130 УТЗ, четырех РСД и одном РНД турбин Т-100-130, одном РНД турбины Т-250-240, одном РСД турбин К-300-240 ХТЗ и одном РНД турбины К-300-240- ЛМЗ. Из этих статистических данных делается справедливый вывод о массовом характере образования трещин в РНД и о том, что проблема надежности РНД мощных турбин, прослуживших свой расчетный срок службы, приобрела отраслевой характер.

Нельзя не согласиться с автором работы, что последствия разрыва роторов вследствие появления и роста трещин до критического размера могут быть катастрофическими. Об этом говорят последствия аварии на Каширской ГРЭС, вызванные разрушением ротора генератора турбоагрегата К-300-240 ЛМЗ по всему сечению. При таком разделении происходит мгновенное скручивание валопровода вследствие его торможения из-за осевого сдвига, последующее разделение ротора турбины на множество крупных фрагментов, обладающих колоссальной кинетической энергией, высвобождение которой ведет к полному разрушению машины и смежного оборудования, пожару и обрушению кровли. Не исключены при этом и человеческие жертвы.

Какой-либо анализ причин образования трещин в роторах ЦНД (см. название пояснительной записи), в пояснительной записке отсутствует.

Вместе с тем, наиболее вероятные причины их появления достаточно обстоятельно с численной оценкой влияния различных факторов изложены в главе 14 учебника для вузов "Паровые и газовые турбины для электростанций" (М.: Издательский дом МЭИ, 2008. Авторы – А.Г. Костюк, В.В. Фролов, А.Е. Булкин, А.Д. Трухний).

Основная причина образования трещин, как следует из главы 14, написанной д.т.н. Костюком А.Г., состоит в высоком уровне напряжений в зоне кольцевых проточек, вызванных концентрацией напряжений, и наличии коррозионной среды, вызванной недостаточным качеством пара. Эти причины очевидны и они названы в пояснительной записке. Именно на них необходимо сосредоточить внимание в первую очередь и принять срочные меры по смягчению их влияния.

Эксперт согласен с авторами пояснительной записи в части необходимости постановки капитальной работы по выяснению конкретных причин и механизма возникновения и развития повреждений в РНД. Согласен эксперт и с перечнем НИР, которые необходимо провести для выяснения причин образования трещин в конкретных роторах, без изучения которых невозможно обоснованно и уверенно предложить разумные меры по их предотвращению. Именно так в свое время решался вопрос о причинах и мерах предотвращения трещинообразования в дисках теплофикационных турбин, в рабочих лопатках конденсационных турбин, в хвостовиках рабочих лопаток турбин К-1000-60 ХТЗ, работающих в зоне фазового перехода.

С приведенным перечнем работ, которые необходимо выполнить, эксперт в целом согласен. Необходимо сделать лишь ряд замечаний.

1. Перечень необходимых НИР (стр.3) включает 8 серьезных работ, требующих длительного времени, привлечения широкого круга научно-исследовательских организаций. Некоторые из них вообще полноценно не могут быть выполнены в обозримый период (например, оценка времени

живучести роторов). Поэтому перечень НИР необходимо переформировать: изложить его надо не в порядке логики обстоятельного научного изучения причин и разработки методов предотвращения образования трещин с целью окончательного ее решения (для этого потребуется слишком много времени), а по принципу быстрой разработки практических мер, исключающих сегодня возможность катастрофических разрушений роторов. На втором этапе должно быть продолжено полноценное изучение проблемы.

По мнению эксперта, приоритетными работами должны быть:

- выяснение особенностей эксплуатации паровых турбин с поврежденными роторами;
- срочная практическая разработка тех мероприятий по повышению эксплуатационной надежности роторов, которые очевидны и не требуют трудоемких и длительных экспериментальных исследований (например, смягчения концентрации напряжений и ужесточения требований к контролю качества пара, поступающего в турбину);

2. Из перечня НИР выпали вопросы анализа ВХР для турбоустановок с поврежденными и неповрежденными роторами, хотя, по мнению эксперта, этот вопрос является одним из ключевых. Тщательный анализ диаграммных лент с показателями ВХР, а также поиск потенциальных источников поступления коррозионно-агрессивных веществ в паровую турбину при различных режимах работы представляется совершенно необходимым, так как именно коррозионные эффекты являются одной из основных причин повреждений. Эта работа должна быть выделена в отдельную программу.

