

УДК 621.039: 621.311.25

## **ОПЫТ СОТРУДНИЧЕСТВА КОНЦЕРНА «РОСЭНЕРГОАТОМ» И УРАЛЬСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА В ОБЛАСТИ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ ДЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ОБОРУДОВАНИЯ АЭС**

**С.Е. Щеклеин\*, О.Л. Ташлыков\*, В.И. Велькин\*, А.Г. Шастин\*,  
В.Н.Дементьев\*\*, Н.И. Маркелов\*\*, Ю.И. Сорокин\*\*\***

*\* ГОУ ВПО «Уральский государственный технический университет – УПИ»*

*\*\* Концерн «Росэнергоатом»*

*\*\*\* ПО «Атомэнергоремонт»*



Приведен анализ длительности простоев в ремонте различных типов энергоблоков АЭС, прогноз потребности в ремонтном персонале до 2010 г. Показана необходимость увеличения коэффициента использования установленной мощности за счет сокращения времени простоя в ремонтах путем оптимизации ремонтных кампаний и исключения внеплановых остановов, связанных с низким качеством ремонта. Рассмотрена классификация нарушений персоналом АЭС, пути исключения таких нарушений, в том числе путем повышения качества подготовки специалистов по техническому обслуживанию и ремонту (ТОиР) в высших профессиональных учебных заведениях. Рассмотрен опыт организации подготовки специалистов по ТОиР в Уральском государственном техническом университете, роль учебно-тренировочного комплекса кафедры «Атомная энергетика» в повышении качества подготовки специалистов с высшим образованием.

В 2003 г. АЭС России выработали 148,6 млрд. кВт·ч электроэнергии, что на 6,5% превышает соответствующий показатель 2002 г. Значительным достижением является увеличение на 4,5% коэффициента использования установленной мощности (КИУМ) на АЭС России. Только за счет этого выработка выросла в объеме, равноценном производству одного энергоблока мощностью более 1000 МВт [2]. Предполагается дальнейшее повышение КИУМ (на некоторых отечественных блоках КИУМ достигает 82-83%). Основой роста выработки электроэнергии должна стать оптимизация ремонтных кампаний, продолжительность которых пока довольно велика (рис. 1).

© С.Е. Щеклеин, О.Л. Ташлыков, В.И. Велькин, А.Г. Шастин, В.Н.Дементьев,  
Н.И. Маркелов, Ю.И. Сорокин, 2004

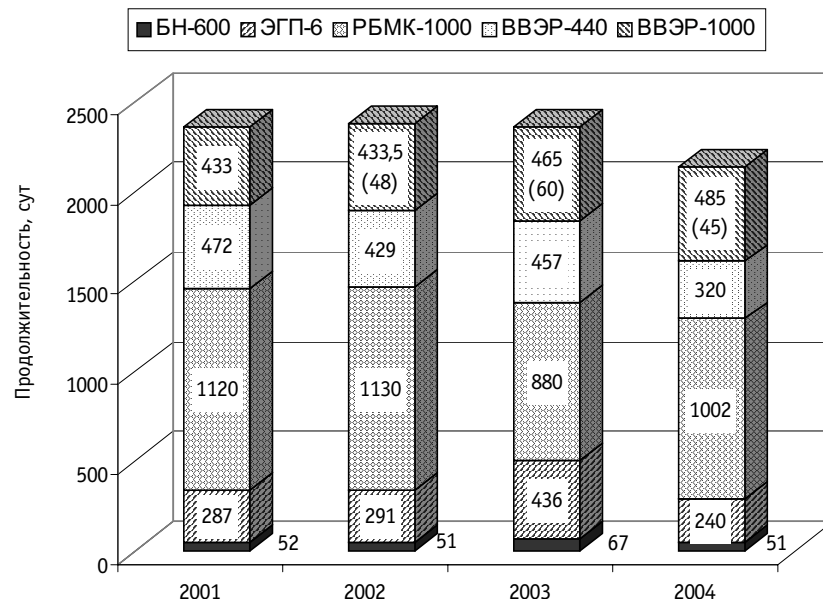


Рис. 1. Продолжительность ремонтов на АЭС России в 2001-2004 гг.

