

ТЕПЛОВЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Применение технологии ЦКС для крупных энергетических блоков и улавливания CO_2

Теоретический анализ и основные закономерности работы центробежных режущих дробилок

Методика оценки и прогнозирования остаточного ресурса трубных систем конденсаторов паротурбинных установок ТЭС

Результаты промышленного внедрения сотовых надбандажных уплотнений на турбоагрегатах мощностью 300 МВт

Исследование режимов работы вакуумных деаэраторов сетевой воды Самарской ТЭЦ и их реконструкция

ЭНЕРГОСИСТЕМЫ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ

Анализ совокупности требований к релейной защите с целью оценки её эффективности

Влияние режимов работы ОРУ ВН ГЭС на перенапряжения в системе генераторного напряжения

О НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

О нормативно-технической документации по оценке технического состояния турбогенераторов

РАБОТЫ МОЛОДЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ

Разработка требований химической безопасности для установок по очистке дымовых газов от оксидов серы

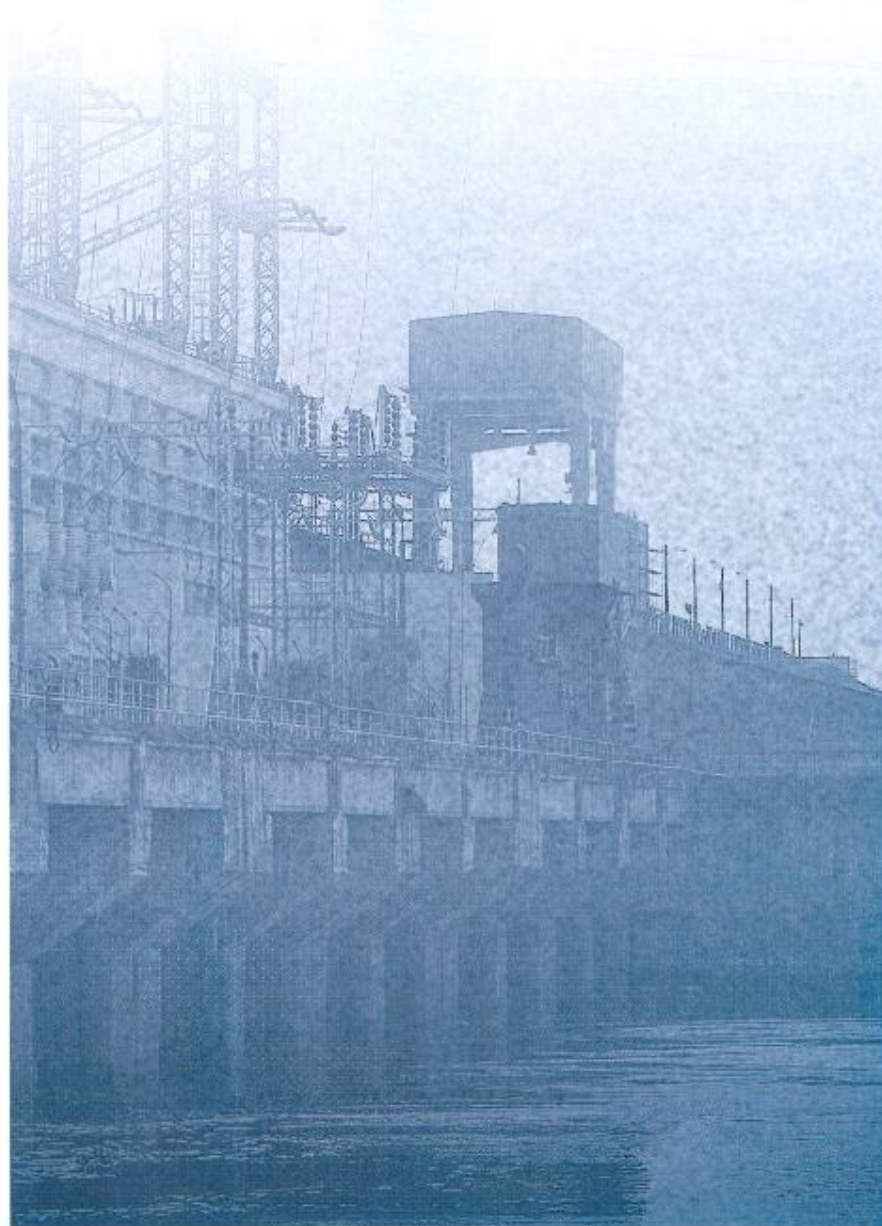
ХРОНИКА

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ

ISSN 0201-4564

2010 2



ЭНЕРГОПРОГРЕСС

Результаты промышленного внедрения сотовых надбандажных уплотнений на турбоагрегатах мощностью 300 МВт

- Сахаров А. М., Филиал ОАО "Инженерный центр ЕЭС" – "Фирма ОРГРЭС"
- Коновалов В. К., Филиал ОАО "ОГК-1" – Каширская ГРЭС
- Ушинин С. В.¹, НПП "АРМС"

Проанализированы результаты промышленного внедрения сотовых надбандажных уплотнений на турбоагрегатах типа К-300-240. Приведены конструктивные решения по оснащению проточных частей ЦВД указанных турбин надбандажными сотовыми уплотнениями. Рассмотрена эффективность работы сотовых уплотнений на основе результатов тепловых испытаний, выполненных в течение межремонтного периода эксплуатации. Приведены практические примеры работы турбоагрегата К-300-240 с установленными в ЦВД сотовыми надбандажными уплотнениями.