3. Из перечня программы НИР выпал анализ динамических характеристик валопровода и их влияние на накопление усталостных повреждений при штатных и нештатных ситуациях. В частности (см. упомянутый выше учебник) имеются сведения о том, что вторая главная крутильная форма валопровода турбины ПТ-140/165-130 близка к 100 ГЦ, что может привести к крутильному

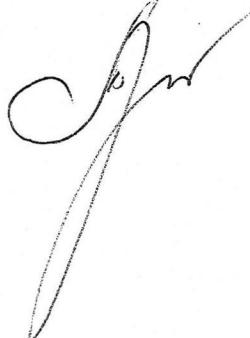
резонансу, вызываемому неравножесткостью сечения ротора генератора. Кстати, максимум крутильного возмущающего момента возникает именно в зоне между дисками 24-й и 25-й ступенями.

4. Необходимо для каждого конкретного ротора с трещинами проанализировать влияние коротких замыканий и несинхронных включений генератора в сеть, пусковых и остановочных режимов.

В целом предлагаемую работу следует одобрить и принять после небольшой корректировки к реализации.

В заключение необходимо заметить, что как представленная "Пояснительная записка", так и настоящее экспертное заключение, а также обсуждение этой проблемы окажутся очередным " сотрясением воздуха", если ее проведение не будет иметь финансовой поддержки. Без такого финансирования о них вспомнят только тогда, когда, не дай Бог, произойдет очередное катастрофическое разрушение турбины и машзала, аналогичное аварии на Каширской ГРЭС.

Профессор, доктор техн. наук,
Заслуженный деятель науки РФ,
Почетный энергетик России,
Лауреат премии Правительства РФ



Трухний А.Д.

13 мая 2009 г.

РЕЗУЛЬТАТЫ КОНТРОЛЯ ЦЕЛЬНОКОВАНЫХ ЧАСТЕЙ РОТОРОВ НД ТУРБИН ПТ-135/165-130/15

НА НАЛИЧИЕ КОЛЬЦЕВЫХ ТРЕЩИН В КАНАВКАХ ПОД УПОРНЫЕ КОЛЬЦА (2003-2005 г. г.)

Численность 4
к проекту
от 19.05.09

№ п/п	Объект	Ст. №	Ориентировоч- ная наработка, тыс. час.	Обнаруженные дефекты в канавках под упорные кольца		Примечания
				за 24-й ступенью	за 25-й ступенью	
1	Волгоградская ТЭЦ-3	1	201	Трещина глубиной 13,44 мм	Трещина глубиной 3,5 мм	Брак
2	Волжская ТЭЦ	8	184	Трещина глубиной более 31 мм		Брак
3	Н-Салаватская ТЭЦ	7	172			
4	ТЭЦ ВАЗа	9	162	Трещина глубиной 4,93 мм	Трещина глубиной 5,48 мм	Ротор отремонтирован
5	Н-Стерлитамакская ТЭЦ	3	162			
6	ТЭЦ ВАЗа	10	160	Трещина глубиной 11,05 мм	Трещина глубиной 2,93 мм	Брак
7	Тобольская ТЭЦ	1	160		Трещина более 15 мм	Брак
8	Пермская ТЭЦ-14	4	160	Трещины в обеих галтелях глубиной 7,5 мм		Ротор отремонтирован
9	Н-Салаватская ТЭЦ	6	159			
10	Дзержинская ТЭЦ	6	156	Трещина глубиной более 22 мм		Брак
11	Красногорская ТЭЦ-2	4	154	Трещина глубиной до 1,5 мм		Ротор отремонтирован
12	Новокемеровская ТЭЦ	14	149			
13	Тобольская ТЭЦ	4	148	Трещина глубиной более 25 мм		Брак
14	Ульяновская ТЭЦ-2	1	134			
15	Могилевская ТЭЦ-2	5	125			
16	Красноярская ТЭЦ-2	10	103			
17	Новогорьковская ТЭЦ	8	83			
18	Нижнекамская ТЭЦ-2	2	82		Трещина глубиной до 1,5 мм	Ротор отремонтирован
19	Липецкая ТЭЦ-2	1	70	Трещина глубиной до 1,5 мм	Трещина глубиной до 1 мм	Ротор отремонтирован

