

АТОМНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

Корпоративное издание саморегулируемых
организаций атомной отрасли

№16 | октябрь-ноябрь | 2013

СРО НП «СОЮЗАТОМСТРОЙ», СРО НП «СОЮЗАТОМПРОЕКТ», СРО НП «СОЮЗАТОМГЕО»



**В.И. Лебедев: «Динамичное
развитие атомных технологий
находит отражение в содержании
программ обучения»**

В номере:

■ Тема номера

Технологии сооружения объектов использования атомной энергии

■ Интервью

Директор Института ядерной энергетики (ИЯЭ), доктор технических наук, профессор Валерий Иванович Лебедев [СТР.8](#)

■ Испытания

Крупномасштабный контейментный стенд для моделирования аварийных процессов АЭС с ВВЭР [СТР.10](#)

■ Технологии

Виртуальный энергоблок АЭС с ВВЭР (ВЭБ) [СТР. 15](#)

■ Производство

Разработка и производство импортозамещающей продукции для АЭС [СТР. 36](#)

АТОМНОЕ строительство

Редакционный совет:

Опекунов В.С. - **председатель**
Денисов В.А.
Карина В.И.
Малинин С.М.
Семенов О.Г.
Толмачев А.В.
Чупейкина Н.Н.
Яковлев Р.О.

Корпоративное издание саморегулируемых организаций атомной отрасли (СРО НП «СОЮЗАТОМСТРОЙ», СРО НП «СОЮЗАТОМПРОЕКТ», СРО НП «СОЮЗАТОМГЕО»)

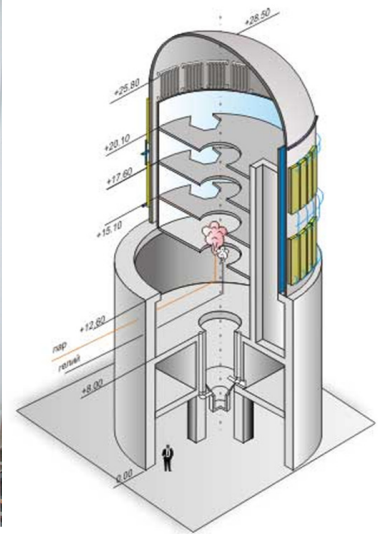
Контакты:

119017, Москва, улица Большая Ордынка, дом 29, стр. 1
Тел.: +7 (495) 646-73-20 (Доб. 397)
Факс: +7 (495) 953-73-43
E-mail: pressa@atomsro.ru

При перепечатке материалов ссылка на журнал «Атомное строительство» обязательна. Рукописи не рецензируются и не возвращаются.

Публикуемые в журнале материалы, суждения и выводы могут не совпадать с точкой зрения редакции и являются исключительно взглядами авторов.

ТЕМА НОМЕРА: технологии сооружения АЭС



Крупномасштабный контейментный стенд КМС ФГУП «НИТИ им. Александрова»

Создание крупномасштабного стенда КМС было вписано в концепцию проекта АЭС нового поколения средней мощности повышенной безопасности с ВВЭР-640, разработанную ОАО СПБАЭП (г. Санкт-Петербург), которая предусматривала принципиально новые технические решения, ориентированные на применение преимущественно пассивных систем аварийного охлаждения активной зоны и защитной оболочки. Естественно, что новые технические решения требовали расчетно-экспериментального обоснования их эффективности и надежности. Техническое задание «Крупномасштабный стенд для моделирования аварийных процессов на АЭС нового поколения с ВВЭР-500 (КМС ВВЭР-500)» разработано специалистами ОКБ «Гидропресс», СПБАЭП, ИАЭ, НИТИ, ФЭИ, НПО ЦКТИ, подписано руководителями этих организаций и утверждено начальниками 16ГНТУ и 26ГУ Минатома в 1991 г. При разработке технического задания был учтен мировой и отечественный опыт моделирования аварийных процессов АЭС...

Подробнее на стр. 10

НТД

04

Разработка технологических регламентов

- Для обеспечения заданных темпов строительства серий типовых энергоблоков АЭС с реакторами ВВЭР-ТОИ в Российской Федерации и за рубежом необходимо на основе рабочей документации осуществить разработку детализированных технологических регламентов проведения строительно-монтажных работ.

