

- Advanced Nuclear Systems: Global Developments. - Illinois: American Nuclear Society, 2004.
2. Shamanin I.V. The Use of (Th,U,Pu)O₂ Fuel in a Water Water Energy Reactor: Physics and Fuel Cycle Simulation by means of the V.S.O.P. (97) Computer Code // Forschungszentrum Julich. FZJ – ISR – IB – 1/1999. – 40 p.
 3. Абрамович С.Н. База данных для численного моделирования накопления осколков в топливе энергетических реакторов// Вопросы атомной науки и техники. Серия: Математическое моделирование физических процессов. – 1996. – №3. – с.40–61.
 4. Шаманин И. В. Следствия, вызванные отличиями структур резонансной области поглощения ядер ²³⁸U и ²³²Th // Альтернативная энергетика и экология. – 2006. – № 11 (43). – С. 47–53.
 5. Shamanin I. Advantages of Thorium Nuclear Fuel for Thermal-Neutron Reactors // Advanced Materials Research. - 2015 - Vol. 1084. - p. 275-279.
 6. Подготовка полных библиотек ядерных данных в поточечном представлении на основе файлов оцененных данных ENDF/B-VII.0, JEFF-3.1.1, JENDL-4.0. Препринт / Ин-т проблем безопасного развития атом. энергетики РАН, № ИБРАЭ-2011-08. Д.А. Блохин, Е.Ф. Митенкова, А.И. Блохин – М.: ИБРАЭ РАН, 2011. – 58 с.

Научный руководитель: С.В. Беденко, к.ф.-м.н., доцент каф. ФЭУ ФТИ ТПУ.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТУРБОУСТАНОВОК АЭС РАЗЛИЧНОЙ МОЩНОСТИ

А.С. Королев
Томский политехнический университет
ЭНИН, АТЭС, группа 5031

Растущий спрос на энергию и все более широкая осведомленность об экологических выгодах чистой ядерной энергии создают основу для "ренессанса" ядерной энергетики, которая может способствовать решению проблем, связанных с энергетической безопасностью, экономическим развитием и улучшением качества окружающей среды[1].

Основной целью и задачей, стоящей перед проектировщиками электростанций, является достижение максимальной эффективности,

улучшение гибкости в эксплуатации и увеличение надежности станции [2].

Одним из важнейших агрегатов электростанции является турбина, предназначенная для преобразования энергии пара в механическую энергию вращения ротора.

Сейчас наблюдается расширение спроса рынка на более мощные реакторы, чем те, которые строились в период централизованного планирования экономики. В ближайшие годы единичная мощность водо-водяных реакторов российского производства должна вырасти минимум до 1500 МВт[3]. В связи с этим возникает вопрос о возможных проектных решениях в области компоновки электростанции турбоагрегатами. Будут ли проектироваться новые, более мощные турбины или же энергоблоки будут комплектоваться тремя турбинами, суммарной производительностью 1500 МВт?

К распространенным в России мощным паровым турбоустановкам для атомных электростанций относятся [2]:

Табл. 1. Тип турбоустановки и ее конструкционный состав

К-220-44/3000	ЦВД + 2 ЦНД
К-500-60/1500	ЦВСД + ЦНД
К-1000-60/1500-1	ЦВД + ЦСД + 3 ЦНД
К-1000-60/1500-2	ЦВД+3 ЦНД
К-1000-60/3000	2 ЦНД + ЦВД+ 2 ЦНД

После распада СССР некоторые единственные в своем роде предприятия, остались за пределами России, среди них и украинский завод «Турбоатом», расположенный в Харькове [3]. Только на этом заводе среди всех предприятий экс-советского энергомашиностроительного комплекса выпускаются тихоходные паровые турбины для АЭС.

Турбоустановки на частоту вращения 1500 об/мин отличаются повышенной экономичностью и надёжностью[4], и по условиям многих потенциальных зарубежных контрактов российского атомпрома, обязательным условием является комплектование энергоблоков именно тихоходными турбинами[3].

