

ПОДГОТОВКА ИНЖЕНЕРНЫХ КАДРОВ ДЛЯ БЕЛОРУССКОЙ АЭС. ИЗУЧЕНИЕ ОПЫТА РАЗВИТИЯ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

В рамках реализации Государственной программы подготовки кадров для ядерной энергетики Республики Беларусь на 2009–2020 годы на энергетическом факультете БНТУ в 2008 году открыта специальность 1-43 01 08 «Паротурбинные установки атомных электрических станций». Мероприятия по реализации комплексной подготовки специалистов для ядерной энергетики предусматривают в том числе и проведение практики и стажировок за рубежом.

В прошедшем 2012/2013 учебном году студенты кафедры «Тепловые электрические станции» специальности «Паротурбинные установки атомных электрических станций» проходили преддипломную и технологическую практику на зарубежных объектах ядерной энергетики, включая современные АЭС, вузы, осуществляющие подготовку профильных специалистов, проектные и научно-исследовательские организации. В их числе: Смоленская, Нововоронежская, Калининская, Ростовская атомные станции, Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, Санкт-Петербургский научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт «Атомэнергопроект» (Россия); Севастопольский национальный университет ядерной энергии и промышленности (Украина).

Ценный опыт студенты получили в ходе практики на российских АЭС, эксплуатирующих водо-водяные энергетические реакторы корпусного типа с водой под давлением (ВВЭР), аналогичные тем, которые будут установлены на Белорусской АЭС. Эти атомные электростанции оборудованы современной техникой, используют передовые технологии, имеют высокий уровень организации и культуры труда и огромный опыт в подготовке кадров.

Перспективные решения по модернизации систем и оборудования

Нововоронежская АЭС – первая в России АЭС с реакторами типа ВВЭР. Каждый из пяти реакторов станции является головным – прототипом серийных энергетических реакторов. Так, на блоке № 1 установлен реактор ВВЭР-210, на блоке № 2 – ВВЭР-365, блоки № 3 и № 4 оборудованы реакторами ВВЭР-440, блок № 5 – реактором ВВЭР-1000.

В настоящее время на Нововоронежской АЭС в эксплуатации находятся энергоблоки №№ 3–5, введенные в строй соответственно в 1972, 1973 и 1981 годах. На третьем и четвертом энергоблоках станции впервые в Европе выполнен уникальный комплекс работ по продлению сроков эксплуатации на 15 лет, а совсем недавно завершен масштабный проект глубокой модернизации энергоблока № 5, в результате чего он стал полностью соответствовать современным российским стандартам и рекомендациям МАГАТЭ.

Строительство Нововоронежской АЭС-2 ведется по современному проекту АЭС-2006 с использованием реакторной установки ВВЭР-1200 (рис. 1, 2 [1], 3).



С.М. СИЛЮК, к.т.н., профессор, декан энергетического факультета БНТУ



Н.Б. КАРНИЦКИЙ, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Тепловые электрические станции» энергетического факультета БНТУ



С.А. КАЧАН, к.т.н., доцент кафедры



А.Л. БУРОВ, старший преподаватель кафедры



Рис. 1. Вид на стройплощадку Новovoroneжской АЭС-2 (на фоне работающего блока № 5)



Рис. 2. Вид на стройплощадку Новovoroneжской АЭС-2 (в центре – реакторное отделение)

Калининская АЭС оборудована энергоблоками на базе реакторов типа ВВЭР-1000. Блоки № 1 и № 2 первой очереди введены в эксплуатацию в 1984 и 1986 годах, № 3 и № 4 второй очереди – в 2005 и 2011 годах соответственно. Все они успешно эксплуатируются.

Самая молодая из действующих российских атомных станций – Ростовская АЭС. Энергоблоки с реакторами типа ВВЭР-1000 введены здесь в эксплуатацию в 2001 (событие ознаменовало возрождение атомной отрасли России) и 2010 годах. В настоящее время на площадке Ростовской АЭС ведется строительство третьего и четвертого энергоблоков.

ОАО «Концерн Росэнергоатом», филиалами которого являются эти и другие атомные станции, осуществляет сопровождение эксплуатации, разработку и внедрение решений, направленных на повышение мощности действующих энергоблоков, их безопасности и эксплуатационной надежности, а также улучшение экологических показателей АЭС.