Целью разработки системы технологических регламентов является обеспечение планомерного перехода на поточное возведение типовых энергоблоков на основе глубоко проработанных технологических регламентов, создающих условия для определения



Пульт оператора виртуального энергоблока АЭС (ВЭБ).

Интервью

08

Директор Института ядерной энергетики (ИЯЭ) В.И. Лебедев

Современный выпускник должен быть максимально подготовленным к работе с современными технологиями, постоянному совершенствованию своих профессиональных компетенций. В связи с этим, стоит задача не просто дать некую сумму теоретических знаний, а сформировать способность к профессиональной деятельности в условиях постоянного интенсивного технологического развития. Поэтому, лозунг «Учись учиться!» актуален как никогда.

Динамичное развитие технологии находит свое отражение в содержании программ повышения квалификации. Масштабность поставленных перед атомной отраслью задач, заставляет специалистов сталкиваться с новыми областями профессиональной деятельности, что приводит к необходимости совершенствовать учебный процесс.

В фокусе

15

Виртуальный энергоблок АЭС В России в 2010-2012 годах был реализован приоритетный проект «Развитие суперкомпьютеров и грид-технологий», утвержденный Комиссией при Президенте Российской Федерации по модернизации и технологическому развитию экономики России. Головной организацией по данному проекту был определен ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» (далее ВНИИЭФ), при этом реализация проекта предполагала успешное выполнение работ по внедрению суперкомпьютерных технологий (СКТ) в различные области промышленности, в том числе и в атомную энергетику [8]. В рамках данного проекта была разработана база «Виртуального энергоблока АЭС» (ВЭБ), в том числе и пилотная версия ВЭБ ЛАЭС-2 на средствах программно-технического комплекса «Виртуальный энергоблок АЭС с ВВЭР» (ПТК «ВЭБ»).

Мнение

23

Виктор Васильевич Биктимиров о технологии, опередившей свое время Сегодня, когда решается вопрос: «Быть или не быть типовой серийной АЭС полностью отечественной конкурентоспособной не только по технологии производства электроэнергии, но и по технологии её строительства?», соединилось много объективных причин для использования в строительстве «Балаковской модели». Упомянутая технология, основанная на применении в качестве основного грузоподъемного механизма уникального козлового крана

Технологии

36

Разработка и производство импортозаменяющей продукции для АЭС Возрастающие объемы монолитного строительства показывают необходимость использования ряда инновационных методов, существенно удешевляющих конечную стоимость возводимых объектов.

Технологические регламенты для производства СМР при строительстве АЭС проекта ВВЭР-ТОИ



Для обеспечения заданных темпов строительства серий типовых энергоблоков АЭС с реакторами ВВЭР-ТОИ в Российской Федерации и за рубежом необходимо на основе рабочей документации осуществить разработку детализированных технологических регламентов проведения строительно-монтажных работ. С этой целью 10 сентября 2013 года ОАО «Концерн Росэнергоатом» и СПО атомной отрасли подписали соглашение по обеспечению разработки технологических регламентов выполнения строительно-монтажных и пусконаладочных работ при сооружении типовых энергоблоков АЭС с реакторами ВВЭР-ТОИ. Документ подписан в рамках заключенных ранее соглашений о взаимодействии и сотрудничестве между Госкорпорацией Росатом и СПО атомной отрасли от 26 августа 2011 года, а также между ОАО «Концерн Росэнергоатом» и СПО атомной отрасли от 18 сентября 2012 года. Основной целью соглашения является формирование детализированной технологической основы сооружения серии типовых энергоблоков АЭС с реакторами ВВЭР-ТОИ, предусматривающих

применение современных строительных технологий и методов организации строительного производства. Согласно документу, технологические регламенты будут оформляться в виде стандартов ОАО «Концерн Росэнергоатом» и СПО атомной отрасли с обеспечением разработки, введения в действие, контроля и ответственности при исполнении требований данных стандартов в организациях-членах отраслевых саморегулируемых организаций. Реализация соглашения предусматривает 3 этапа, которые включают, в том числе формирование перечня современных строительных технологий, конструкций и материалов, которые станут основой для разработки технологических регламентов. ОАО «Концерн Росэнергоатом» и СПО атомной отрасли формируют совместную программу по разработке стандартов с учетом приоритета разработки технологических регламентов на особо сложные этапы и комплексы работ. Разработка и согласование проекта АЭС с ВВЭР-ТОИ в настоящее время завершается. Однако, в отрасли пока нет единой системы технологических регламентов выполнения строительно-монтажных работ при строительстве АЭС, которые учитывали бы разночтения некоторых пунктов нормативной документации.