Среднее время нахождения энергоблоков в текущих и капитальных ремонтах составляет до 20% (за рубежом этот показатель составляет 7-10%).

Опыт эксплуатации оборудования АЭС, накопленный в России и других странах мира, выявил тенденцию увеличения объемов ремонтного обслуживания оборудования при длительной эксплуатации, соизмеримой с проектным сроком. Наряду с увеличением объемов работ имеет место ужесточение требований к радиационной безопасности обслуживающего персонала. Переход на более жесткие требования к радиационным нагрузкам на персонал (НРБ-96/99), общемировая тенденция повышения уровня безопасности ЯЭУ на всех стадиях ее жизненного цикла, потребовали коренного пересмотра концепции осуществления работ по техническому обслуживанию и ремонту (ТОиР) АЭС с использованием высокоточных, высокопроизводительных ремонтных и диагностических комплексов с дистанционным управлением и расширением автоматизации и роботизации выполняемых операций. Внедрение новых технологий ремонта предъявляет соответствующие требования и к кадровому обеспечению ТОиР, переместив акцент с подготовки квалифицированных рабочих и техников на подготовку дипломированных инженеров, имеющих специальную подготовку по сложным системам производства работ в радиационно опасных условиях.

Прогноз потребности в ремонтном персонале АЭС России на период до 2010 г. без учета перераспределения объемов работ и различия в производительности труда представлен на рис. 2. При учете этих условий показатели существенно изменяются: потребность в собственном персонале составит в среднем 5347, в привлеченном – 16097 и общая потребность – 21444 чел. в 2010 г. В прогнозе учтено, что начиная с 2004 г., ежегодно будут вводиться в эксплуатацию по одному энергоблоку соответственно на Калининской (№ 3), Курской (№ 5), Волгодонской (№ 2), Балаковской (№ 5), Калининской (№ 4), Балаковской (№ 6), Башкирской АЭС.

Важность человеческого фактора в обеспечении безопасности АЭС не ниже, чем надежность оборудования. На российских АЭС за последние годы наметилась тенденция снижения общего количества нарушений (в 1992 г. было зарегистрировано 192 нарушения, в 2002 г. – 38), при этом доля нарушений, связанных с ошибками персо-

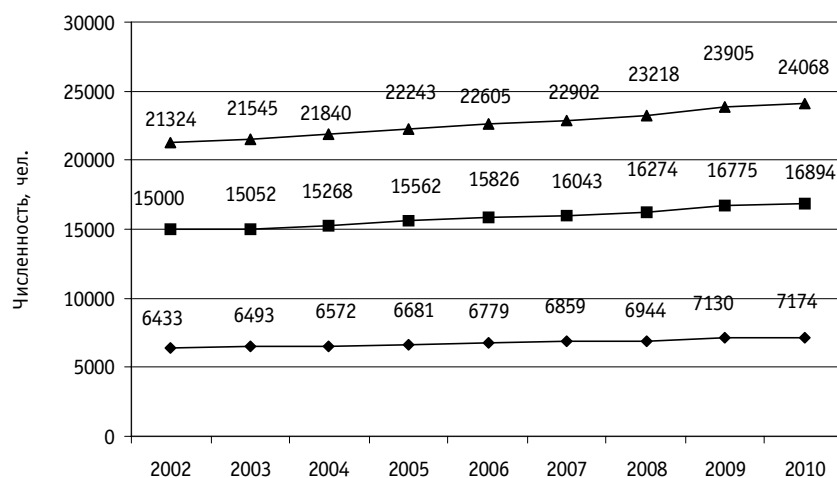


Рис. 2. Прогноз потребности в ремонтном персонале АЭС России на период до 2010 г. без учета перераспределения объемов работ и различия в производительности труда: ◆ - привлеченный персонал; ■ - собственный персонал; ▲ - общая потребность