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

На проведение научно-исследовательской работы:
«Исследование причин повреждений валов роторов среднего и низкого давления паровых турбин и разработка мероприятий по повышению их надежности»

1. Актуальность (новизна), основные цели и задачи, эффективность научно-технической продукции

В 2003-2008 г.г. выявлены поперечные трещины в концентраторах напряжений на 22 из 29 осмотренных роторах частей низкого давления (ЧНД) турбин ПТ-135(140)/165-130 ТМЗ, представляющие угрозу надежной эксплуатации роторов, турбины и электростанции в целом. Кроме этого подобные повреждения обнаружены на следующих роторах: на четырех РНД турбин Т-175-130, на четырех РСД и одном РНД Т-100-130, одном РНД ПТ-60-130, трех РНД Т-50-130, одном РНД Т-250-240, одном РСД К-300-240 ХТЗ и одном РНД К-300-240 ЛМЗ.

Все роторы спроектированы в соответствии с требованиями действующих стандартов. Действующими документами РАО «ЕЭС России» не был предусмотрен какой-либо контроль этих роторов в процессе эксплуатации. На сегодняшний день отсутствуют достоверные методы контроля сборных роторов СД и НД без снятия дисков; не определены роторы, для которых эта проблема является актуальной; не установлены нормы и периодичность контроля роторов, мероприятия по повышению надежности их эксплуатации. Поэтому полная информация о масштабах данной проблемы и способах ее разрешения на сегодня отсутствует.

Все это определяет актуальность данной работы.

Целью работы является обеспечение эксплуатационной надежности валов роторов частей среднего и низкого давления паровых турбин, работающих при температуре пара менее 450°C.

Для достижения поставленной цели будут решаться следующие задачи:

- 1.1. установлены дополнительные требования к режимам и условиям эксплуатации турбин ПТ-135(140)/165-130;
- 1.2. определены типы роторов СД и НД паровых турбин мощностью от 50 до 1200 МВт и их зоны, для которых актуальна данная проблема;
- 1.3. разработаны методы и нормы контроля роторов в процессе эксплуатации;

1.4. разработаны технические решения, направленные на повышение эксплуатационной надежности роторов СД и НД, работающих при температуре пара менее 450°С.

2. Научные, технические, экономические, организационные и другие требования к выполнению работы и ее результатам

В рамках данной работы должно быть выполнено:

2.1. Анализ статистики повреждений РНД турбин ПТ-135.

Должна быть проанализирована информация об условиях эксплуатации и повреждениях роторов НД 32 турбин ПТ-135, установленных на 24 ТЭС России. Для выполнения анализа должны быть разработаны опросные листы с вопросами по длительности эксплуатации и количеству пусков турбин по годам, водно-химическому режиму, ремонтам (центровкам, вибрации, просадкам фундамента, наличию повреждений на валу, дисках, лопатках). Опросные листы будут разосланы на все ТЭЦ с турбинами ПТ-135. На некоторые ТЭЦ для сбора информации будут направлены специалисты.

Должны быть выявлены различия в условиях эксплуатации турбин, на которых роторы повреждались и не повреждались, позволяющие сформулировать рекомендации по надежной эксплуатации турбин.

2.2. Исследование напряженного состояния валов роторов среднего и низкого давления

Должны быть выполнены расчеты напряженного состояния в зонах конструктивных концентраторов 20 типов роторов СД и НД, работающих при температуре пара менее 450°С, турбин мощностью от 50 до 1200 МВт производства ЛМЗ, ТМЗ и НПО «Турбоатом». Должны быть установлены наиболее нагруженные роторы и наиболее нагруженные зоны в этих роторах, определен уровень напряжений в них при стационарном режиме работы, пусках и остановах, при крутильных колебаниях, расцентровках. Должны быть учтены напряжения, связанные с посадкой дисков на вал.

