

УДК 621.165.004.68.001.8 + 620.9.004.18

В.Л. ШВЕЦОВ, В.Н. ГАЛАЦАН, канд. техн. наук

*Открытое акционерное общество «Турбоатом»
г. Харьков, e-mail: office@turboatom.com.ua*

РАБОТЫ ОАО «ТУРБОАТОМ» ПО МОДЕРНИЗАЦИИ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ТУРБИН АЭС

Приведені основні напрямки розробки проектів модернізації та удосконалення турбоагрегатів ВАТ «Турбоатом» для АЕС. Показані типи турбін, що модернізуються та заново спроектовані для АЕС, що будуються.

Main ways of design of modernization and upgrading projects for JSC “Turboatom” turbine sets for NPPs are given. There are shown types of modernized turbines and newly designed for NPPs being built.

Головная научно-производственная организация энергомашиностроительного комплекса Украины ОАО «Турбоатом» входит в число крупнейших турбостроительных фирм мира наряду с такими известными производителями энергетического оборудования как Дженерал Электрик, Вестингауз, Сименс, АББ.

ОАО «Турбоатом» специализируется на проектировании и изготовлении современных паровых турбин для ТЭС и АЭС, гидравлических турбин для ГЭС и ГАЭС, газовых турбин для ПГУ и автономной работы, а также другого энергетического оборудования. Производственный потенциал ОАО «Турбоатом» способен за год выпустить паровых турбин на общую мощность 8млн.кВт и гидравлических турбин на общую мощность 2,1 млн.кВт.

Турбины производства ОАО «Турбоатом» в настоящее время надёжно работают в 35 странах мира, в том числе:

- на АЭС «Ловииса» (Финляндия), «Пакш» (Венгрия), Козлодуй (Болгария);
- на ТЭС «Нанкин» и «Инкоу» (Китай), «Марица Восток» (Болгария), «Порошень» (Румыния);
- на ГЭС Кластер-Фосс и Вигеландс Бруг (Норвегия), «Сигалда» (Исландия), Пур-Нари (Греция), Сальто Гранде и Пьедра дель Агила (Аргентина), Агуа-Мильпа (Мексика) и др.

При выпуске турбин осуществляется практически замкнутый цикл создания энергетического оборудования от проектно-конструкторских и научно-исследовательских работ до изготовления турбин и их отгрузки заказчику, кроме производства крупных поковок и отливок, получаемых с металлургических предприятий, а также некоторых комплектующих изделий. Предприятие выполняет маркетинговые, инжиниринговые, пуско-наладочные и шефмонтажные работы, осуществляет сервисное обслуживание, ремонт и модернизацию турбин.

Основная номенклатура выпускаемой продукции:

- паровые турбины для ТЭС, ТЭЦ и ПГУ единичной мощностью от 1 до 550 МВт;
- паровые турбины для АЭС единичной мощностью от 220 до 1100 МВт;
- газовые турбины энергетически автономные для ПГУ мощностью 45 МВт и 115 МВт;

- теплообменное оборудование (конденсаторы паровых турбин, регенеративные подогреватели низкого давления, подогреватели сетевой воды);
- котельное вспомогательное оборудование – регенеративные газо- и воздухоподогреватели, эжекторы, маслоохладители, тягодутьевые машины, эксгаустеры, дымососы, мельницы шаровые и др.;
- гидравлические турбины различных типов мощностью от 5 МВт до 800 МВт для ГЭС и ГАЭС;
- гидравлические затворы дисковые и шаровые;
- гидравлические турбины для микро-ГЭС и мини-ГЭС и малых ГЭС мощностью от 5 кВт до 10 МВт.

В настоящее время на АЭС находятся в эксплуатации: 34 турбины типа К-220-44 различных модификаций, 22 турбины типа К-500-65/3000, 2 турбины К-750- 65/3000, 2 турбины К-500-60/1500, 17 турбин типа К-1000-60/1500-1 и 2.

Турбины типа К-500-60/1500 и К-1000-60/1500-1 и 2 выполнены на частоту вращения ротора 25 1/с [1]. Одна турбина типа К-1000-60/1500-2 находится на монтаже на Волгодонской АЭС (Россия).

По основным техническим и эксплуатационным показателям турбины ОАО «Турбоатом» соответствуют современному мировому уровню, а по некоторым показателям, даже превосходят его. По данным журнала Nuclear Engineering, укомплектованные турбинами типа К-220-44 электростанции «Ловииса» и «Пакш» постоянно входят в число лучших АЭС мира по использованию установленной мощности.

Технический прогресс в энергетическом машиностроении на современном этапе его развития приводит к тому, что моральное старение действующего оборудования, как правило, опережает его физический износ. Отрицательные последствия этого явления можно, в значительной степени, устранить путём его модернизации. В результате модернизации турбинного оборудования сроки наступления морального износа отодвигают в некоторых случаях за границы выработки предельного физического ресурса.

