

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО СЕТИ

ISSN 0201-4564

2014 12

ТЕПЛОВЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Исследование влияния продолжительности периодических продувок на надёжность элементов котлов

Опыт эксплуатации турбин типа Т-100-130 с установленными сотовыми уплотнениями

ЭНЕРГОСИСТЕМЫ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ

Алгоритмы критериев контроля участия энергоблоков ТЭС в нормированном первичном регулировании частоты

Электромагнитные процессы в обмотках трансформатора при действии на него перенапряжений

ЭНЕРГЕТИКИ ОБСУЖДАЮТ

О возможности применения прямоточных систем водоснабжения, используемых в целях охлаждения при проектировании ТЭС и АЭС

ОБМЕН ПРОИЗВОДСТВЕННЫМ ОПЫТОМ

Исследование причин разрушения полимерных изоляционных конструкций ЛК-120/500 и ЛК-160/500

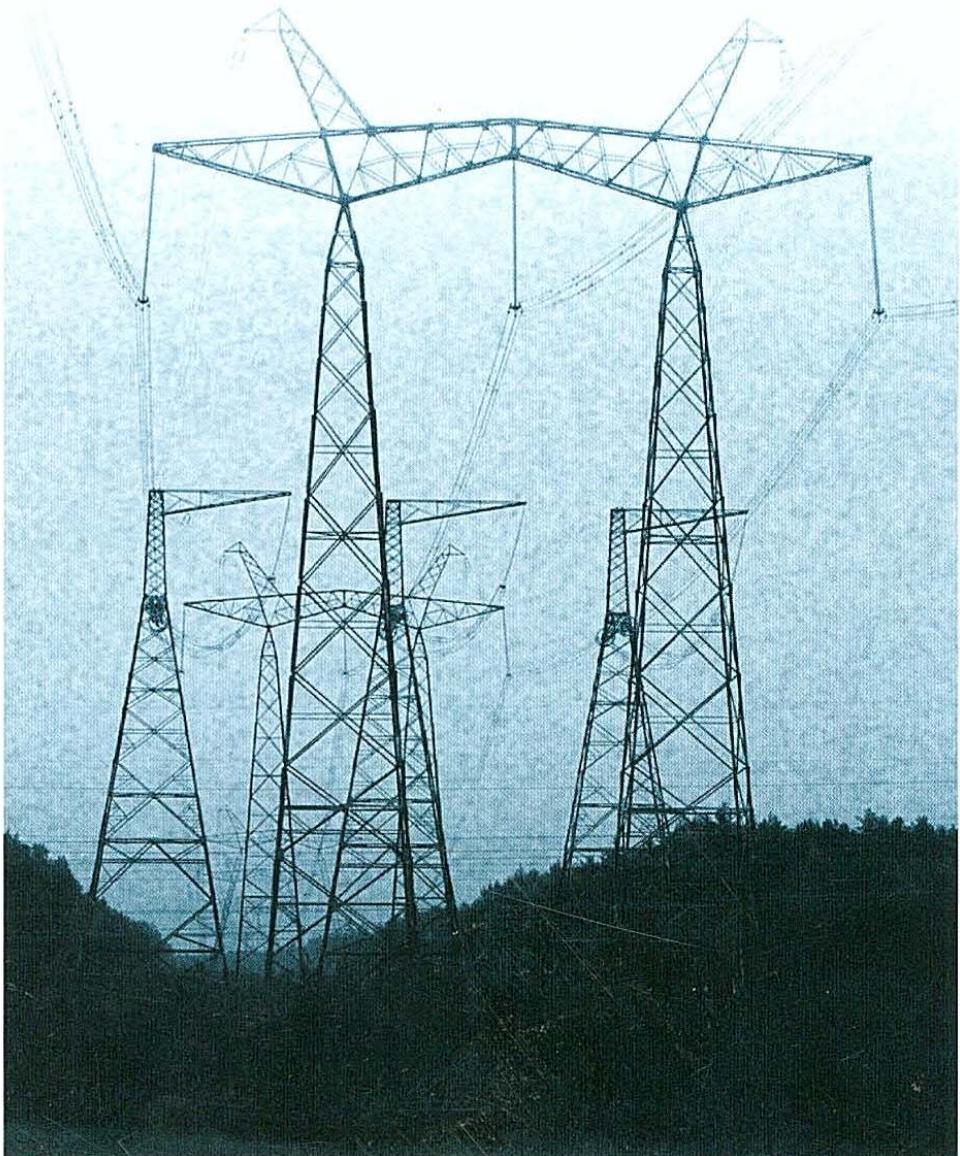
ИСТОРИЧЕСКИЕ ВЕХИ И СЕГОДНЯШНИЙ ДЕНЬ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