Основными целями модернизации российских атомных станций являются:

- обеспечение безопасной и устойчивой работы АЭС в соответствии с критериями и требованиями действующих норм и правил в области использования атомной энергии;
- продление эксплуатационного ресурса энергоблоков;
- увеличение производства электрической и тепловой энергии на энергоблоках АЭС;
- снижение эксплуатационных расходов в расчете на выработанный кВт·ч;
- повышение надежности и экономической эффективности АЭС в целях обеспечения их конкурентоспособности на рынке электроэнергии.

Повышение тепловой мощности реакторов и эксплуатация их в циклах длительностью 18–24 месяца – это общепринятая мировая практика. С 2006 года она реализуется и на российских энергоблоках. Цель – повышение надежности эксплуатации и улучшение экономических характеристик энергоблоков.

Повышение энерговыработки на энергоблоках АЭС с ВВЭР-1000 достигается за счет увеличения мощности блоков до 104 % от номинальной ($104\% N_{ном}$), а также



Рис. 3. Студенты БНТУ со старшим преподавателем А.Л. Буровым на фоне стройплощадки Новovoroneжской АЭС-2

перехода на эксплуатацию блоков в 18-месячном топливном цикле (рис. 4) [2].

После плановой ремонтной кампании 2011 года длительность работы топливных загрузок ВВЭР-1000 блоков №№ 1–3 Калининской АЭС составила 325, 435 и 467 эффективных суток, блоков № 1 и № 2 Ростовской АЭС – 433 и 309 эффективных суток соответственно [2].

В процессе реализации программы увеличения энерговыработки на АЭС с ВВЭР был выполнен большой комплекс мероприятий по модернизации систем и оборудования.

На сегодняшний день приоритетным способом улучшения (повышения эффективности) использования топлива на АЭС с ВВЭР-1000 является поэтапное увеличение загрузки урана в тепловыделяющие сборки (ТВС), которое в существующих габаритах активной зоны осуществляется двумя путями: за счет увеличения высоты топливного столба при сохранении габаритных размеров кассеты и за счет изменения геометрических характеристик топливных таблеток (увеличение наружного диаметра топливных таблеток и уменьшение или исключение центрального отверстия).

На Калининской и Ростовской АЭС прошли опытную эксплуатацию технические решения по модернизации ТВС [3, 4]. В настоящее время на энергоблоках Ростовской АЭС эксплуатируются ТВС-2 М с увеличенным на 150 мм от базового аналога топливным столбом, что позволило обеспечить реализацию топливного цикла 3 x 18 мес. в условиях повышения мощности АЭС до 104 % от номинальной.

На энергоблоках № 2 и № 3 Калининской АЭС с 2010 года эксплуатируются ТВСА-PLUS, имеющие унифицированный с ТВС-2 М топливный пучок с увеличенным на 150 мм топливным столбом и обеспечивающие аналогичные условия эксплуатации.

Загрузка урана в ТВС-2 М и ТВСА-PLUS увеличена примерно на 6 % в сравнении с базовыми вариантами.

На энергоблоке № 1 Калининской АЭС с 2006 года в пятигодичном топливном цикле эксплуатируются сборки ТВСА-АЛЬФА с увеличенной на ~10 % в сравнении с ТВСА ураноемкостью за счет применения твэлов с топливными таблетками без центрального отверстия.

Новые ТВС позволяют достигать весьма высокого выгорания ядерного топлива, что повышает кон-

курентоспособность действующих энергоблоков и ядерной энергетики в целом.

Внедрение модернизированных ТВС требует решения комплекса проблем, связанных с хранением и вывозом отработавшего ядерного топлива. Одна из таких проблем – обеспечение вывоза отработавших тепловыделяющих сборок с большой глубиной выгорания и высоким остаточным энерговыделением.

Также требуются обоснование безопасности реакторной установки при работе на повышенной мощности, разработка и внедрение мероприятий по модернизации другого оборудования для работы в условиях увеличенной мощности и удлиненного топливного цикла, в том числе обеспечение надежной работы электрического генератора.

Кроме того, переход на 18-месячную топливную кампанию (и, следовательно, на 18-месячный межремонтный период) входит в противоречие с некоторыми действующими российскими нормами и правилами, которые необходимо пересмотреть и привести в соответствие с изменяющимися современными требованиями.