нала, сохраняется стабильной, в интервале от четверти до трети. В свою очередь, нарушения по вине персонала делятся следующим образом: примерно треть произошла по вине операторов, другая треть – по вине ремонтного персонала (их доля увеличилась в сравнении с 2001 г., что говорит о проблемах подготовки ремонтного персонала), и остальная часть ошибок приходится на долю руководящих работников. По итогам проведения ремонтной кампании на АЭС России в 2003 г. одной из проблем остаются недостатки в системе обеспечения качества ТОиР – всего имели место 17 случаев внеплановых ремонтов общей продолжительностью 127 сут. При этом выявляется недостаток культуры безопасности ремонтного персонала и, соответственно, высокий уровень брака при ремонте оборудования АЭС.

Если рассматривать нарушения, допущенные персоналом, с точки зрения осознанности их свершений, можно выделить две группы: преднамеренные (упрощение своей задачи, попытки рационализации предписанных действий, игнорирование техники безопасности) и неосознанные нарушения (профессиональная некомпетентность, несоответствие по индивидуальным качествам, низкий уровень знаний, промахи – случайные ошибки как результат несоответствия психического состояния работника требованиям данной ситуации) [1].

И, если для уменьшения случайных ошибок требуется проводить тренировки таких индивидуальных качеств, как внимание, память, устойчивость в стрессовых ситуациях, культура безопасности, то для преодоления незнания, профессиональной некомпетентности требуется совершенствование подготовки персонала в высших, средних специальных учебных заведениях, учебно-тренировочных центрах (рис. 3). И здесь особое внимание следует уделять подготовке ремонтного персонала.

Кроме того, на нынешнем этапе организация подготовки ремонтного персонала для АЭС и повышения его квалификации объективно требует создания системы, обеспечивающей формирование у молодых инженеров уже на выходе из высшего учебного заведения опережающих знаний и навыков, а также приверженности культуре безопасности.

После аварии на АЭС «Три Майл Айленд» внимание промышленности сфокусировалось на ошибках диагностики, совершаемых оператором. Созданы тренажерные комплексы, оснащенные современной вычислительной техникой, позволяющей моделировать различные эксплуатационные ситуации, разработаны необходимые ме-

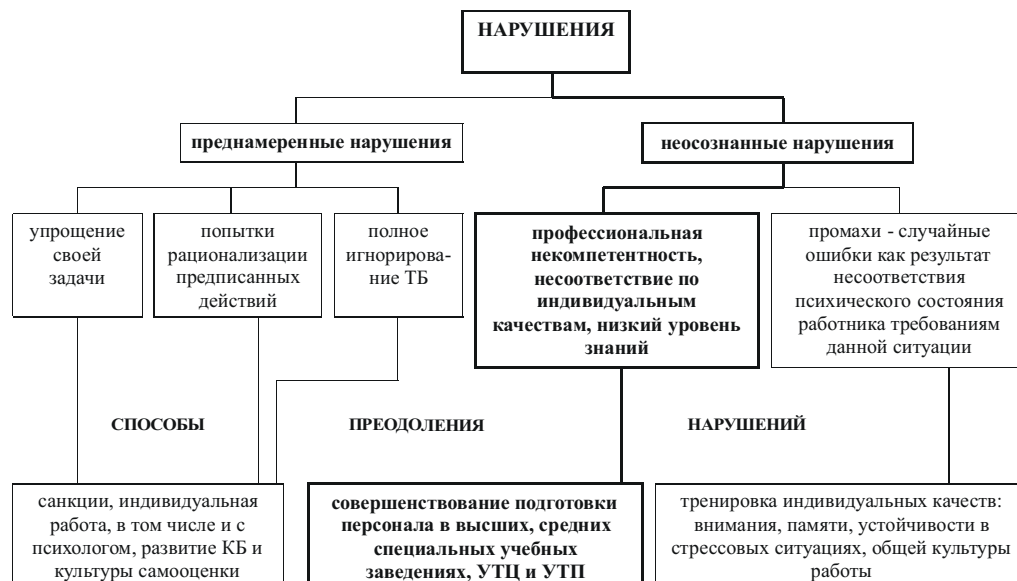


Рис.3. Классификация нарушений в работе АС

тодические обучающие материалы, поэтапные инструкции, симптомно-ориентированные действия и т.д. Но сейчас уже очевидно, что пристальное внимание следует также уделять ошибкам обслуживания, которые первыми могут вызвать нарушение в работе агрегата (например, использование для подшипников нештатной смазки, нарушение требуемого момента затяжки резьбового крепежа и т.д.).