ВНИИЭ было бы 70 лет

ХРОНИКА

Новости электротехнических и электроэнергетических компаний

Конференции, выставки, совещания



Опыт эксплуатации турбин типа Т-100-130 с установленными сотовыми уплотнениями

- Сахнин Ю.А., ЗАО “Уральский турбинный завод” (УТЗ), г. Екатеринбург
- Ушинин С.В.¹, канд. техн. наук, ООО НПП “АРМС”, Москва
- Голованов О.А., ООО НПП “АРМС”, Москва

Рассмотрен опыт применения сотовых уплотнений в проточной части турбин типа Т-100-130 производства Уральского турбинного завода. Проанализированы результаты тепловых испытаний по оценке эффективности установки сотовых надбандажных уплотнений в ЦВД турбины Т-110/120-130-4 ст. № 2 ТЭЦ-21 ОАО “Мосэнерго”. Проанализирован характер повреждений надбандажных осерадиальных и сотовых уплотнений из-за попадания инородных предметов. Приведена методика оценки технического состояния и рассмотрен опыт ремонта сотовых уплотнений, получивших повреждения в процессе эксплуатации.

Ключевые слова: паровая турбина, сотовые уплотнения, Т-100-130, тепловые экспресс-испытания, оценка технического состояния, ремонт.

Паровые турбины типа Т-100-130 производятся ЗАО “Уральский турбинный завод” (г. Екатеринбург) и их модификации – одни из самых распространённых теплофикационных паровых турбин на электростанциях России и СНГ. Всего с 1961 г. изготовлено более 240 турбин, производство продолжается и в настоящее время. Показатели тепловой экономичности существенной части эксплуатируемых турбин этого типа не в полной мере соответствуют современным требованиям, что обуславливает возрастающую потребность в их замещении или модернизации.

В последнее десятилетие в отечественной энергетике широкое распространение получили сотовые уплотнения проточных частей турбин. Уплотнения сотовой конструкции на паровых турбинах семейства Т-100-130 устанавливаются с 2003 г. как при проведении модернизации действующих, так и при изготовлении новых турбоагрегатов. В проточной части турбин Т-100-130 применяются надбандажные, концевые и диафрагменные сотовые уплотнения [1, 2]. Они установлены более чем на 40 турбинах данного типа, в том числе на ТЭЦ-8, -12, -21, -22 ОАО “Мосэнерго”, Казанской ТЭЦ-2, Набережночелнинской ТЭЦ, Нижнекамской ТЭЦ, Петрозаводской ТЭЦ и Северной ТЭЦ-21 ОАО “ТГК-1”.

Результаты испытаний турбины Т-110/120-130-4 ст. № 2 ТЭЦ-21 ОАО “Мосэнерго”. В 2013 г. на ТЭЦ-21 ОАО “Мосэнерго” при проведении капитального ремонта паровой турбины Т-110/120-130-4 ст. № 2 выполнена модернизация штатных надбандажных уплотнений цилинд-

ра высокого давления (ЦВД), а также концевых уплотнений цилиндров среднего и низкого давления (ЦСД и ЦНД) с установкой сотовых уплотнений.

Радиальные зазоры в надбандажных сотовых уплотнениях при сборке проточной части установлены в диапазоне 0,3 – 0,7 мм. Турбина введена в эксплуатацию, отклонений рабочих параметров от требований нормативно-технической документации (в том числе по вибрации) не выявлено.

Для определения эффективности установки сотовых надбандажных уплотнений ЦВД проведены тепловые экспресс-испытания по методике, основанной на сравнении опытно-расчётных зависимостей внутреннего относительного коэффициента полезного действия (КПД) ЦВД, полученных на режимах с включёнными и отключёнными подогревателями высокого давления (ПВД), до и после реконструкции [3]. Результаты испытаний показаны на рис. 1.