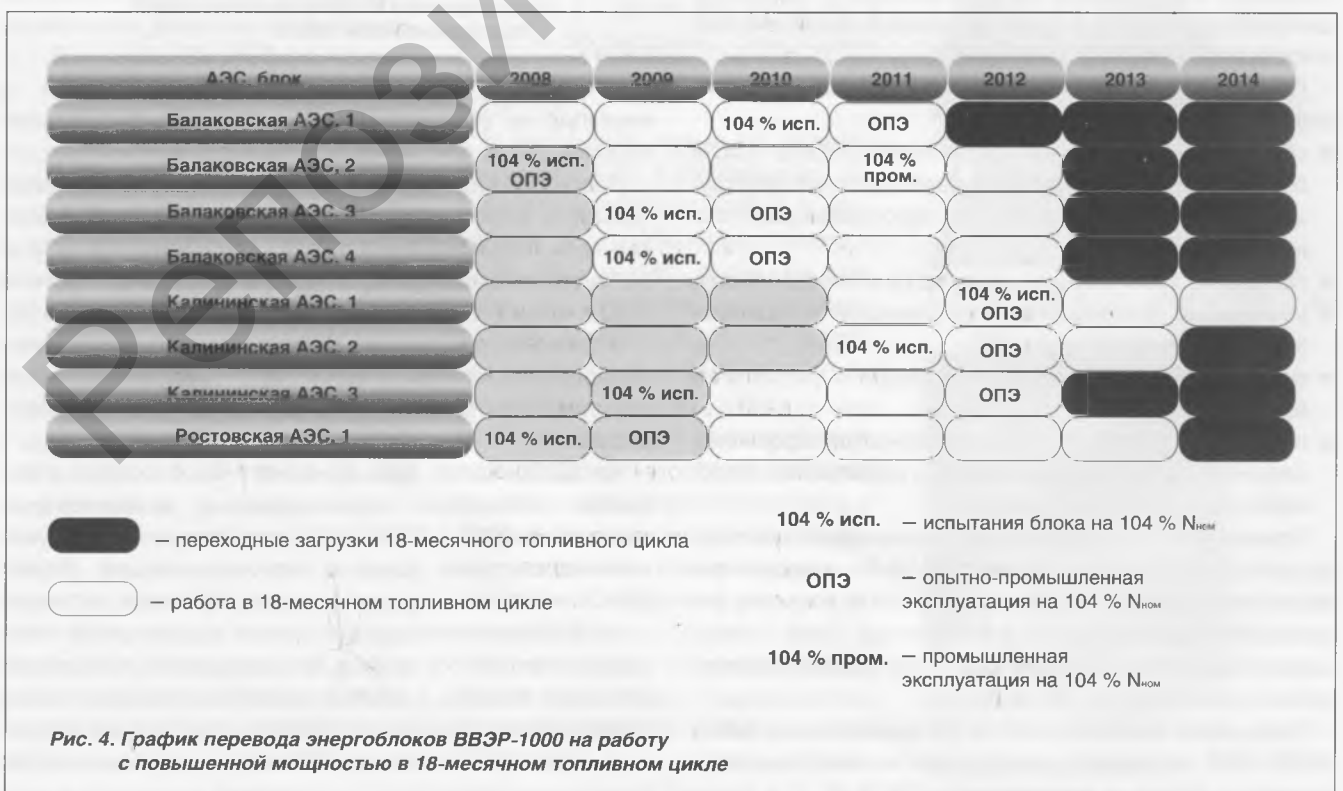
Увеличению коэффициента использования установленной мощности (КИУМ) и повышению энерговыработки на действующих

энергоблоках способствуют и другие мероприятия. Применение на Калининской АЭС современной мобильной установки UWF-120-4 обеспечивает эффективную очистку воды бассейнов выдержки и перегрузки топлива на энергоблоке № 3, позволяя сократить время на выполнение очистки примерно в 4 раза.

В 2010–2011 годах на блоке № 3 Калининской АЭС и блоках № 3 и № 4 Нововоронежской АЭС внедрен этанол-аминовый водно-химический режим второго контура [2], который позволяет снизить скорость коррозии конструкционных материалов во втором контуре, в несколько раз уменьшить вынос продуктов коррозии, что в свою очередь приводит к снижению в несколько раз скорости накопления шлама в парогенераторах, обеспечивает их надежную работу и долговечность. Исключение необходимости выполнять химическую отмывку парогенераторов каждые 4 года существенно снижает эксплуатационные расходы и сроки ремонтов [2].