Осуществление подготовки специалистов по ТОиР было поручено ряду вузов России, традиционно осуществлявших подготовку кадров для атомной энергетики (Обнинскому техническому университету атомной энергетики, Московскому энергетическому и Уральскому государственному техническому университету – УПИ). Организация массовой подготовки инженеров данного профиля осуществлялась с учетом традиций и особенностей каждого вуза, однако, включала в себя ряд общих требований.

1. Изучение физических особенностей ядерных и теплофизических процессов на АЭС, как теоретического фундамента понимания условий повреждаемости и ремонтнопригодности оборудования.

2. Большой объем экспериментальных, учебных и исследовательских работ студентов с целью изучения механизмов повреждаемости и разработки мероприятий по снижению скорости деградации оборудования.

3. Изучение эффективности снижения радиационных нагрузок на персонал при ТОиР путем дезактивации, экранирования, использования дистанционных, автоматизированных и робототехнических устройств и т.д.

4. Участие студентов в научно-исследовательских (НИР) и опытно-конструкторских (ОКР) работах по разработке перспективных образцов устройств диагностики состояния оборудования и производства ремонтных работ.

5. Переход на новые технологии обучения, включающие широкое применение мультимедиа технологий, полномасштабных и уменьшенных элементов реального оборудования и оснастки, индивидуализация обучения.

6. Углубленное изучение государственных и отраслевых нормативных документов по ТОиР АЭС.

7. Широкое привлечение студентов к решению реальных практических задач ТОиР во время учебного процесса, производственных практик и подготовки выпускной работы.

Вузы России имеют определенные достижения в вопросах подготовки кадров для ТОиР. В данной статье представлены материалы об опыте организации подготовки специалистов по ТОиР в Уральском государственном техническом университете, начатой в 1989 г. в соответствии с договором между УГТУ-УПИ и концерном «Росэнергоатом».

Методологическими особенностями подготовки специалистов на кафедре «Атомная энергетика» УГТУ-УПИ является:

- комплексный подход к обучению, включающий глубокую теоретическую и практическую компоненты (от вопросов теоретической физики и механики до получения практических навыков организации и проведения ремонтного обслуживания, получения рабочих специальностей);
- широкая интеграция с образовательными учреждениями более низкого уровня (Белоярский политехнический колледж и др.), научно-практическими организациями (ВНИИ АЭС, ПО «Атомэнергопроект», ПКП «Атомспецконтроль» и т.д.) и атомными станциями (Белоярская, Кольская АЭС и т.д.);
- наличие собственной материальной базы для изучения конструкций оборудования, технологий ремонта, выполнения НИР и ОКР.

Материальная база для подготовки специалистов по ТОиР сосредоточена в учебно-тренировочном комплексе кафедры «Атомная энергетика» (УТК), концепция развития которого определялась Департаментом по ремонту и техническому обслуживанию АЭС концерна «Росэнергоатом». В структуру УТК входят стендовая база для отработки практических навыков (рис. 4), лабораторная база для проведения НИОКР, вычислительный комплекс и учебно-методический центр.

В разработке стендовой базы учебно-тренировочного комплекса УГТУ активное участие принимали специалисты Белоярской АЭС, ПКП «Атомспецконтроль», СФ НИКИЭТ (г. Заречный), НИЦ «Надежность и ресурс больших систем машин» УрО РАН, Монтажное управление АО Трест «Уралэнергомонтаж» (г. Екатеринбург) и «Альфа диагностика» (г. Обнинск).

