

количестве рециркулирующих газов. Подача газов рециркуляции при нестехиометрическом сжигании мазута увеличивает подавление оксидов азота при отклонении режимов нестехиометрического сжигания от оптимальных.

Организация ввода газов рециркуляции при нестехиометрическом сжигании газа и мазута, естественно, несколько увеличивает химический недожог топлива по сравнению с простым режимом нестехиометрического сжигания. В то же время это увеличение не является значительным, в пределах $q_3 < 0,15 \%$, за счет реализации качественно перемешивания в топочной камере.

Литература

1. Росляков П.В. Разработка теоретических основ образования оксидов азота при сжигании органических топлив и путей снижения их выхода в котлах и энергетических установках. – М., 1993.
2. Развитие технологий подготовки и сжигания топлива на электростанциях // Сб. науч. статей / Под ред. А.Г. Тумановского, В.Р. Котлера. – М.: ВТИ, 1996.
3. Разработка, анализ и реализация методов подавления выбросов оксидов азота с продуктами сгорания тепловых электростанций на природном газе: Отчет по теме «Подавление выбросов оксидов азота при высокотемпературном сжигании топлив»: Отчет о НИР / ИВТАН; Руководитель В.М. Масленников. Г. р. ЖП 860003936. – М., 1986.

УДК 621.165.004.67

МЕРОПРИЯТИЯ, ПРЕДЛАГАЕМЫЕ СЕРВИСНОЙ СЛУЖБОЙ УРАЛЬСКОГО ТУРБИННОГО ЗАВОДА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭКОНОМИЧНОСТИ РАБОТЫ ПАРОВЫХ ТУРБИН

Будько Е.М., Воробьева А.С., Стессель Е.А.

Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент КАЧАН С.А.

Рассмотрим некоторые направления реконструкции и модернизации паровых турбин, предлагаемые Уральским турбинным заводом (УТЗ).

Модернизация проточной части турбины с внедрением осерадиальных надбандажных и сотовых уплотнений. Надбандажные уплотнения радиального типа заменяются осерадиальными уплотнениями, которые состоят (рисунок 1) из двух уплотняющих гребней на бандаже рабочих лопаток и двух пар гребней, закрепленных на козырьке диафрагмы. При этом аксиальные зазоры между гребнями статора превышают диапазон относительных расширений (укорочений) ротора, что исключает аксиальные задевания гребней бандажа о гребни диафрагмы; увеличение радиального зазора над гребнями бандажа лопаток исключает радиальные задевания. Таким образом, полно-

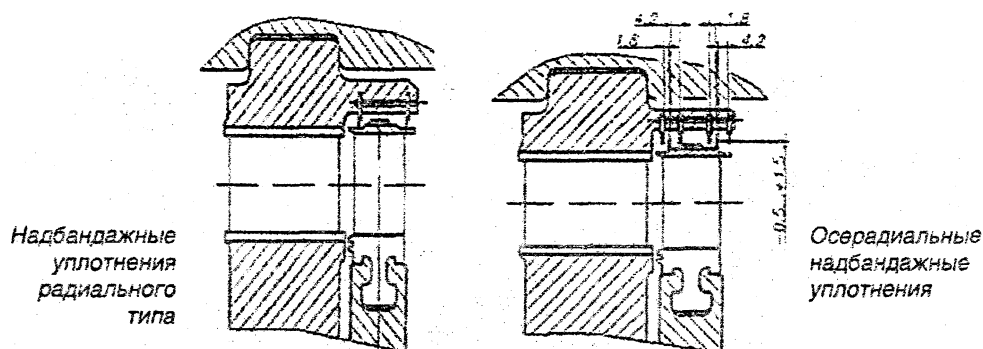


Рис. 1. Реконструкция надбандажных уплотнений

стью исключается износ уплотнений. За счет поворота потока пара между гребнями (усиками) в каждом элементарном лабиринте, коэффициент расхода через уплотнение снижается с $\mu = 0,82$ (для уплотнений радиального типа) до $\mu = 0,3$. Пониженный коэффициент расхода пара и отсутствие износа уплотнительных усиков обеспечивают высокую эксплуатационную экономичность, как отдельных ступеней, так и турбины в целом.

Сотовыми называются уплотнения, имеющие на одной из поверхностей сотовую «дорожку», то есть ряды перегородок, образующих по окружности массив однородных замкнутых ячеек. Изготавливаются они из жаростойкой хромоникелевой фольги толщиной 0,05 мм и припаиваются к вставкам – сотоблокам, из которых набирается кольцо для последующей установки в диафрагму или обойму.