Сопоставление внутренних относительных КПД ЦВД на режимах с включённой и отключённой регенерацией высокого давления до и после установки надбандажных сотовых уплотнений ЦВД показало, что расхождение их значений изменилось от 1,5% (до реконструкции) до 0,5% (после реконструкции). После установки сотовых уплотнений внутренний относительный КПД ЦВД увеличился во всём диапазоне расхода свежего пара², а его прирост на режимах, близких к номинальному, составил 1,4%, что соответствует увеличению мощности на 0,56 МВт.

Анализ графических зависимостей, приведённых на рис. 1, позволяет сделать заключение о снижении суммарных надбандажных протечек и соответствующем увеличении “плотности” проточной части ЦВД за счёт уменьшения радиальных зазоров, достигаемых при установке сотовых

¹ Ушинин Сергей Владимирович: arms@armstech.ru

² Дополнительные работы, выполненные в проточной части ЦВД в рамках капитального ремонта, также повлияли на изменение внутреннего относительного КПД ЦВД, но незначительно.

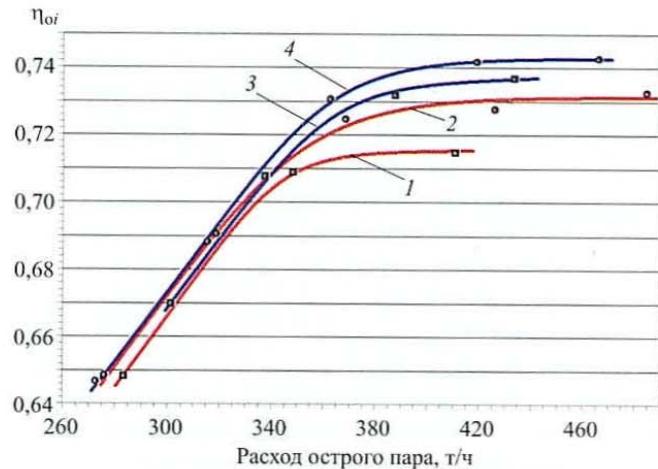


Рис. 1. Изменение внутреннего относительного КПД ЦВД турбины Т-110/120-130-4 ст. № 2 ТЭЦ-21 ОАО “Мосэнерго” до (кривые 1 и 2) и после (кривые 3 и 4) установки сотовых надбандажных уплотнений:

1, 3 – режимы с отключёнными ПВД; 2, 4 – режимы с включёнными ПВД

уплотнений. Результаты испытаний подтвердили теоретически рассчитанное ЗАО “УТЗ” значение увеличения экономичности проточной части с сотовыми надбандажными уплотнениями на 1,0 – 1,3% по сравнению с осерадиальными уплотнениями [1].

По оценке специалистов ОАО “Мосэнерго”, срок окупаемости установки сотовых уплотнений для данного типа турбин составляет не более 2,5 лет.

Сравнительный анализ повреждений надбандажных осерадиальных и сотовых уплотнений. Анализ повреждений элементов проточных частей паровых турбин, полученных в процессе эксплуатации от попадания инородных предметов, показывает, что наибольший ущерб наносится рабочим лопаткам и надбандажным уплотнениям,



a)

при этом величина и характер износа зависят от размера и количества инородных тел, а также от конструкции уплотнения.

В современных осерадиальных надбандажных уплотнениях (с радиальным зазором 0,7 – 1,2 мм) попадание твёрдых инородных предметов размером более 2 мм из-за отсутствия “свободного” зазора в уплотнении приводит к повреждению уплотнительного гребня на роторе, с последующим увеличением количества металла (за счёт истирания гребня) в зазоре надбандажного уплотнения и возможной деформацией бандажа и рабочих лопаток. Уплотнение теряет свою эффективность и работает способность и требует замены.

При использовании сотовых уплотнений вследствие податливости сотоблоков (высота сотоблока составляет 4,0 – 4,5 мм) износ уплотнений имеет иной характер.

При попадании посторонних частиц диаметром до 3 – 5 мм происходит локальное смятие сотоблоков с возможными единичными включениями частиц металла в сотовую поверхность. Уплотнительные гребни на роторе не имеют существенных следов износа. Уплотнение сохраняет свою работоспособность и эффективность.