Стендовая база УТК включает в себя:

- устройства дистанционного контроля состояния металла;



Рис.4. Студенты кафедры АЭ на практических занятиях в УТК УГТУ

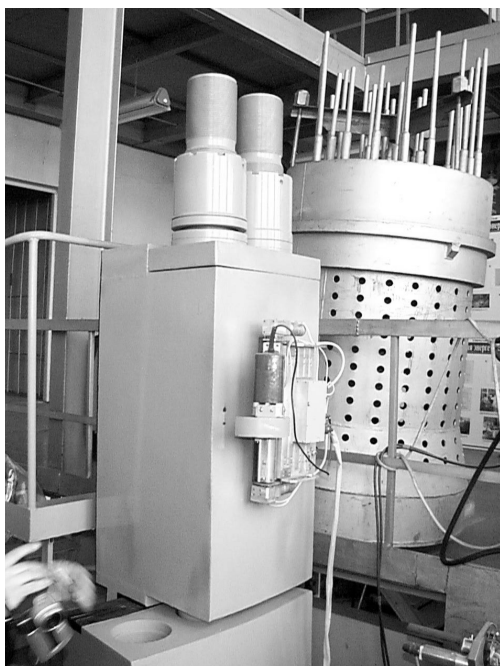


Рис. 5. Фрагмент главного разъема реактора ВВЭР-1000 с устройством для зачистки на магнитном двигателе

- устройства диагностики состояния оборудования;
- механизмы и оборудование для устранения повреждений на действующей установке (течи и пр.);
- масштабные макеты основного и вспомогательного оборудования АЭС;
- дистанционно-управляемые системы диагностики и ремонта.

Основные учебные и экспериментальные стенды УТК – это модели корпуса реактора ВВЭР-1000 с ВКУ, парогенератора ПГВ-1000, главного разъема реактора ВВЭР-1000 (рис. 5), коллектора парогенератора ПГВ-1000; макеты реакторного отделения ВВЭР-1000, ГЦН, фрагмента трубопроводной системы с опорами и подвесками; система технологического контроля реактора РБМК-1000; промышленные образцы фрагментов колонны графитовой кладки реактора РБМК-1000; переходных узлов технологического канала РБМК-1000; арматуры (более 30 наименований); фрагментов трубопроводов с дефектами.

Кроме того, для получения студентами практических навыков работы в УТК имеются автоматизированные и дистанционно управляемые комплексы для производства ремонтных работ: системы дистанционной газовой резки, сварки неповоротных стыков трубопроводов; зачистки и шлифовки поверхностей под УЗК и сварных соединений; дистанционной резки и сварки мембранных уплотнений; безвакуумного нанесения упрочняющих покрытий на трущиеся поверхности; магнитострикционная система сбора окислов натрия; магнитострикционная система очистки трубок теплообменных аппаратов; автомат сварки усикового шва ТК РБМК и т.д.

Среди систем контроля металла и диагностики состояния оборудования АЭС можно выделить следующие:

- многоканального УЗК корпуса реактора на магнитном двигателе;
- многоканального УЗК трубопроводов;
- токовихревого контроля ТК РБМК-1000;
- видеоконтроля внутренних и наружных поверхностей оборудования;
- оптического координирования плоскостности и вертикальности поверхностей и трубопроводов;
- измерения искривления ТК РБМК;
- контроля эллипсности ТК РБМК-1000;
- контроля зазоров металл-графит реактора РБМК-1000;
- вибрационного контроля вращающихся механизмов;
- акустического контроля приводов арматуры.

Манипулятор, разработанный ПКП «Атомспецконтроль» (г. Заречный) и предназначенный для проведения автоматического токовихревого контроля теплообменных труб парогенераторов АЭС с ВВЭР-1000, представлен на рис. 6.