Применение сотовых уплотнений позволяет в несколько раз уменьшить радиальный зазор и довести его практически до минимума (рисунок 2). Существует возможность установки сотовых уплотнений без зазора или даже с некоторым натягом, тогда зазор определяется «притиркой» при первом развороте турбоагрегата.

Модернизация надбандажных уплотнений обеспечивает повышение КПД проточной части на 1,5–2 %, а применение сотовых уплотнений может обеспечить прирост среднеинтегрального КПД турбины до 2,5–3 %.

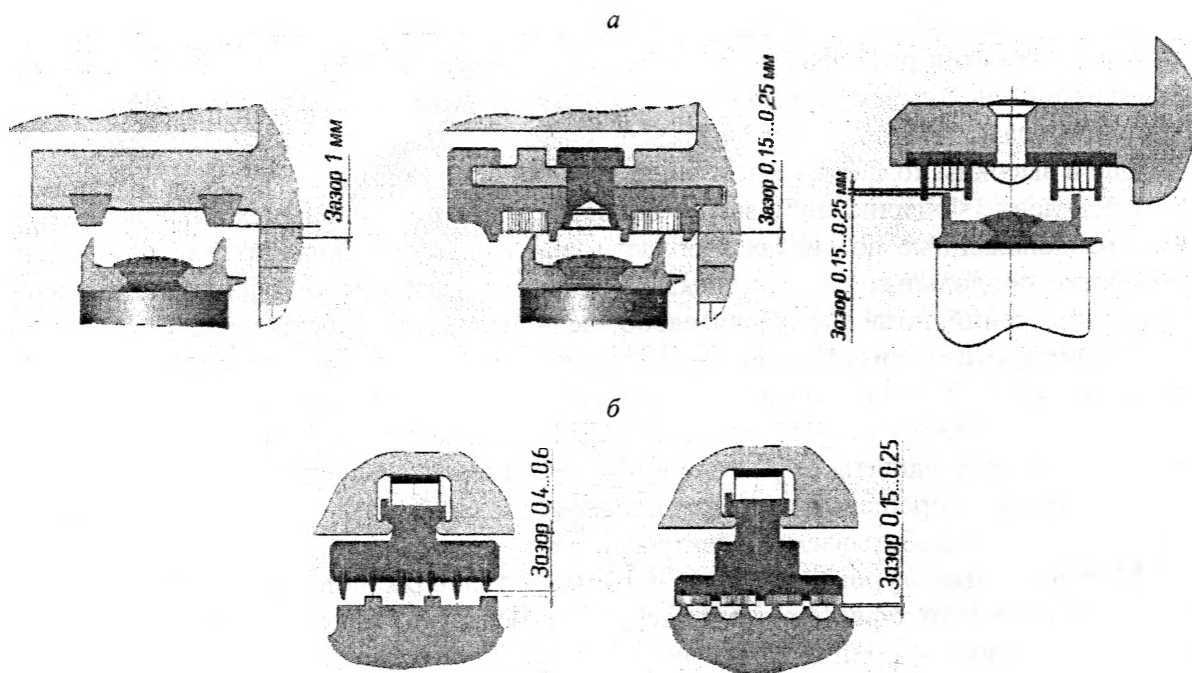


Рис. 2. Сотовые уплотнения до и после модернизации:
а – надбандажные; б – концевые и диафрагменные

Повышение надежности насадных дисков и лопаток, эксплуатирующихся в зоне фазового перехода. Ступени проточной части среднего давления паровых турбин подвергаются негативному воздействию коррозионно-активных агентов паровой среды в зоне фазового перехода, поэтому основной причиной развития дефектов насадных дисков, а также рабочих частей и хвостовиков лопаток является коррозионно-усталостная повреждаемость и коррозионное растрескивание под напряжением.

Основной целью предлагаемой модернизации насадных дисков и лопаток является значительное повышение надежности и увеличение срока эксплуатации изделий за счет повышения прочностных характеристик серийно выпускающихся дисков и лопаток без изменения их конструкции.

Насадные диски подвергаются поверхностному упрочнению путем механической накатки (фретированию). В результате пластического деформирования в поверхностном слое создаются значительные остаточные напряжения сжатия. В процессе работы диска эти напряжения частично компенсируют влияние растягивающих напряжений, возникающих под воздействием центробежных сил, и общий уровень растягивающих рабочих напряжений в поверхностном слое значительно уменьшается.