Ключевые слова: сотовые надбандажные уплотнения, цилиндр высокого давления, проточная часть, радиальные зазоры, паровая турбина, модернизация, тепловые испытания, относительный внутренний КПД.

Сотовые надбандажные уплотнения впервые в отечественной практике были установлены на турбоагрегатах К-300-240 производства Ленинградского металлического завода на Каширской ГРЭС ст. № 4 и Черепетской ГРЭС ст. № 6 во время проведения капитальных ремонтов в 2004 г. Решение об их установке было принято после нескольких лет успешной эксплуатации на турбинах типов ПТ-60/75-130/13, Т-100-130, Р-40-130 на электростанциях ОАО "Башкирэнерго" и ОАО "Мосэнерго" [1–3].

Указанные турбины К-300-240 конструктивно имели различные проточные части ЦВД [4], поэтому и технические решения при их оснащении сотовыми надбандажными уплотнениями были разными.

Для турбоагрегата Черепетской ГРЭС за основу была принята конструкция рис. 1, апробированная на турбинах ПТ-60, Т-100, для турбоагрегата

Каширской ГРЭС была использована вновь разработанная конструкция, показанная на рис. 2.

В первом случае доработка проточной части включала в себя следующие операции:

- проточку козырьков диафрагм ЦВД;
- установку сотовых вставок с их последующим закреплением штифтами;
- наварку (восстановление) гребешков ротора;
- финишную проточку диафрагм с сотовыми вставками в чистовой размер;
- контрольную сборку проточной части.

Во втором случае доработка повторяла описанные операции, за исключением того, что расточке подвергался внутренний цилиндр высокого давления и обоймы диафрагм. На рис. 3, 4 показаны операции проточки на карусельном станке внутреннего цилиндра ЦВД и обоймы диафрагм, выполненные в условиях Центрального ремонтно-ме-

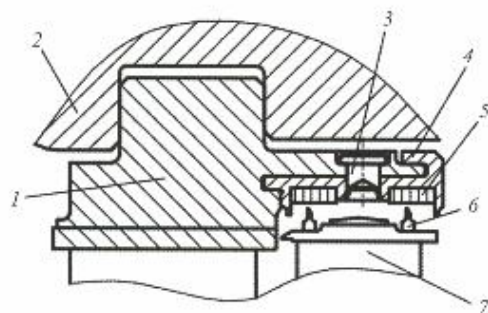


Рис. 1. Конструкция надбандажных сотовых уплотнений, применяемая в козырьках диафрагм:

1 – диафрагма; 2 – обойма; 3 – штифт; 4 – сотовая вставка; 5 – сотоблок; 6 – гребешок ротора; 7 – рабочая лопатка