Подробнее о разработке технологических регламентов читайте в материале специалистов ОАО «ВНИПИЭТ», г. Сосновый Бор

ОАО «ВНИПИЭТ», г. Сосновый Бор

Аленькин Д.Я., Верзаков Н.В., Коженков А.Б., Нападков В.А., Савченко Т.Ю.

Приказом от 01.03.2011 №1/158-П Госкорпорации «Росатом» « Об организации работ по проекту «Создание Типового Проекта оптимизированного энергоблока по технологии ВВЭР (ВВЭР-ТОИ)», принято решение создать типовой проект энергоблока АЭС технологии ВВЭР, оптимизированный по технико-экономическим параметрам и выполненный в современной информационной среде.

Для обеспечения заданных темпов строительства серий типовых энергоблоков АЭС с реакторами ВВЭР-ТОИ в Российской Федерации и за рубежом необходимо на основе рабочей документации осуществить разработку детализированных технологических регламентов проведения строительно-монтажных работ.

Целью разработки системы технологических регламентов является обеспечение планомерного перехода на поточное возведение типовых энергоблоков на основе глубоко проработанных технологических регламентов, создающих условия для определения

последовательности и продолжительности работ и определения стоимости законченного строительства объекта. Эти технологические регламенты должны разрабатываться в соответствии с неизменяемой частью проектной документации, которая практически не зависит от условий конкретной площадки и разработана для природно-климатических условий, характерных для большинства намеченных к сооружению площадок строительства

(ядерный остров, здание турбины, здания обеспечения систем безопасности), и служит совместно с необходимой рабочей документацией исходными данными для разработки ППР на СМР для основных зданий АЭС с ВВЭР-ТОИ.

Технологические регламенты, создаются на основе неизменяемой части проектной документации, так же являются неизменяемой частью в общем составе проектно-технологической основы для возведения типовых блоков АЭС. Разработка и согласование проекта АЭС с ВВЭР-ТОИ в настоящее время завершается. Однако, в настоящее время нет единой системы технологических регламентов выполнения строительно-монтажных работ при строительстве АЭС, которые учитывали бы разночтения некоторых пунктов нормативной документации. Наиболее значи-

мые расхождения в постановке задачи создания АЭС проекта ВВЭР-ТОИ и действующих нормативно-технических документов представлены в таблице 1.

Существует коллизия между задачами проекта ВВЭР-ТОИ в сфере производства СМР и существующей нормативно-технической документацией. Для решения вышеуказанных требований необходимо разработать технологические регламенты на выполнение строительно-монтажных работ для АЭС с ВВЭР-ТО, разработанных из имеющегося положительного опыта подрядных организаций на основе изучения и обобщения, а так же по результатам проводимых научно-исследовательских опытно-конструкторских работ. Кроме того технологические регламенты должны устанавливать:

- последовательность возведения основных зданий и их частей, требования к методам производства, техническим средствам, условиям, порядку и параметрам технологических процессов в рамках реализации проекта ВВЭР-ТОИ.

- при сооружении за рубежом РФ АЭС по проекту ВВЭР-ТОИ, учитывать требования национальных стандартов стран (если они не противоречат требованиям МАГАТЭ), в которых осуществляется сооружение АЭС с ВВЭР-ТОИ.
- обеспечение высокого качества строительства энергоблоков на основе унифицированной технологии строительства атомных электростанций проекта ВВЭР-ТОИ;

- создание условий для качественной подготовки строительства энергоблоков, включая проектирование и изготовление сложной технологической оснастки, такелажных систем;
- оптимизация продолжительности и

стоимости строительства энергоблоков АЭС;

- обеспечение механической безопасности основных зданий по параметрам надежность, прочность, долговечность в период жизненного цикла;
- обеспечение безопасности строительно-монтажных работ.