После окончательной механической обработки диска упрочняются галтели его ступицы, «полотна», пароразгрузочные отверстия и обод. Для ступеней с Т-образными пазами под хвостовики лопаток дополнительно производится упрочнение («выглаживание») радиусных переходов в пазах.

Снижение интенсивности коррозионного растрескивания модернизированных дисков не менее чем в 2 раза по сравнению с немодернизированными.

Для повышения коррозионной стойкости лопаток на их рабочую часть наносится защитное покрытие по специальной вакуумной технологии, которое обеспечивает повышение предела выносливости изделия в коррозионно-активной среде не менее чем в 4 раза по сравнению с незащищенной лопаткой. Защитное покрытие не изменяет геометрических и вибрационных характеристик рабочих лопаток.

Грибовидные и Т-образные хвостовики рабочих лопаток подвергаются дробеструйному упрочнению в зонах концентрации напряжений. Поверхностное упрочнение хвостовиков повышает их сопротивление усталости более чем в 2 раза.

Модернизация роторов среднего давления с заменой продольных шпонок на торцевые. В большинстве случаев трещины в дисках возникают в области продольного шпоночного паза, что объясняется большим уровнем растягивающих напряжений в этой зоне и высоким коэффициентом концентрации напряжений.

Проведение модернизации, заключающейся в замене продольных шпонок на торцевые, расположенные на дисках в области сравнительно небольших напряжений, и дообработке продольных пазов в дисках с целью уменьшения коэффициента концентрации напряжений, позволяет значительно увеличить ресурс работы дисков.

Реконструкция системы автоматического регулирования и защиты (САР). Реконструкция САР в электрогидравлическую за счет внедрения микропроцессорной системы регулирования частоты вращения, электрической мощности, давлений в отопительных отборах, защиты от разгона и недопустимого повышения давления в отопительных отборах; упрощения гидравлической части САР, позволяет повысить надежность и качество вырабатываемой электроэнергии.

Модернизация турбин типа ПТ-60-130. В условиях пониженных производственных нагрузок (что характерно для энергетики Беларуси) максимальный расход свежего пара на голову турбин типа ПТ лимитируется пропускной способностью цилиндра низкого давления (ЦНД). Реконструкция турбины ПТ-60-130 позволяет увеличить пропускную способность ЦНД до 330 т/ч (при сохранении давления в производственном отборе 13 ата) за счет модернизации проточной части среднего давления и регулирующих клапанов. При этом достигается повышение КПД ЦНД на 0,8–0,9 % или даже на 3,8–4,0 %; повышение номинальной электрической мощности до 65–80 МВт, максимальной – до 70–98 МВт.

Реконструкция турбин типа Т-100-130 возможна с целью восстановления их ресурса до 220 тыс. часов с одновременным повышением технико-экономических показателей: надежности, экономичности, маневренности и ремонтпригодности, а также тепловой и электрической мощности.

В числе предлагаемых конструктивных изменений цилиндра высокого давления (ЦВД) могут быть следующие:

- применение корпуса ЦВД одностенной или двустенной конструкции;

- переход от двухвенечной регулирующей ступени к одновенечной;
- сохранение проточной части активного типа, но с улучшенными меридиональными обводами и новыми, более совершенными профилями рабочих и направляющих лопаток либо применение проточной части реактивного типа;
- рабочие лопатки с цельнофрезерованными бандажами;
- осерадиальные или сотовые надбандажные уплотнения;
- сотовые диафрагменные и концевые уплотнения.

Возможна замена и других узлов ЦВД (стопорного клапана, узлов парораспределения и регулирования) новыми, модернизированными, а также модернизация системы обогрева фланцев и шпилек.

Расширенный ремонт и модернизация цилиндра среднего давления (ЦСД) включает контроль и ремонт корпуса ЦСД. Возможна реконструкция турбины с использованием существующих элементов проточной части среднего давления. При этом производится контроль, ремонт и модернизация ротора с проведением мероприятий по продлению ресурса, повышению надежности и экономичности, а именно:

- контроль и механическая обработка цельнокованой части ротора со снятием слоя металла с накопленной поврежденностью;
- замена рабочих колес, работающих в зоне фазового перехода, новыми модернизированными, с торцевыми шпонками и антикоррозионным упрочнением лопаток и дисков;
- частичная замена ступеней новыми, рассчитанными на увеличенный пропуск пара и имеющими более совершенные меридиональные обводы и профили рабочих и направляющих лопаток;
- модернизация системы уплотнений.