Для реализации программы ввода новых энергетических мощностей атомных электростанций ОАО «Турбоатом» предлагает использовать накопленный объединением опыт проектирования, изготовления и эксплуатации турбин мощностью 500 и 1000 МВт на частоту вращения ротора 1500 об/мин. В настоящее время из этой серии, изготовленных ОАО «Турбоатом» в количестве 22 турбоагрегатов, в эксплуатации на АЭС находятся 17 турбин с единичной мощностью

1000 МВт (8 турбин в Украине, 7 турбин в России и 2 турбины в Болгарии).

Уровень напряжений во многих элементах тихоходных турбин, в том числе в профильной и хвостовой частях рабочих лопаток и дисков последних ступеней, ниже соответствующего уровня быстроходных турбин более чем в 1,5 раза. Кроме того, для деталей и узлов тихоходных турбин, используются только освоенные стали – не требующие применения титановых сплавов для рабочих лопаток последних ступеней. В турбинах данного класса внедрены рациональные методы борьбы с эрозионно-коррозионными процессами – одной из главных проблем обеспечения работоспособности и долговечности влажнопаровых турбин. Решены задачи эффективного удаления влаги из проточной части ЦВД и последних ступеней ЦНД. Важнейшим элементом турбин мощностью на частоту вращения 1500 об/мин производство ОАО «Турбоатом» является последняя ступень ЦНД с длиной рабочей лопатки 1450 мм с площадью выхлопа 18,9 м². Ступень надежно и экономично работает в широком диапазоне нагрузок.

При расчетном давлении в конденсаторе 5,9 кПа турбина К-500-60/1500 мощностью 500 МВт выполнена с одним двухпоточным ЦНД, а турбины мощностью 1000 МВт, рассчитанные на давление в конденсаторе 4 кПа, – имеют три ЦНД (рис. 1).

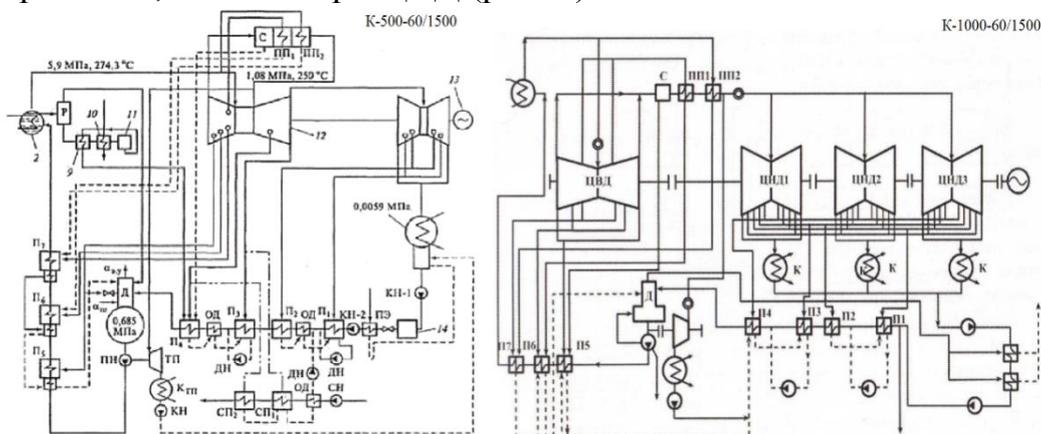


Рис. 1. Схемы турбоустановок К-500-60/1500 и К-1000-60/1500

Для удобства достоинства турбин относительно друг друга представим в виде таблицы (табл. 2).