2.3. Расчетные исследования времени живучести РНД турбин ПТ-135

Используя известные кинетические диаграммы для стали Р2М при коррозионно-усталостных испытаниях и расчетные значения коэффициентов интенсивности напряжений (КИН) для кольцевых и односторонних поперечных трещин в валах, должно быть рассчитано время подрастания трещины до предельно допустимого размера.

2.4. Разработка методов неразрушающего контроля роторов

Должны быть разработаны методы неразрушающего контроля, позволяющие оценивать работоспособность валов роторов без снятия с них дисков. В качестве перспективных должны рассматриваться методы ультразвукового контроля со стороны осевого канала, метод акустической эмиссии,

метод вибродиагностики. Также должны быть усовершенствованы методы поверхностной дефектоскопии, используемые при контроле валов роторов в зоне концентраторов напряжений после снятия дисков. Все методы должны быть опробованы на роторах, содержащих эксплуатационные трещины.

2.5. Исследование характера излома и свойств металла дефектного ротора

Для определения механизма разрушения один из поврежденных роторов должен быть разрезан и подвергнут комплексному исследованию металла. Методом электронной микроскопии должен быть выполнен фрактографический анализ поверхности раскрытой трещины и элементный состав отложений на ее поверхности. В разных зонах по сечению ротора должны быть проведены исследования микроструктуры и химического состава металла ротора, механические испытания на разрыв и ударную вязкость, определена переходная температура хрупкости.

2.6. Исследование усталостной прочности металла дефектного ротора на воздухе и в коррозионной среде

Для определения допустимого уровня напряжений в роторах и оценки ресурса роторов СД и НД должны быть проведены стандартные усталостные испытания металла дефектного ротора на воздухе (на базе 10^7 циклов) и в коррозионной среде (на базе $5 \cdot 10^7$ циклов). Состав среды должен быть выбран с учетом содержания химических элементов во влажной фазе в зоне фазового перехода турбины.

2.7. Разработка нормативного документа по повышению надежности валов роторов паровых турбин, работающих при температуре менее 450°C

Должен быть разработан нормативный документ, регламентирующий объем, периодичность, методы и нормы контроля роторов среднего и низкого давления, для которых существует высокая вероятность повреждения в процессе эксплуатации, процедуру их ремонта. Документ должен также содержать рекомендации по эксплуатации турбин, корректировке водно-химического режима и изменению конструкции проточной части.

3. Взаимосвязь с предшествующими и последующими работами, предполагаемое конкретное использование результатов работы

При выполнении работы будет использован имеющийся опыт и отдельные результаты, полученные при решении близкой проблемы, касающейся повреждения дисков, работающих в зоне фазового перехода паровых турбин. Результаты данной работы будут использованы ОГК и ТГК путем внедрения разработанных рекомендаций на электростанциях. Это позволит повысить надежность и безопасность эксплуатации паровых турбин.

4. Перечень получивших охрану объектов промышленной собственности, программ для ЭВМ и (или) баз данных, использование которых предполагается при проведении работ

Нет.

5. Основное содержание работ

5.1. Анализ статистики повреждений РНД турбин ПТ-135.

Будут разработаны опросные листы с вопросами по длительности эксплуатации и количеству пусков турбин по годам, водно-химическому режиму, ремонтам (центровкам, вибрации, просадкам фундамента, наличию повреждений на валу, дисках, лопатках). Опросные листы будут разосланы на все ТЭЦ с турбинами ПТ-135. Не менее чем на десять электростанций для сбора информации будут направлены специалисты.

5.2. Исследование напряженного состояния валов роторов среднего и низкого давления

Будут выполнены расчеты напряженного состояния в зонах конструктивных концентраторов 20 типов роторов СД и НД, работающих при температуре пара менее 450°C, турбин мощностью от 50 до 1200 МВт производства ЛМЗ, ТМЗ и НПО «Турбоатом».