Вычислительный комплекс УТК включает в себя системы автоматизированного

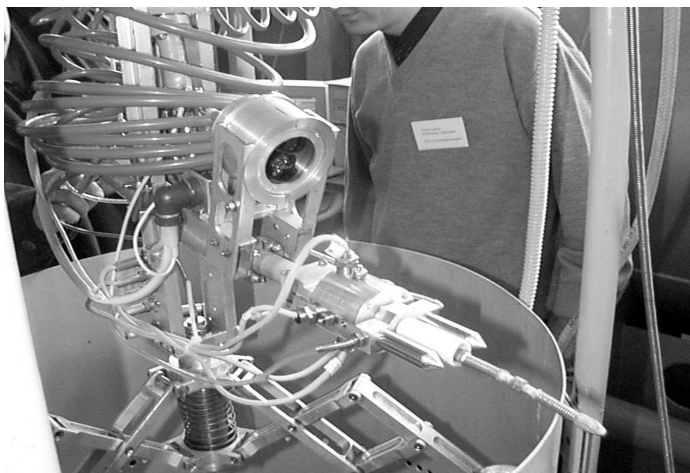


Рис.6.Манипулятор для автоматического токовихревого контроля труб парогенератора АЭС с ВВЭР-1000

рабочего проектирования; компьютерного контроля состояния металла; компьютерные обучающие системы и систему контроля знаний студентов (в том числе по нормативной документации); рабочие места телекоммуникационного обеспечения в системе «Интернет».

В состав учебно-методического центра УТК входят комплекс подготовки иллюстративно-демонстрационных материалов, технический архив, системы создания и демонстрации компьютерных баз графической и видеоинформации.

Во время обучения в УТК студенты знакомятся с основными технологическими процессами на АЭС, изучают конструкции оборудования, выполняют практические работы по контролю металла, диагностике и ремонту оборудования с использованием дистанционных и автоматизированных устройств. Значительное место в работе студентов в период прохождения практик на базе УТК занимает изучение технологии сложных и особо сложных работ (контроль и ремонт коллекторов ПГ, ГЦН, замена ПГ, технологических каналов РБМК, операции на главном разъеме корпуса ВВЭР). В практику обучения входит также планирование трудозатрат и дозозатрат при проведении ремонтов и ТО.

Отличительной особенностью функционирования УТК является возможность организации высококвалифицированного руководства научно-исследовательскими и опытно-конструкторскими разработками кафедры «Атомная энергетика» в области ремонтных технологий и операций. На всех стадиях учебного процесса в нем участвуют ведущие специалисты Белоярской АЭС, ПО «Атомэнергоремонт», ПКП «Атомспецконтроль», других организаций отрасли. Студенты кафедры привлекаются к реальным работам по разработке устройств и систем дистанционного контроля и ремонта оборудования АЭС, участвуют в выполнении работ по тематике организаций в их лабораториях и цехах.

В учебных мастерских кафедры выполняются работы по ремонту реального оборудования АЭС (трубопроводов, подвесок, опор, арматуры, насосов и пр.), приобретаются навыки работы с грузоподъемными механизмами и сварочным оборудованием, оснасткой и механизмами для ремонта. Для этих целей мастерские укомплектованы ремонтным оборудованием и инструментами, расходными материалами. В мастерских оборудовано 16 стендов – моделей оборудования АЭС, в том числе стенды регулировки и ремонта опор и подвесок трубопроводных систем, послеремонтной опрессовки оборудования, механизмы для дистанционной резки, шлифовки и сварки металла.

Несмотря на высокий технический уровень оснастки для ремонтных работ, имеющийся в УТК, весьма актуальна задача оснащения материальной базы комплекса новейшими и перспективными образцами ремонтного и диагностического оборудования с целью опережающей подготовки специалистов, владеющих навыками их эксплуатации. УТК имеет возможность проведения в период летних производственных практик обучения студентов других вузов по программе подготовки ремонтного персонала.