Комплекс научно-исследовательских работ проведенных в ОАО «Турбоатом» и ХПИ в конце 80-х годов, а также накопленный опыт эксплуатации влажнопаровых турбин на АЭС [1], [2] позволили ОАО «Турбоатом» разработать предложения по модернизации и усовершенствованию проточных частей всех типов турбин, находящихся в эксплуатации, без замены роторов и корпусов ЦВД и ЦНД. Целью модернизации являлось повышение мощности, экономичности и надежности турбоагрегатов, увеличение межремонтного периода и возможности продления срока службы оборудования.

В результате модернизации в турбинах К-220-44 всех трех модификаций, были разработаны мероприятия по усовершенствованию облопачивания роторов ЦВД и ЦНД, системы влагоудаления из ЦВД, паровпуска и первой ступени ЦНД, выходные отсеки ЦВД и ЦНД, диафрагменные и концевые уплотнения ЦНД и др. Суммарное повышение мощности турбоагрегата при внедрении всех мероприятий составляет ~ 5500...6000 кВт без увеличения тепловой мощности реактора.

Гарантийные показатели эффективности модернизации турбоагрегатов на АЭС, выполненные в различном объеме, проверялись по результатам сравнительных испытаний до и после модернизации.

Практически в полном объёме модернизация турбин типа К-220-44 выполнена на АЭС «Ловииса» (Финляндия), «Пакш» (Венгрия). Также, в основном, завершена

модернизация турбоагрегатов ТГ-2 и 3 Кольской и ТГ-11 Нововоронежской АЭС (Россия).

Учитывая программу продления сроков эксплуатации блоков с турбинами К-220-44, представляется весьма целесообразным завершить модернизацию этих турбин на Нововоронежской, Кольской и других АЭС.

Расчётно-конструкторские разработки, учитывающие особенности течения влажного пара в последних ступенях ЦВД и ЦНД [3] позволили усовершенствовать выходной отсек ЦВД и периферийную часть выхлопных отсеков ЦНД, газодинамическое качество которых зависит от степени совершенства последней ступени и патрубка в условиях их взаимного влияния.

Целью усовершенствования выходных отсеков ЦВД и ЦНД турбин К-220-44 является повышение мощности турбоагрегата за счёт уменьшения потерь в патрубках при минимальных изменениях существующих конструкций.

Модернизация выходного отсека ЦВД, заключающаяся в устройстве осерадиального диффузора, расположенного в верхней и нижней половинах выхлопного патрубка, в котором происходит эффективное снижение скорости потока пара, покидающего последнюю ступень.

В результате модернизации выходного отсека ЦВД гидравлические потери в патрубке на участке от рабочих лопаток последней ступени ЦВД до выхода из корпуса снизились, при этом давление за ступенью понизилось, что обусловило повышение мощности турбины К-220-44 ~ на 300 кВт.

Усовершенствование периферийной части последней ступени ЦНД осуществляется за счёт использования профилированного надбандажного козырька, оптимизации расположения влагоулавливающей щели относительно входной кромки рабочей лопатки и её размеров.

Профилированный надбандажный козырёк обеспечивает отклонение сверхзвуковой струи надбандажной утечки в сторону обечайки диффузора выхлопного патрубка и уменьшает отрицательное воздействие подсосываемой струи через щель между козырьком и обечайкой. Модернизация периферийной части выхлопных отсеков ЦНД турбин К-220-44 повышает мощность турбины на 500 кВт.

Модернизация турбин типа К-500-65/3000

Работы по повышению эффективности ранее выпущенных турбин АЭС в ОАО «Турбоатом» всегда были в числе приоритетных. Значительное место в планах работ по модернизации, находящихся в эксплуатации турбоагрегатов, занимают турбины К-500-65/3000.

Турбина К-500-65/3000, предназначенная для работы в дубль-блоке с реактором РБМК, была спроектирована в ОАО «Турбоатом» в конце 60-х годов прошедшего века. Первая турбина этой серии была введена в эксплуатацию в 1973 г. на Ленинградской АЭС. [1]

В настоящее время на АЭС в России работает 22 турбины этого типа.

Из них 8 штук - на Ленинградской АЭС, 8 штук – на Курской АЭС и 6 штук – на Смоленской АЭС.

Одновальный турбоагрегат К-500-65/3000 номинальной мощностью 500 МВт, состоит из одного двухпоточного ЦВД и 4-х двухпоточных ЦНД. Каждый поток ЦВД и ЦНД состоит из 5-ти ступеней активного типа. Четыре ЦНД расположены по оси турбоагрегата симметрично относительно ЦВД – по два ЦНД с каждой стороны [1].

За всё время эксплуатации этих турбин на АЭС не было ни одного отказа блока по вине турбинного оборудования.