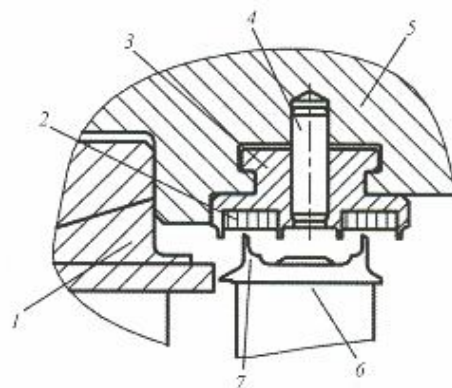


Рис. 2. Конструкция надбандажных сотовых уплотнений, применяемая в обоймах и внутреннем цилиндре:

1 – диафрагма; 2 – сотоблок; 3 – сотовая вставка; 4 – штифт; 5 – обойма; 6 – рабочая лопатка; 7 – гребешок ротора



Рис. 3. Доработка внутреннего цилиндра ЦВД



Рис. 4. Доработка обоймы диафрагм ЦВД

ханического завода – филиала ОАО “Мосэнерго” – в 2004 г.

Сотовые надбандажные уплотнения на обоих турбоагрегатах были установлены с третьей по 12 ступень ЦВД.

Турбина К-300-240 ст. № 4 Каширской ГРЭС с момента установки надбандажных сотовых уплотнений имела сложный график нагрузки и фактически эксплуатировалась в режиме “дневной макси-

мум – ночной минимум”, что показано на рис. 5 (выборка за июнь 2006 г.); при этом за весь пятилетний период работы не было отмечено отклонений от норм и требований ПТЭ [5].

В таблице приведены статистические данные по изменению виброскорости на подшипниках турбоагрегата, соответствующие указанному на рис. 5 графику изменения нагрузки.

Измерение вибрационного состояния турбоагрегата К-300-240 ст. № 4 Каширской ГРЭС в 2006 г.

Подшипник	Составляющая	Виброскорость, мм/с										
		1/VI	2/VI	3/VI	4/VI	5/VI	6/VI	7/VI	8/VI	9/VI	10/VI	11/VI
№ 1	В	1,2/1,2	1,2/1,2	1,3/1,2	1,3/1,2	1,2/1,3	1,4/1,6	1,1/1,0	1,3/1,2	1,1/1,3	1,2/1,3	1,3
	П	1,2/1,3	1,3/1,3	1,6/1,5	1,3/1,2	1,3/1,2	1,4/1,5	1,3/1,3	1,3/1,3	1,3/1,6	1,5/1,6	1,7
	О	1,8/1,9	1,8/1,8	1,8/1,8	1,7/1,8	1,6/1,3	1,7/1,9	1,7/0,7	0,8/0,9	0,8/1,0	0,6/0,8	1,0
№ 2	В	1,4/1,7	1,5/1,3	1,1/1,2	1,5/1,5	1,5/1,6	1,4/1,8	1,6/1,7	1,3/1,3	1,4/1,5	1,5/1,5	1,7
	П	1,2/1,5	1,3/1,2	1,4/1,4	1,3/1,8	1,7/1,2	1,5/2,0	1,2/1,2	1,2/1,5	1,1/1,5	1,6/1,8	2,1
	О	1,4/1,4	1,4/1,4	1,3/1,4	1,2/1,3	1,1/0,8	1,1/1,3	1,3/1,2	1,3/1,4	1,3/0,5	0,4/0,3	0,5
№ 3	В	1,0/0,6	0,5/0,4	0,4/0,4	0,9/0,3	0,4/1,0	0,5/1,0	0,6/0,7	0,9/0,5	0,4/0,4	0,5/0,5	0,7
	П	1,1/1,1	1,2/1,2	1,2/1,2	1,2/1,0	1,2/1,0	1,4/1,2	1,2/1,4	1,3/1,1	1,4/1,2	1,3/1,1	1,1
	О	2,7/2,8	1,9/1,9	2,7/2,7	2,6/2,5	1,3/2,3	0,8/2,7	2,4/1,0	2,5/2,8	1,8/2,7	1,4/2,5	2,7
№ 4	В	2,2/2,2	1,8/2,0	2,4/2,4	1,5/2,1	1,7/1,9	1,7/1,8	2,1/1,3	1,7/2,2	2,0/2,3	1,6/2,2	2,1
	П	0,5/0,4	0,4/0,4	0,4/0,5	0,7/0,7	0,5/0,7	0,4/0,7	0,4/0,8	0,7/0,7	0,4/0,7	0,7/0,7	0,7
	О	2,9/3,1	2,2/2,2	3,0/3,0	2,8/2,8	1,6/2,5	1,3/3,0	2,8/1,3	2,8/3,1	2,2/3,0	1,7/2,7	3,0
№ 5	В	1,3/1,6	1,5/1,6	1,5/1,4	0,8/1,1	1,5/0,9	1,4/0,8	1,5/1,4	1,0/1,2	1,4/1,3	1,4/1,2	1,1
	П	0,4/0,4	0,5/0,5	0,3/0,3	0,7/0,3	0,8/0,4	1,1/0,4	0,6/0,4	0,7/0,3	0,5/0,4	0,4/0,3	0,3
	О	2,3/2,3	2,6/2,8	1,8/1,8	1,2/1,4	2,8/1,7	2,5/1,6	2,8/2,6	1,3/2,0	2,3/2,0	3,0/1,7	1,6