Расширенный ремонт ЦНД включает модернизацию опорно-упорного подшипника с увеличением несущей способности упорных колодок, а также модернизацию системы тепловых расширений с целью повышения надежности и маневренности, то есть:

- замену штатных поперечных шпонок ЦВД и передних ЦСД поворотными;
- установка на поверхности скольжения фундаментных рам 1-й и 2-й опор прокладок с низким коэффициентом трения;
- ревизия и оптимизация опорно-подвесной системы и системы компенсации тепловых расширений подсоединенных трубопроводов больших диаметров.

Дополнительно возможна реконструкция САР с внедрением цифровой электрогидравлической системы.

Дополнительные мероприятия, направленные на повышение надежности, экономичности, маневренности, увеличение срока службы узлов и деталей:

- организация дополнительного отбора пара на собственные нужды с целью повышения экономичности ТЭЦ;
- уплотнение регулирующих диафрагм для снижения протечек пара через неплотности закрытой диафрагмы и повышения тепловой мощности;
- установка системы стояночной консервации;
- установка электронной системы защиты теплофикационного отбора;
- противоэрозионные мероприятия: модернизация системы влагоудаления, а также конструктивные мероприятия, способствующие дроблению плёночной и крупнодисперсной влаги.

Реконструкция турбин типа ПТ-135-130 с переводом на двухступенчатую часть низкого давления (ЧНД). Целью реконструкции является повышения надежности, экономичности и маневренности. Указанная цель достигается за счет модернизации проточной части среднего давления путем замены цельнокованых дисков 18 и 19 ступеней насадными и замены рабочих колес 20–22 ступеней новыми модернизированными.

ными с вильчатыми хвостовиками рабочих лопаток и за счет перевода части низкого давления на двухступенчатую конструкцию с высотой лопатки последней ступени 660 мм.

Реконструкция турбины обеспечивает:

- повышение надежности ротора низкого давления;
- снижение интенсивности эрозионного износа рабочих лопаток ЧНД;
- увеличение отопительной нагрузки турбины на 8 Гкал/ч;
- уменьшение потерь на трение и вентиляцию на 1,0–1,3 МВт;
- увеличение КПД последних ступеней на большей части режимов;
- повышение маневренности турбины и упрощение ее пуска из различных тепловых состояний.

УДК 621.311.153.001

СРАВНЕНИЕ ТЕПЛОВОЙ ЭКОНОМИЧНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБОВ ПОЛУЧЕНИЯ РЕЗЕРВНОЙ (ПИКОВОЙ) МОЩНОСТИ НА ТЭЦ

Сенько В.А., Левчук М.А., Транчак Н.В.

Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент КАЧАН С.А.

Увеличение переменной части графиков суточной и недельной нагрузки в объединенной энергосистеме привели к изменению условий работы теплоэнергетического оборудования, привлекаемого к регулированию графиков электрической нагрузки. Около половины генерирующих мощностей Беларуси составляют теплофикационные установки, и в таких условиях актуальным является исследование возможности и целесообразности использования резерва их мощности в составе горячего (вращающегося) резерва мощности энергосистемы.

Как известно, резервная (пиковая) мощность на теплофикационных агрегатах может быть получена за счет [1, 2]:

- допустимого форсирования турбин (сверх номинального режима);
- временного сокращения отборов в систему регенерации (в основном за счет частичного обвода подогревателей высокого давления (ПВД));
- временного сокращения нагрузки производственных отборов (с возмещением ее через редуционно-охладительные установки);
- временного сокращения нагрузки теплофикационных отборов.

Величина и экономичность получаемой резервной мощности отличается для каждого из указанных четырех способов.

Способы перечислены в порядке снижения ценности получаемого дополнительного потока пара в проточную часть турбины: соответственно, на ее вход, в отборы системы регенерации, регулируемые П и Т отборы. При этом экономичность получения резервной мощности от первого к четвертому способу снижается, а значения удельного расхода q_{\max} теплоты на выработку резервного (пикового) 1 кВт·ч электроэнергии – возрастают [2].

В таблице 1 по данным [2] представлены показатели экономичности получения резервной (пиковой) мощности на турбине ПТ-60-130/13 перечисленными способами.

При получении дополнительной (пиковой) мощности N_{\max} первым способом, то есть *форсированием турбоагрегата* экономичность теплового процесса турбины обычно снижается в связи с тем, что проточные части отдельных отсеков турбины