Крупные инородные предметы диаметром более 6 мм при попадании в уплотнение, взаимодействуя с гребнем вставки и бандажом рабочей лопатки, теряют часть кинетической энергии и измельчаются до размеров 3 – 5 мм, при этом происходит существенная выработка поверхности сотоблоков по всей окружности. Как правило, наиболее повреждённой оказывается первая по ходу пара сотовая дорожка, износ сотовой поверхности носит галтелиобразный характер. Фрагменты, прошедшие через уплотнение и потерявшие свою кинетическую энергию, выпадают из парового пото-



б)

Рис. 2. Повреждения ступеней ЦВД с сотовыми уплотнениями:

а – рабочие лопатки, бандажи и уплотнительные гребни первой ступени; б – сотовые уплотнения одной из ступеней



a)



б)

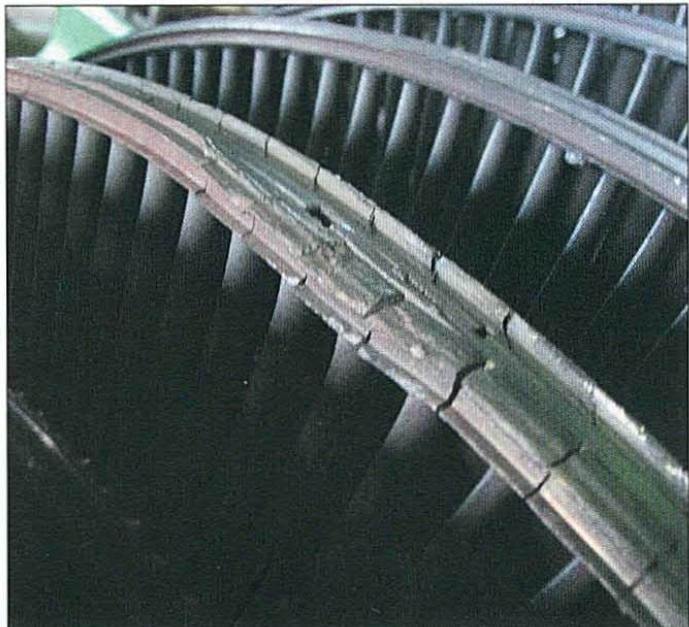
Рис. 3. Металлические инородные предметы, извлечённые при вскрытии ЦВД с сотовыми надбандажными уплотнениями:

а – мелкие фрагменты; *б* – крупный кусок

ка и скапливаются в нижней части цилиндра. При самом негативном развитии событий фиксируется истирание уплотнительных гребней ротора о запрессованный в сотовую поверхность металл. В случае значительного износа сотоблока требуется его восстановление и, при необходимости, ремонт уплотнительных гребней на роторе.

Данное утверждение можно проиллюстрировать на примере пуска турбины типа ПТ-60-130 с установленными сотовыми надбандажными уплотнениями ЦВД и надбандажными металлокерамическими уплотнениями ЦСД. При вводе турбины в эксплуатацию из-за недостаточно качественной очистки подводящих и перепускных паропроводов после монтажа в проточную часть попало большое количество инородных металлических предметов, что отрицательно сказалось на работе турбоагрегата.

При вскрытии турбины на первой ступени ЦВД были отмечены многочисленные повреждения входных кромок лопаток (рис. 2, *а*), а также износ уплотняющих гребней на роторе и сотовой поверхности надбандажных уплотнений (рис. 2, *б*). Далее по ступеням высокого давления уровень повреждений снижался по мере уменьшения размеров пролетающих через лопаточный аппарат частиц и оседания их в статорных узлах проточной части. Инородные предметы извлекались



а)



б)

Рис. 4. Повреждения ступеней ЦСД с осерадиальными уплотнениями от попадания инородных предметов:

а – рабочие лопатки, бандажи и уплотнительные гребни 22-й ступени; *б* – металлокерамические уплотнения 22-й ступени

как в виде отдельных мелких фрагментов (рис. 3, *а*), так и в виде достаточно крупных кусков (рис. 3, *б*) спёкшегося металла (до 98 г из ступени). При ремонте выполнено восстановление сотовых уплотнений восьмой ступени, на остальных ступенях удалены инородные предметы, уплотнения признаны годными к дальнейшей эксплуатации.

Надбандажные уплотнения ЦСД с металлокерамическими вставками получили более серьёзные повреждения (рис. 4): осерадиальные уплотнения, бандажи и рабочие лопатки были деформированы и заменены при ремонте.