Табл. 2. Достоинства турбоустановок

К-500-60/1500	К-1000-60/1500
<ol style="list-style-type: none"> 1. Возможность работы станции на пониженной мощности; 2. Меньше число цилиндров с лопатками сильно подверженными эрозии; 3. Меньшие осевые габариты; 4. Более простая транспортировка; 5. Выше давление в конденсаторе. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Меньше “вспомогательного” оборудования (сепараторы, подогреватели, пароперегреватели и т.д.); 2. Меньше площадка для установки; 3. Проще осуществлять пуск и останов; 4. Меньше вероятность выхода из строя; 5. Требуется меньше обслуживающего персонала.

Заключение

Несмотря на ряд преимуществ турбоустановок К-500-60/1500, предпочтение отдается установкам с большей единичной мощности. Сейчас на базе имеющихся конструкторско-технологических решений с использованием производственного и эксплуатационного опытов в создании турбин большой мощности, ОАО «Турбоатом» предлагает для строительства новых АЭС паровые турбины нового поколения мощностью 1100, 1200 МВт, в которых реализованы современные конструктивные и технические решения, обеспечивающие высокие показатели надёжности, экономичности и ремонтпригодности, а также есть возможность отпуска пара на теплофикационные нужды до 1000 МВт от каждой турбины. При сохранении существующих конструкций корпусов и роторов ЦВД и ЦНД, модернизируются проточные части ступеней ЦВД и ступеней ЦНД.

В модернизируемых 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 многодроссельные осерадиальные уплотнения;
- оптимальные закрытые и открытые межвенцовые зазоры;
- улучшенные формы меридиональных очертаний межступенчатых и межвенцовых зазоров;
- усовершенствованные диафрагменные и концевые уплотнения.

Из-за сложных отношений между Россией и Украиной рассматриваются пути сотрудничества с одним из ведущих производителем

из дальнего зарубежья [3]. Скорее всего в ближайшее время будут спроектированы установки единичной мощностью 1500 МВт, без участия завода «Турбоатом».

ЛИТЕРАТУРА:

1. Муратов О.Э., Тихонов М.Н. "Ядерный ренессанс": новые возможности и проблемы // Экология промышленного производства. 2007, №3, С. 59-67.
2. Цветков А.М., Кросланд Р., Рич Г. Перспективы модернизации паровых турбин на Российских АЭС // Общие вопросы электроэнергетики. 2011, №1, С. 5-12.
3. Посысаев Ю.Ю. Развитие международной кооперации в энергетическом машиностроении России // Российский внешнеэкономический вестник. 2014, №3, С. 38-55.
4. Богомолова Т.В., Мельников О.В. Сравнение последних ступеней тихоходных и быстроходных турбин большой мощности для АЭС // Вестник МЭИ. 2013, №2, С. 5-10.

Научный руководитель: С.В. Лавриненко, ст. преподаватель каф. АТЭС ЭНИН ТПУ.

КОРПУС ПЕРЕРАБОТКИ ЖИДКИХ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ КОЛЬСКОЙ АТОМНОЙ СТАНЦИИ

Е.А. Парилов
Томский политехнический университет
ЭНИН, АТЭС, группа 5012

Кольская АЭС имеет двухконтурную схему с водо-водяным реактором корпусного типа ВВЭР-440 тепловой мощностью 1375 МВт, в эксплуатации находятся четыре энергоблока.

Каждый энергоблок состоит из реактора и двух турбогенераторов. На энергоблоках № 1(1973г.) и № 2 (1974г.) установлены реакторы типа ВВЭР-440 (проект В-230), а на энергоблоках № 3(1981г.) и № 4(1984г.) - реакторы типа ВВЭР-440 (проект В-213) [1].

За годы работы Кольской АЭС в ее хранилище накопилось большое количество кубового остатка жидких радиоактивных отходов (ЖРО).

Концепция системы обращения с ЖРО, разработана в середине 60-х гг. - упаривание и хранение кубового остатка, хранение смол и шлама в емкостях ХЖО с суммарным проектным объемом 8576 м³.