По согласованию с концерном «Росэнергоатом» был разработан и успешно реализуется план использования базы УТК для подготовки инструкторско-преподавательского персонала УТЦ и УТП по программам психолого-педагогического цикла, повышения квалификации специалистов атомной энергетики и промышленности среднего и высшего звена по профильным направлениям. Одним из последних мероприятий подобного рода на учебно-тренировочной базе кафедры «Атомная энергетика» Уральского государственного технического университета – УПИ стало повышение квалификации руководителей ремонтных подразделений АЭС России по направлению «Современные технологии ремонтных работ на АЭС», которое прошло с 16 по 26 февраля 2004 г., организованное Департаментом по ТОиР концерна «Росэнергоатом».

Более 10 лет кафедра «Атомная энергетика» специализируется на создании комплексов учебно-методического обеспечения (УМО) подготовки персонала по ТОиР, включающих в себя компьютерные курсы лекций по дисциплинам базовой и специальной подготовки специалистов, учебно-методические пособия для обучаемых и инструкторов (преподавателей) объемом 200-300 с., планы учебных занятий, комплекты контрольных заданий, плакаты, слайды (до 150 шт. на один курс) и т.д. Все учебные курсы в комплектах с УМО оформлены в виде CD-дисков [3], [4].

В настоящее время кафедрой подготовлено и успешно реализуется как в собственном учебном процессе, так и в учебных процессах учебно-тренировочных центров и пунктов АЭС России более 30 компьютерных учебных курсов. Для реализации данных курсов кафедра располагает тремя мультимедийными аудиториями с компьютерным и видеопроекционным оборудованием. Опыт разработки учебно-методических материалов для студентов был использован кафедрой для создания комплексов УМО подготовки ремонтного персонала для Смоленского УТЦ, Ново-Воронежского АТЦ, УТЦ НИИАР и других организаций отрасли.

Сотрудниками кафедры написан ряд учебников и учебных пособий, посвященных вопросам технического обслуживания и ремонта систем и оборудования АЭС, получивших широкое признание на АЭС, в УТЦ, ремонтных организациях – *Ташлыков О.Л. и др. Эксплуатация и ремонт оборудования ядерных паропроизводящих установок АЭС.* – М.: Энергоатомиздат, 1995 (в 2-х книгах), *Шастин А.Г. Контроль состояния металла оборудования ядерных энергоустановок.* – Екатеринбург: УГТУ, 1998, *Ташлыков О.Л. Ремонт оборудования атомных станций/Под ред. проф., д.т.н. С.Е. Щеклеуна.* – Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2003 и др.

## **ВЫВОДЫ**

1. Человеческий фактор играет в обеспечении безопасности АЭС не менее важную роль, чем надежность оборудования. Среди нарушений по вине персонала примерно треть происходит по вине ремонтного персонала, что говорит о проблемах подготовки ремонтного персонала.

2. Для преодоления незнания, профессиональной некомпетентности требуется совершенствование подготовки ремонтного персонала в высших, средних специальных учебных заведениях, учебно-тренировочных центрах.



3. Пристальное внимание следует уделять приобретению специалистами практических навыков и ошибкам обслуживания, которые первыми могут вызвать нарушение в работе агрегата.

4. Опыт Уральского государственного технического университета по подготовке ремонтного персонала показывает, что наибольших результатов удастся достичь при широкой интеграции учебного заведения с научно-исследовательскими организациями, предприятиями отрасли, а также атомными электростанциями, являющимися конечными потребителями кадров.

5. Для повышения эффективности подготовки специалистов по ТОиР систем и оборудования АЭС необходимо повысить уровень приоритетности данной задачи (главным образом, в финансовом отношении); целесообразно восстановить практику государственного долгосрочного заказа на подготовку специалистов данного профиля в базовых вузах России.

### **Литература**

1. Вестник концерна «Росэнергоатом». – 2003. – №2. – С. 6-9.
2. Вестник концерна «Росэнергоатом». – 2004. – №2. – С. 2-3.
3. Сорокин Ю.И., Щеклеин С.Е., Ташлыков О.Л., Велькин В.И., Чепрасов В.Г., Стасюк В.Т. Создание учебно-методических комплексов для подготовки ремонтного персонала АЭС/Проблемы подготовки специалистов для ядерной энергетики: Сборник методических работ. – М.: Издательство МЭИ, 2000. – С. 32-36.
4. Щеклеин С.Е., Ташлыков О.Л. Опыт разработки учебно-методического обеспечения подготовки специалистов по ремонту оборудования АЭС // Новые образовательные технологии в вузе/Сб. тезисов Всероссийской научно-методической конф. – Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2001. – С. 61-62.