Таким образом, сравнительный анализ повреждений показывает, что уплотнения сотовой конст-

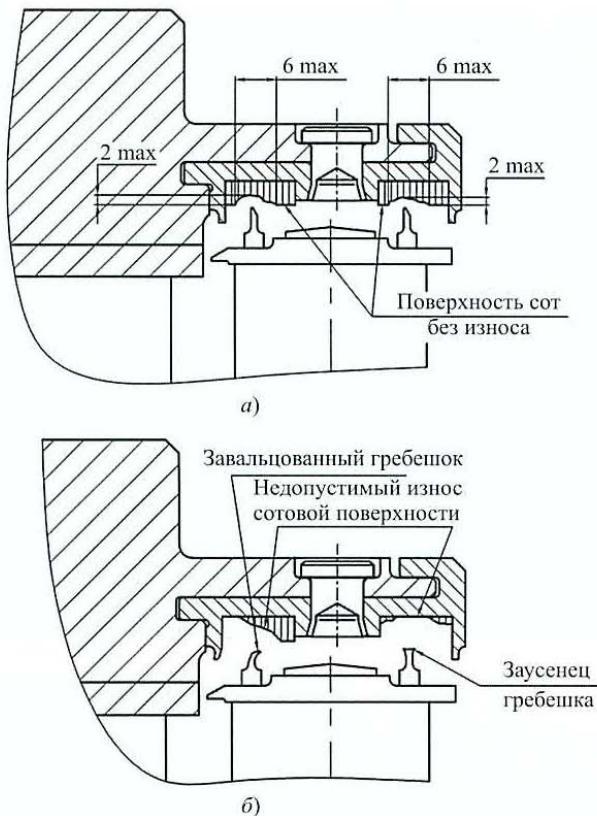


Рис. 5. Параметры износа и повреждения сотовой поверхности:

a – допустимый износ; *б* – недопустимый износ

рукции более стойки к воздействию инородных предметов, попавших в проточную часть. Повреждения носят локальный характер и не влекут за собой развитие аварийной ситуации, связанной с разрушением элементов конструкции проточной части турбины.

Необходимо отметить, что в соответствии с требованиями ПТЭ [4] эксплуатация турбоагрегата с “грязным” паром не допускается.

Технологические аспекты ремонта сотовых уплотнений паровых турбин, находящихся в эксплуатации. На основании большого объема статистических данных, полученных при осмотре проточных частей паровых турбин с установленными сотовыми уплотнениями, разработаны и согласованы с ОАО “Силовые машины” и ЗАО “УТЗ” технические условия, предназначенные для оценки технического состояния после межремонтного периода эксплуатации. На основании регламента делается заключение о необходимости проведения ремонта уплотнений.

На рис. 5 показаны основные параметры, характеризующие допустимый и недопустимый износ сотовой поверхности при дефектации уплотнений.

Как показывает опыт эксплуатации и результаты тепловых испытаний [5], при износе сотовой поверхности в допустимых пределах уплотнения сохраняют свою работоспособность при незначительном снижении экономичности.

В целях оперативного выполнения ремонта освоена технология восстановления сотовой поверхности вставок надбандажных уплотнений, поврежденных в процессе эксплуатации. Работы проводятся в период планового капитального ремонта турбоагрегата на демонтированных вставках, без увеличения общей длительности ремонта.

За период 2010 – 2014 гг. восстановление сотовых уплотнений выполнялось на турбинах ПТ-60/75-130/13 Казанской ТЭЦ-1, Т-110/120-130-4 Петрозаводской ТЭЦ, Т-50-130 Казанской ТЭЦ-2, Т-100/120-130-3 Набережночелнинской ТЭЦ, К-300-240 Ириклинской ГРЭС, ГТУ-8 Минерально-химической компании “ЕвроХим”.

На рис. 6 показаны основные операции по ремонту надбандажных сотовых уплотнений рядов I и II регулирующей ступени ЦВД паровой турбины Т-110/120-130-4, поврежденных при попадании инородных предметов в проточную часть турбины. До проведения пайки сот выполнены следующие подготовительные работы:

проточка обоймы направляющего аппарата в сборе с сотовыми вставками для удаления всех сотовых блоков, инородного металла с поверхности сотовых вставок, поврежденных участков уплотнительных гребней сотовых вставок;

демонтаж вставок уплотнений из обоймы регулирующей ступени;

полная тщательная очистка вставок от окалины, нагара и солевых отложений;

контроль основного металла вставок неразрушающими методами на отсутствие трещин.

Восстановление сотовой поверхности проведено в заводских условиях в течение 10 дней, вставки с комплектом нового крепежа возвращены заказчику и установлены в проточную часть турбины, замечаний по качеству ремонта нет.