Примечания: 1. В, П, О – соответственно вертикальная, поперечная и осевая составляющая виброскорости. 2. В числителе приведены значения виброскорости в 2 ч 00 мин, в знаменателе – в 14 ч 00 мин. 3. Значения виброскорости 11/VI приведены в 11 ч 59 мин.

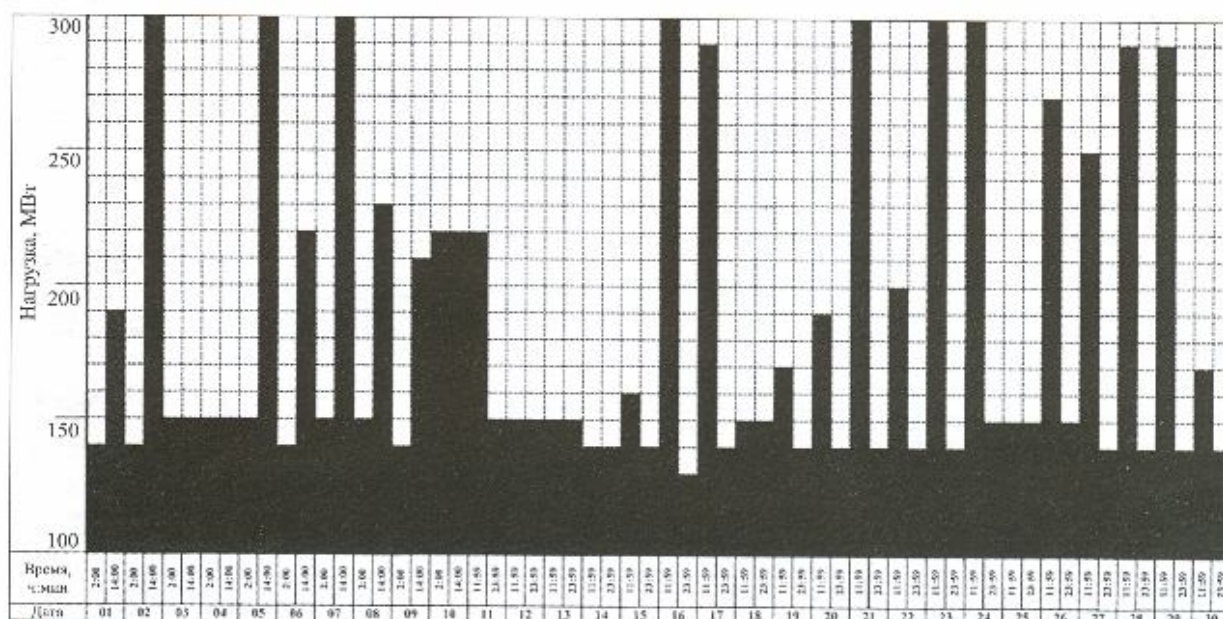


Рис. 5. График электрической нагрузки турбоагрегата К-300-240 ст. № 4 Каширской ГРЭС (июнь 2006 г.)