ОАО «Турбоатом», используя опыт создания и модернизации влажнопаровых турбин для АЭС большой единичной мощности, разработал проект модернизации турбин К-500-65/3000, включающий модернизацию диафрагм и рабочих лопаток 5-х ступеней ЦВД и полную замену проточных частей всех 4-х ЦНД на новую с рабочей лопатки последней ступени длиной 1030 мм вместо 850 мм, что существенно снижает потери на выхлопе турбины.

В 2004 году на Курской АЭС по вышеуказанному проекту была выполнена модернизация турбоагрегата ст. № 4. При этом гарантированное повышение мощности турбин составило 22,7 МВт: 1,3 МВт от модернизации 5-х ступеней ЦВД обоих потоков и 21,4 МВт – от модернизации всех ступеней проточных частей четырёх цилиндров низкого давления.

Проанализировав все возможные варианты модернизации турбоагрегата К-500-65/3000, заказчик принял к реализации вариант модернизации остальных турбин этой серии, предусматривающий замену рабочих лопаток и диафрагм 4-х и 5-х ступеней всех четырёх цилиндров низкого давления с использованием существующих роторов, обойм и корпусов ЦНД.

При модернизации турбины по данному варианту облопачивание и диафрагмы 1...3 ступеней остаются без изменений (не модернизированные).

Гарантированное повышение мощности турбоагрегата при модернизации 4-х и 5-х ступеней всех ЦНД составляет 16 МВт.

Совершенствование паровых турбин для энергоблоков большой мощности

Опыт создания и эксплуатации паровых турбин типа К-1000-60/1500 и К-1000-60/1500-2 электрической мощностью 1000 МВт, а также результаты тепловых испытаний вышеуказанных турбоагрегатов на Южно-Украинской и Запорожской АЭС позволяют ОАО «Турбоатом» разработать и предложить к внедрению ряд эффективных конструкторских мероприятий, направленных на совершенствование как уже эксплуатируемых турбин мощностью 1000 МВт, так и вновь создаваемых турбоагрегатов мощностью 1200 и 1600 МВт.

В модернизированных и вновь создаваемых турбоагрегатах будут внедрены:

- высокоэкономичные профили направляющих лопаток с овальной входной и относительно тонкой выходной кромками;
- усовершенствованные рабочие лопатки с цельнофрезерованными покрывными бандажами, имеющими многороссельные осерадиальные уплотнения;
- оптимальные закрытые и открытые межвенцовые зазоры;
- улучшенные формы меридиональных очертаний межступенчатых и межвенцовых зазоров;
- усовершенствованные диафрагменные и концевые уплотнения;
- степень реактивности и диаметры пароразгрузочных отверстий в ступенях ЦВД и 1...5 ступенях ЦНД, обеспечивающие отсос до 1 % заторможенного потока у корня рабочих лопаток.

**Турбины ОАО «Турбоатом»
для строящихся АЭС**

Используя опыт создания экономичных и надёжных турбин типа К-220-44 номинальной мощностью 220 МВт, рассчитанной на работу на свежем паре давлением 4,31 МПа, температурой 255 °С и влажности 0,5 % ОАО «Турбоатом» по заданию индийской корпорации атомной энергетики NPCIL была спроектирована турбина типа К-240-4,0 мощностью 241,5 МВт на давление свежего пара 3,96 МПа и температуру 249,7 °С. Четыре турбины этого типа ОАО «Турбоатом» изготовлены и отгружены заказчику. Две турбины находятся в монтаже на АЭС «Кайга» и две – на АЭС «Раджастан» (Индия). Турбина состоит из одного пятиступенчатого цилиндра высокого давления и одного двухпоточного, по пять ступеней в каждом потоке, цилиндра низкого давления. Расчётное давление пара в конденсаторе 8,44 кПа. Длина рабочей лопатки последней ступени 1030 мм. Система регенерации состоит из одного ПВД, деаэратора и 4-х ПНД.

Ввод в эксплуатацию первых турбин на АЭС «Кайга» и «Раджастан» запланирован на 2007 г.

По просьбе индийской корпорации NPCIL в ОАО «Турбоатом» на тендерных условиях ведутся конструкторские работы, предназначенные для модернизации турбины К-235-4,0 АЭС «Нарора» (Индия).

Литература

1. Паротурбинные установки атомных электростанций / Под ред. Ю.Ф. Косяка – М.: Энергия, 1978. – 312 с.
2. Трояновский Б. М. Турбины для атомных электростанций. – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Энергия, 1978. – 232 с., ил.
3. Филиппов Г. А. и др. Исследования и расчёт турбин влажного пара / Под ред. М. Е. Дейча. – М.: Энергия, 1973. – 232 с., ил.

© Швецов В.Л., Галацан В.Н., 2007