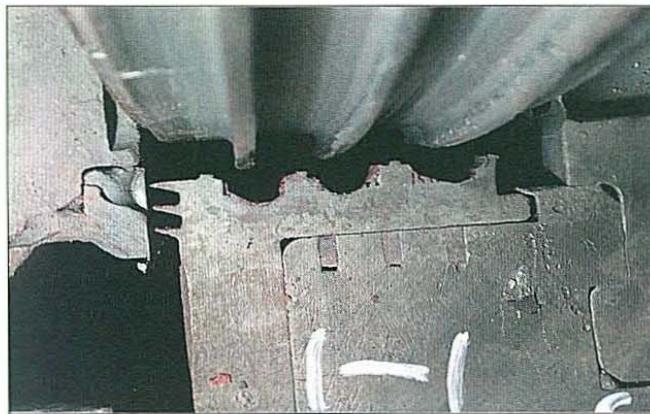
Аналогично выполняется ремонт сотовых надбандажных уплотнений, устанавливаемых в козырьках диафрагм, внутреннем цилиндре или обоймах.

Выходы

1. Результатами тепловых испытаний подтверждены теоретические расчеты ЗАО “УТЗ” по эффективности внедрения сотовых надбандажных уплотнений ступеней 1 – 9 ЦВД на турбины типа Т-110/120-130-4.

2. Проанализирован характер повреждений современных типов надбандажных уплотнений, возникающих от попадания инородных предметов.

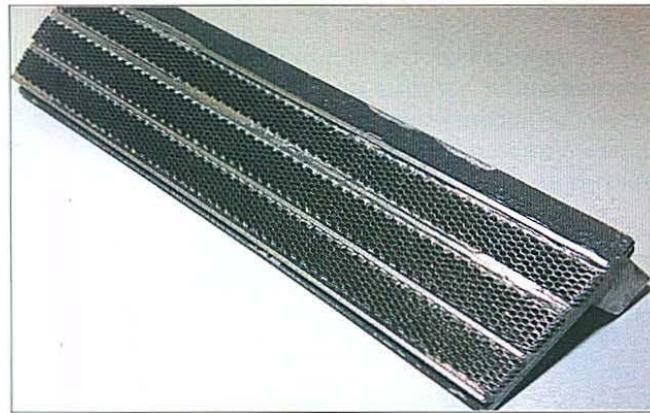
3. Показано, что при вводе в эксплуатацию турбин с современными типами надбандажных уплотнений после монтажа или ремонта необходимо уделять более существенное внимание чи-



a)



b)



c)



d)

Рис. 6. Ремонт вставок надбандажных уплотнений регулирующей ступени паровой турбины Т-110/120-130-4:

а – надбандажные уплотнения со следами износа сотовой поверхности до основного металла вставки и повреждениями гребней бандажа рабочих лопаток; *б* – вставки надбандажного уплотнения после удаления остатков сотовой поверхности и подготовки для пайки новых сотоблоков; *в* – вставка надбандажного уплотнения после припайки новых сотоблоков; *г* – восстановленные сотовые вставки надбандажного уплотнения, установленные в проточную часть

тоте паропроводов и проточной части и не допускать эксплуатацию турбины с “грязным” паром.

4. Разработаны и освоены ремонтные технологии по восстановлению сотовых уплотнений паровых турбин. Работы выполняются в период проведения капитального ремонта турбины без увеличения его продолжительности.

Список литературы

1. Паровые турбины и турбоустановки Уральского турбинного завода / Баринберг Г. Д., Бродов Ю. М., Гольдберг А. А., Иоффе Л. С., Кортенко В. В., Новосёлов В. Б., Сахнин Ю. А. Екатеринбург: Априо, 2010.

2. Ушинин С. В. Опыт внедрения сотовых уплотнений в паровых турбинах. – Электрические станции, 2009, № 10.
3. РД 34.20.581-96. Методика оценки технического состояния паротурбинных установок до и после ремонта и в период между ремонтами (утверждена департаментом науки и техники РАО “ЕЭС России” 30.12.1996 г.).
4. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации. М.: СПО ОРГРЭС, 2003.
5. Сахаров А. М., Коновалов В. К., Ушинин С. В. Результаты промышленного внедрения сотовых надбандажных уплотнений на турбоагрегатах мощностью 300 МВт. – Электрические станции, 2010, № 2.