О состоянии ЦВД турбины до и после капитального ремонта можно судить по формулярам зазоров и актам о проведённых работах, выполненных ремонтной организацией. Отмечено, что никаких дополнительных работ, кроме установки сотовых уплотнений, способных повлиять на экономичность ЦВД, не проводилось.

При установке сотовых уплотнений были назначены радиальные зазоры в среднем на 3 мм меньше, чем при применении традиционных осердиальных уплотнений.

В конечном счёте уменьшение радиальных зазоров обеспечило более высокую экономичность цилиндра высокого давления без снижения надёжности и безопасности эксплуатации. В дальнейшем опыт применения сотовых уплотнений с назначением минимальных радиальных зазоров был использован при модернизации турбоагрегатов К-300, в том числе и с реактивным облучиванием.

В период с 2005 по 2009 г. были модернизированы блоки № 3 (ЦВД и ЦСД) и № 2 (только ЦСД) Каширской ГРЭС с установкой сотовых уплотнений со второй по 12 ступень ЦВД и с 14 по 16 ступень ЦСД, а также цилиндры высокого давления со второй по 12 ступень блоков № 2, 7 и 1 Ириклинской ГРЭС (ОГК-1).

По итогам опытно-промышленной эксплуатации подобные технические решения были применены при модернизации турбины К-300-240-МР с реактивным облоачиванием производства ОАО “Силовые машины”, в том числе на Конаковской ГРЭС (ОГК-5) – три турбоагрегата и на Лукомльской ГРЭС (Республика Беларусь) – один турбоагрегат. На данном типе турбин содовые уплотнения устанавливались со второй по 20 ступень ЦВД вместо традиционно применяемых осерадиальных уплотнений, изготовленных из материала Х6.

Таким образом, в различных энергосистемах в настоящее время эксплуатируется 11 паровых турбин К-300 с установленными сотовыми надбандажными уплотнениями. Кроме этого, в 2010 г. планируется установка таких уплотнений ещё на двух турбоагрегатах К-300-240 Ириклинской ГРЭС (ОГК-1).

Наряду с внедрением технических решений, обеспечивающих надёжную и безопасную работу турбоагрегата, не менее актуальной является оценка их эффективности с точки зрения повышения экономичности блока и сроков его окупаемости.

С целью определения эффективности модернизации проточной части ЦВД надбандажными сотовыми уплотнениями, а также оценки стабильности характеристик в процессе межремонтного периода эксплуатации специалистами ОАО "Фирма ОРГРЭС" были проведены тепловые испытания блока К-300-240 ст. № 4 на Каширской ГРЭС. Первый и второй этапы испытаний были выполнены в 2004 г. (март – август) – до и после установки сотовых уплотнений, третий этап – в 2009 г. (ноябрь), через 5 лет эксплуатации. Турбина на момент проведения второго этапа испытаний после установки сотовых надбандажных уплотнений имела наработку 190 443 ч, на момент проведения третьего этапа – 226 875 ч; таким образом, эксплуатация турбины с сотовыми уплотнениями составила 36 432 ч.

Целью испытаний первого и второго этапов являлось определение единовременного (разового) эффекта от замены осерадиальных надбандажных уплотнений ЦВД сотовыми.