Поступила в редакцию 20.05.2004

cal computation of velocity and temperature fields of a coolant in the different cross sections throughout a model assembly height are presented.

**УДК 621.039.51**

*The Study of the Mode of the Surface Boiling in Transport Active Zone \ V.I. Korolev, I.I. Loshchakov; Editorial board of Journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2004. – 8 pages, 3 illustrations. – References, 5 titles.*

The heat transfer in the active zone of transport reactor of the atomic icebreaker was investigated. The functions of the temperature change of the bare fuel shell depending on the heat power of the reactor were obtained at the time of performing maneuver by power of the ship energy installation.

**УДК 532.58**

*Vibrations of Hydrodynamically Coupled Systems/ V.S.Fedotovskiy, T.N.Verestchagina; Editorial board of Journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2004. – 9 pages, 7 illustrations. – References, 7 titles.*

One-dimension vibrations of a body with hole filled by liquid and another body are considered as an example of hydrodynamically coupled systems. Correlations of added mass matrix elements are obtained. The analysis of natural frequencies and forced amplitudes is developed. The parameters of system when the unlimited resonant oscillations are occurring in spite of liquid viscous are obtained. The experimental data of “tube in tube” hydrodynamically coupled vibrations are presented.

**УДК 621.039.53: 621.311.25**

*Investigation of Single-Circuit NPP Turbomachine Rotor Stability. On the Possibility of Quadratic Nonlinearity Substitution by Cubic One for the System of Electromagnetic Rotor Suspension \ V.S. Vostokov, A.V. Khodykin; Editorial board of Journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2004. – 4 pages. – References, 7 titles.*

Asymptotic stability of electromagnetic suspension non-linear system without bias currents is proven by Lyapunov method. The admissibility of quadratic non-linearity substitution by cubic one is proven from the point of view of zero equilibrium state stability.

**УДК 621.039: 621.311.25**

*The Cooperations of “ROSENERGOATOM” and Ural State Technical University in the Area of Personnel Training for Servicing and Equipment Maintenance with Reference to Nuclear Power Plants \ S.E. Sheklein, O.L. Tashlikov, V.I. Velkin, A.G. Shastin, V.N. Dementev, N.I. Markelov, Yu. I. Sorokin; Editorial board of Journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2004. – 9 pages, 6 illustrations. – References, 4 titles.*

Analyses of repairing downtime durations for different types of nuclear power plant's (NPP) power units as well as the forecasting of maintenance personnel up to year 2010 is carried out. The necessity of capacity factor growth due to reducing of the repairing downtime by means of repairing period's optimization and elimination of the off-scheduled stopping associated with low quality repairs is shown. The classification of NPP personnel violations, the ways to illuminate such violations including improvements in training of the personnel for servicing and equipment maintenance (SEM) at the institutions of higher education are considered. The experience in organization of the training of personnel for SEM in Ural State Technical University and the role of the training complex at “Nuclear power” sub-faculty in improving the training of personnel with higher education are considered.

**УДК 621.039.534: 536.4**

*The Temperature Effect upon the Oxide Layer Growth Rate which Forms during Oxidation in the Eutectic Pb-Bi Alloy Stream \ Yu. V. Shumov, I.N. Gorelov; Editorial board of Journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2004. – 11 pages, 2 tables, 2 illustrations. – References, 8 titles.*

The results of X-ray examination of the model tube surface, made of the 16C12Cr2MoWSiNbVB ferritic-martensitic steel, after model lengthy testing in the stream of eutectic Pb-Bi alloy with temperature drop in from 300°C to 600°C on the length of 600 mm, are presented. Before testing the model tube did not have oxide film on the surface. X-ray researches were carried out in the surface