В рамках реализации программы по модернизации действующих энергоблоков российских АЭС проводятся также следующие мероприятия [4]:

- модернизация оборудования первого контура с переходом на



уплотнения из терморасширенного графита, применение которого позволяет полностью исключить возможные «протечки» рабочей среды в течение гарантийного срока эксплуатации;

- модернизация электротехнического оборудования, включая замену воздушных выключателей ОРУ 220 и 500 кВ на элегазовые и существующих трансформаторов – на трансформаторы компаний ABB, Siemens, Areva, Trench, повышающие надежность электрооборудования;
- замена медьсодержащих поверхностей теплообмена оборудования второго контура с применением других коррозионно-стойких материалов, что способствует продлению ресурса работы парогенераторов, повышению надежности и эффективности работы оборудования второго контура энергоблоков. Так, на энергоблоке № 1 Калининской АЭС устанавливаются трубные системы конденсатора в блочно-модульном исполнении из стали TP316L, а при изготовлении конденсатора для блока № 3 Ростовской АЭС впервые применены титановые сплавы (рис. 5);
- модернизация теплообменного оборудования, в том числе оснащение турбоустановок системами шариковой очистки конденсаторов;
- сокращение потребления тепловой и электрической энергии на собственные нужды станции и др.

Опыт модернизации энергоблоков Калининской АЭС показывает, что замена жалюзийных сепараторов парогенераторов на потолочные пароприемные дырчатые листы обеспечивает улучшение сепарационных характеристик, а применение предсепараторов Powersep фирмы Balcke Durr на блоке № 1 взамен устаревшей модели уменьшает эрозионный износ и продлевает срок службы оборудования, снижает нагрузку основных сепараторов-пароперегревателей, повышая их надежность.

Хороший эффект дала замена фильтров систем технического водоснабжения блоков на новые высокотехнологичные компактной конструкции производства Alfa Laval. Их применение позволяет автоматизи-

ровать процесс промывки фильтров, который теперь не требует прекращения основного процесса фильтрации.

На новых блоках Ростовской АЭС внедряются и другие передовые технологии, благодаря которым энергоблоки имеют возможность участвовать в общем первичном регулировании частоты. Перевод блоков на такой режим будет способствовать повышению надежности работы всей энергосистемы России. Кроме того, на станции выполнены определенные рекомендации системного оператора, в частности импульсная разгрузка энергоблоков. Эта задача будет реализована и на Калининской АЭС [5].

При модернизации действующих энергоблоков российских АЭС используется опыт уже проведенных работ, прежде всего по модернизации энергоблока № 5 Нововоронежской АЭС.

На этом блоке был выполнен беспрецедентный объем основных работ: модернизация систем управления и защиты реактора (аварийного охлаждения активной зоны реактора, аварийного электроснабжения, активных элементов систем безопасности), систем радиационного контроля; монтаж дополнительных систем безопасности и систем нормальной эксплуатации; оснащение энергоблока системами диагностики; внедрение программно-технических средств на управляющих системах безопасности и системах нормальной эксплуатации. Также была заменена часть тепломеханического и электротехнического оборудования.

В результате выполненных работ уровень безопасности модернизированного энергоблока № 5 существенно повышен, а дополнительный срок эксплуатации продлен примерно до 2040 года. Отметим, что назначенный проектом 30-летний срок эксплуатации энергоблока истек в 2010 году.



Рис. 5. Изготовление конденсатора для Ростовской АЭС

Заключение

Атомные электростанции – филиалы ОАО «Концерн Росэнергоатом», являясь современными предприятиями динамично развивающейся ядерной энергетики России, обеспечивают высокое качество проведения практики студентов специальности 1-43 01 08 «Паротурбинные установки атомных электрических станций». Полученные на АЭС знания полезны как студентам-практикантам, так и их руководителям от БНТУ. Этот опыт будет востребован в учебном процессе, найдет применение при эксплуатации Белорусской АЭС и будет способствовать дальнейшему развитию энергетической отрасли республики.

Список литературы

1. НВАЭС-2. Динамика строительства / ОАО «ОЭК» – Объединенная энергостроительная корпорация (http://www.roek.ru/press_center).
2. Марков, Ю. Сплав молодости и опыта / Ежемесячный журнал атомной энергетики России «Росэнергоатом». – № 11. – 2011. – С. 34–37 (www.rosenergoatom.info).
3. Лавренко, П. Повышая надежность и ресурс: ядерное топливо для реакторов ВВЭР и РБМК / Ежемесячный журнал атомной энергетики России «Росэнергоатом». – № 10. – 2011. – С. 14–17 (www.rosenergoatom.info).
4. Сальников, А. В начале большого пути / Ежемесячный журнал атомной энергетики России «Росэнергоатом». – № 2. – 2012. – С. 34–37 (www.rosenergoatom.info).
5. Волок, А. Утро начинается с рассвета / Ежемесячный журнал атомной энергетики России «Росэнергоатом». – № 11. – 2011. – С. 3–9 (www.rosenergoatom.info).