Будут приобретены чертежи всех рассматриваемых роторов. Расчет будет проводиться методом конечных элементов с использованием специализированных программ и инженерными методами.

Будут установлены наиболее нагруженные роторы и наиболее нагруженные зоны в этих роторах, определен уровень напряжений в них при стационарном режиме работы, пусках и остановах, при крутильных колебаниях, расцентровках. Применительно к наиболее нагруженным роторам будут учтены напряжения, связанные с посадкой дисков на вал.

5.3. Расчетные исследования времени живучести РНД турбин ПТ-135

В расчетах будут использоваться известные кинетические диаграммы трещиностойкости для стали Р2М, полученные при коррозионно-усталостных испытаниях. Расчет значений коэффициентов интенсивности напряжений (КИН) будет проводиться инженерным методом для кольцевых и односторонних поперечных трещин в валах.

5.4. Разработка методов неразрушающего контроля роторов

При разработке метода ультразвукового контроля роторов со стороны осевого канала будут проводиться специальные лабораторные исследования, в результате которых будут выбраны оптимальные параметры контроля (тип датчика и дефектоскопа, углы ввода луча), будут изготовлены специальные

эталонные образцы, сканирующее устройство, датчики. В разработке двух альтернативных методов примут участие УралОРГРЭС и УралВТИ. Для разных вариантов методики будет установлен браковочный уровень УЗ сигнала. Проверку работоспособности методов будет осуществлять независимая организация на дефектном роторе.

Предварительные исследования метода акустической эмиссии будут проводиться в лабораторных условиях на образцах. Планируется приобрести современную аппаратуру для АЭ-контроля. Окончательная отработка методики с выбором параметров контроля и определением браковочного уровня будет осуществляться на дефектном роторе.

При отработке метода вибродиагностики планируется провести серию испытаний на специальном стенде и натурных роторах. Будет исследоваться влияние трещин в роторе на его амплитудо-частотные, фазо-частотные характеристики, спектры вибрации опор, данные по относительной вибрации вала.

При совершенствовании методов поверхностной дефектоскопии на дефектных роторах будут выполнены сравнительные исследования методов цветной дефектоскопии, магнито-порошковой дефектоскопии, вихревокового контроля. Будут анализироваться применительно к данной задаче качество подготовки поверхности, используемые материалы, разрешаемая способность методов, их трудоемкость.

5.5. Исследование характера излома и свойств металла дефектного ротора

Исследование металла планируется провести, по крайней мере, на одном дефектном роторе. Ротор будет подвергнут разрезке на темплеты с выделением отдельно темпleta с эксплуатационной трещиной.

Методом электронной микроскопии будет выполнен фрактографический анализ поверхности раскрытой трещины и элементный состав отложений на ее поверхности. В разных (2-3-х) зонах по сечению ротора будут проведены исследования микроструктуры и химического состава металла ротора, механические испытания на разрыв и ударную вязкость, определена переходная температура хрупкости.

5.6. Исследование усталостной прочности металла дефектного ротора на воздухе и в коррозионной среде

Будет проведено две серии усталостных испытаний (по 10-12 образцов) на воздухе (на базе 10^7 циклов) и в коррозионной среде (на базе $5 \cdot 10^7$ циклов). Способ нагружения образцов: изгиб с вращением при симметричном цикле нагружения. Будут получены значения пределов выносливости роторной стали и кривые циклической долговечности.

5.7. Разработка нормативного документа по повышению надежности валов роторов паровых турбин, работающих при температуре менее 450°C

На основе проведенных исследований в форме стандарта организации будет разработан нормативный документ, регламентирующий объем, периодичность, методы и нормы контроля роторов среднего и низкого давления, для которых существует высокая вероятность повреждения в процессе эксплуатации, процедуру их ремонта. Документ будет также содержать рекомендации по эксплуатации турбин, корректировке водно-химического режима и изменению конструкции проточной части.