На третьем этапе определялся фактор стабильности достигнутых значений относительного внутреннего КПД ЦВД через 5 лет эксплуатации

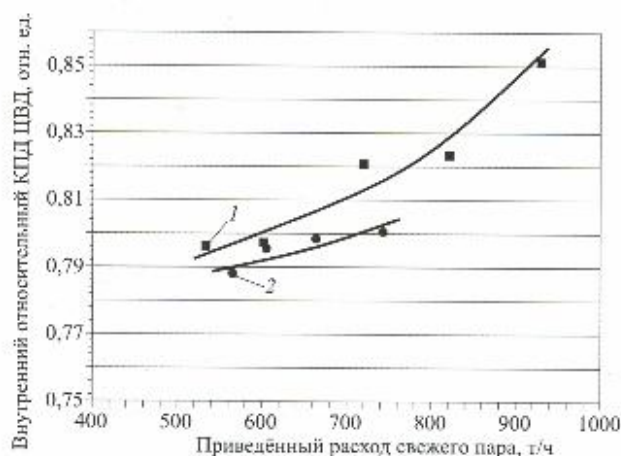


Рис. 7. Изменение внутреннего относительного КПД ЦВД турбины К-300-240 ст. № 4 Каширской ГРЭС до установки сотовых уплотнений (этап испытаний):

1, 2 – соответственно режим с включёнными и отключёнными ПВД; расход свежего пара приведён к нормальным условиям: давлению 101,325 кПа и температуре 0°C

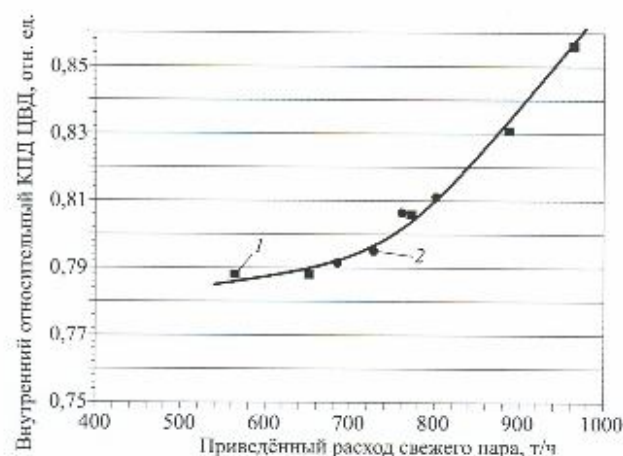


Рис. 8. Изменение внутреннего относительного КПД ЦВД турбины К-300-240 ст. № 4 Каширской ГРЭС после установки сотовых уплотнений (второй этап испытаний):

обозначения см. рис. 7

ратуры) в опытах с включёнными и отключёнными ПВД можно судить о величине суммарных протечек через надбандажные уплотнения, т.е. об их эффективности.

Предложенный способ оценки эффективности сотовых уплотнений, в отличие, например, от метода непосредственного сравнения абсолютных значений внутреннего относительного КПД ЦВД между этапами, имеет ряд важных преимуществ, основные из которых следующие:

практически исключается влияние накопленной метрологической погрешности ввиду применения одних и тех же средств измерения, характеристики которых могли измениться как во время проведения капитального ремонта, так и в течение межремонтного периода эксплуатации (например, изменение погрешности измерения температуры пара за ЦВД, определяемой по штатным каналам измерений, всего на 1°C приводит к увеличению погрешности определения КПД цилиндра примерно на 0,5%);

исключаются прочие факторы, способные повлиять на экономичность цилиндра (солевой нанос, износ соплового или лопаточного аппарата и др.), кроме изменения протечек пара.

Расчёты и проведённый анализ показали, что расхождение значений относительного внутреннего КПД ЦВД в опытах с включённой и отключённой регенерацией до реконструкции (первый этап) составляет от 1,0 до 1,5%, в то время как в опыте после реконструкции (второй этап) оно близко к нулю (рис. 7, 8).

Таким образом, убедительно доказано, что установка сотовых уплотнений обеспечивает уменьшение протечек пара в надбандажных уплотнениях ЦВД.

Целью третьего этапа испытаний являлась оценка стабильности характеристик ранее полученного эффекта. Аналогично первым двум этапам, в третьем был также принят метод сравнения значений внутреннего относительного КПД ЦВД в опытах с включённой и отключённой регенерацией. В третьем этапе испытаний были полностью повторены режимы работы турбоагрегата на первом и втором этапах.