6. Соисполнители, распределение работы между ними

Кроме ОАО «ВТИ» в работе примут участие следующие организации:

ОАО «Теплоэнергосервис-ЭК» - участие в анализе статистики повреждений роторов, участие в исследовании напряженного состояния роторов, разрезка дефектного ротора и изготовление образцов, участие в разработке методов неразрушающего контроля, участие в разработке нормативного документа, участие в разработке технических решений по повышению эксплуатационной надежности роторов;

ОАО «УТЗ» - участие в исследовании напряженного состояния роторов, участие в разработке нормативного документа, участие в разработке технических решений по повышению эксплуатационной надежности роторов;

ОАО «ЛМЗ» - участие в исследовании напряженного состояния роторов, участие в разработке нормативного документа, участие в разработке технических решений по повышению эксплуатационной надежности роторов;

ОАО «Инженерный центр энергетики Урала» (филиалы УралОРГРЭС, УралВТИ) – участие в разработке методов неразрушающего контроля;

МЭИ – проведение усталостных испытаний.

7. Перечень и комплектность результатов работы, подлежащих приемке Заказчиком

7.1. Результаты анализа статистики повреждений роторов турбин ПТ-135 (отчет в 2-х экз.);

7.2. Результаты исследования напряженного состояния 20 типов роторов СД и НД, работающих при температуре менее 450°C и времени живучести ротора НД турбины ПТ-135 (отчет в 2-х экз.);

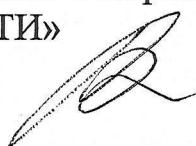
7.3. Методы неразрушающего контроля роторов (отчет, содержащий описание методов и пояснительную записку с обоснованием их – в 2-х экз.);

7.4. Результаты исследования металла дефектного ротора и его усталостной прочности (отчет в 2-х экз.);

7.5. 1-я и окончательная редакции стандарта организации по повышению эксплуатационной надежности роторов СД и НД паровых турбин, работающих при температуре менее 450°C (две редакции стандарта);

7.6. Обобщение результатов выполненных исследований (отчет в 2-х экз.).

Руководитель работы
Заместитель генерального директора
ОАО «ВТИ»



В.Ф. Резинских

ПРОГРАММА
научно-исследовательской работы: «Исследование причин повреждений валов роторов среднего и низкого давления паровых турбин и разработка мероприятий по повышению их надежности»

№№ этапов	Наименование этапов	Исполнители	Срок проведения, месяцев	Стоимость без учета НДС, тыс. руб.
1.	Анализ статистики повреждений РНД турбин ПТ-135	ВТИ, ТЭС-ЭК, УТЗ	6	1000,0
2.	Исследование напряженного состояния валов роторов среднего и низкого давления	УТЗ, ЛМЗ, ТЭС-ЭК, ХЦКБ, ВТИ	6	4500,0
3.	Расчетные исследования времени живучести РНД турбин ПТ-135	ВТИ	3	1000,0
4.	Разработка методов неразрушающего контроля роторов			
	4.1. УЗК со стороны осевого канала	ИЦ Урала (УралОРГРЭС, УралВТИ), ВТИ, эксперты	6	1500,0
	4.2. Метод акустической эмиссии	ВТИ	6	2000,0
	4.3. Метод вибродиагностики	ВТИ	6	1500,0
	4.4. Поверхностные методы НК	ТЭС-ЭК	3	1000,0
5.	Разрезка ротора с эксплуатационной трещиной и изготовление образцов для исследования металла	ТЭС-ЭК, ВТИ	6	1000,0
6.	Исследование характера излома и свойств металла дефектного ротора	ВТИ	6	3000,0
7.	Исследование усталостной прочности металла дефектного ротора на воздухе и в коррозионной среде	МЭИ	4	1000,0
8.	Разработка нормативного документа по повышению надежности валов роторов паровых турбин, работающих при температуре менее 450°C	ВТИ, УТЗ, ЛМЗ, ТЭС-ЭК,	3	2000,0
9.	Выпуск обобщающего отчета с результатами исследований	ВТИ	1	500,0

Примечание: с учетом возможности одновременного проведения работ по отдельным позициям вся работа может быть выполнена за 18 месяцев.

Руководитель работы
Заместитель генерального директора
ОАО «ВТИ»



В.Ф. Резинских