Анализ результатов третьего этапа и их сравнение с результатами, полученными ранее, позволяют сделать вывод о том, что расхождения значений относительного внутреннего КПД ЦВД в опытах с включёнными ПВД и без них практически нет, а следовательно, суммарная протечка через надбандажные уплотнения осталась практически неизменной, что подтверждает стабильность характеристик сотовых надбандажных уплотнений в

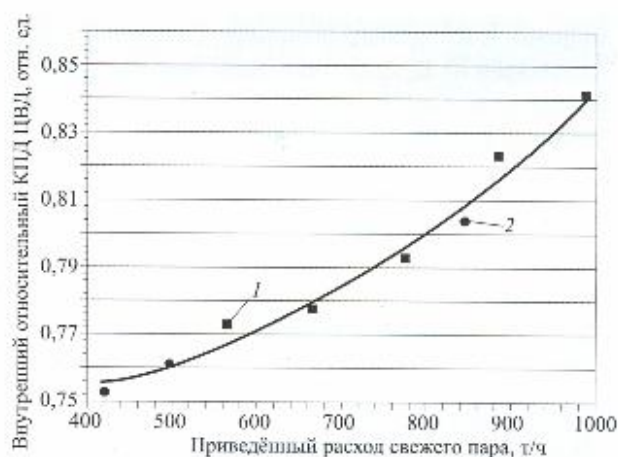


Рис. 9. Изменение внутреннего относительного КПД ЦВД турбины К-300-240 ст. № 4 Каширской ГРЭС с сотовыми уплотнениями после 5 лет эксплуатации (третий этап испытаний):

обозначения см. рис. 7

течение пятилетнего межремонтного периода (рис. 9).

Вместе с тем зафиксировано незначительное снижение КПД ЦВД в течение межремонтного периода на 1,5–2%, причинами которого могли стать, например, солевой занос проточной части или другие обстоятельства, но не увеличение протечек через надбандажные сотовые уплотнения.

Анализ экономических показателей турбины, выполненный специалистами Каширской ГРЭС, позволил сделать следующий вывод: годовой экономический эффект от внедрения за 2005 г. (наработка турбины 5958 ч, $N_{\text{ср}} = 217$ МВт) составил 5 млн. руб., срок окупаемости установки сотовых надбандажных уплотнений 8–10 мес.

Выводы

1. Установка сотовых надбандажных уплотнений в ЦВД турбоагрегатов на сверхкритические параметры пара:

повышает относительный внутренний КПД цилиндра на 1–1,5%, что эквивалентно увеличению мощности на 1–1,2 МВт на номинальном режиме;

обеспечивает работоспособность в соответствии с требованиями норм ПТЭ, в том числе по вибрационному состоянию;

позволяет сохранять стабильными характеристики проточной части с точки зрения минимизации надбандажных протечек в течение межре-

монтного срока – не менее 5 лет эксплуатации турбоагрегата;

является энергоэффективным малозатратным мероприятием, позволяющим обеспечить окупаемость их установки для турбин К-300 в течение 10–12 мес.

2. Положительный опыт эксплуатации сотовых надбандажных уплотнений на турбинах К-300-240 на сверхкритические параметры пара позволяет рекомендовать их к установке на турбоагрегаты Т-250/300-240, а также на паровые турбины типа К-500 и К-800.

Список литературы

1. Применение сотовых уплотнений на турбинах / Салихов А. А., Юшка М. П., Ушин С. В. и др. – Электрические станции, 2005, № 6.
2. Первые результаты использования систем уплотнений сотовой конструкции взамен уплотнений традиционного типа в паровых турбинах ТЭЦ № 16 и 23 ОАО "Мосэнерго" / Сахаров А. М., Ушин С. В., Малютин Ю. П., Лукин И. А. – Энергосбережение и водоподготовка, 2005, № 2.
3. Ушин С. В. Опыт внедрения сотовых уплотнений в паровых турбинах. – Электрические станции, 2009, № 10.
4. Трухний А. Д., Лосев С. М. Стационарные паровые турбины. М.: Энергоиздат, 1981.
5. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации (издание официальное). М.: Производственная служба передового опыта эксплуатации энергопредприятий ОРГРЭС, 2003.
6. Сахаров А. М. Тепловые испытания турбин. М.: Энергоиздат, 1990.