- технологические регламенты должны стать обязательными для всех участников проектирования и строительства основных зданий АЭС с ВВЭР-ТОИ при разработке как проекта, рабочей и организационно-технологической документации на строительство реконструкцию, капитальный ремонт и консервацию основных зданий АЭС с ВВЭР-ТОИ. Разработку технологических регламентов следует производить по Стандарту СРО атомной отрасли «Технологические регламенты на выполнение СМР для основных зданий АЭС с ВВЭР-ТОИ. Общие требования», находящемся в настоящее время на согласовании.

Исходными данными для разработки технологических регламентов являются: настоящий стандарт, проектная документация на АЭС с ВВЭР-ТОИ (основные здания и сооружения – неизменяемая часть), техническое задание, ПОС АЭС с ВВЭР-ТОИ, материалы научно-исследовательских работ по использованию новых материалов на строительстве АЭС и внедрению новых технологий строительно-монтажных работ. Место «Технологических регламентов на выполнение строительно-монтажных работ для основных зданий АЭС с ВВЭР-ТОИ» указано на рисунке.



Требования к проекту ВВЭР-ТОИ	Комментарий	Выводы
<p>1. Цель проекта ВВЭР-ТОИ: Создание Типового Проекта энергоблока АЭС по технологии ВВЭР-ТОИ, оптимизированного по технико-экономическим параметрам, выполненного в современной информационной среде.</p> <p>2 Задачи проекта ВВЭР-ТОИ</p> <ul style="list-style-type: none"> - Актуализация нормативно-правовой базы в части устранения устаревших и сдерживающих развитие положений для обеспечения возможности применения в Проекте новых технологий проектирования и сооружения. - Создание современной информационной среды для конструирования, проектирования и моделирования сооружений энергоблока АЭС. - Оптимизация технико-экономических параметров энергоблока, исходя из задачи улучшения интегральной экономики для пользователя\заказчика на всех этапах жизненного цикла энергоблока (снижение стоимости и сроков сооружения, снижение эксплуатационных затрат). 	<p>Согласно цели и задачам проекта необходимо в процессе строительства применить современные методы организации строительства, инновационные технологии строительного производства сдерживающих развитие положений для обеспечения возможности применения в Проекте новых технологий проектирования и сооружения.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Создание современной информационной среды для конструирования, проектирования и моделирования сооружений энергоблока АЭС. - Оптимизация технико-экономических параметров энергоблока, исходя из задачи улучшения интегральной экономики для пользователя\ заказчика на всех этапах жизненного цикла энергоблока (снижение стоимости и сроков сооружения, снижение эксплуатационных затрат), повысить параметры безопасности зданий и сооружений на весь период жизненного цикла, сократить сроки строительства, оптимизировать технико-экономические показатели строительства. 	
<p>1. Постановление Правительства РФ от 16 февраля 2008 г. N 87 «О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию»</p> <p>2. Положение «О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию»</p> <p>Состав разделов проектной документации на объекты капитального строительства производственного и непроизводственного назначения и требования к содержанию этих разделов:</p> <p>Подраздел «Технологические решения» раздела 5 должен содержать: в текстовой части:</p> <p>п) описание и обоснование проектных решений, направленных на соблюдение требований технологических регламентов;</p>	<p>В настоящее время в составе рабочей документации не представлены сведения о технологических регламентах производства строительно-монтажных работ; технологические регламенты производства строительно-монтажных работ не разрабатываются.</p>	<p>В настоящий период технологические регламенты в составе рабочей документации отсутствуют.</p>
Требования действующих нормативно-технических документов к организационно-технологической документации		
<p>НП-001-97</p> <p>п.1.2.5 Технические и организационные решения, принимаемые для обеспечения безопасности АС, должны быть апробированы прежним опытом или испытаниями, исследованиями, опытом эксплуатации прототипов и соответствовать требованиям нормативных документов. Такой подход должен применяться не только при разработке оборудования и проектировании АС, но и при изготовлении оборудования, сооружении и эксплуатации АС, при реконструкции АС и модернизации ее систем (элементов).</p>	<p>Применительно к методам организации строительства и применению базы механизации на практике данное указание понимается как условие для применения имеющихся производственных возможностей подрядчика, дальнейшее развитие и применение инноваций не является обязательным.</p>	
<p>СП 48.1333.2011</p> <p>П. 5.7.5 Проект производства работ в полном объеме включает в себя: технологические карты на выполнение видов работ; Исходными данными для разработки решений в ППР являются необходимая рабочая документация; существующая в организации база механизации.</p>	<p>Указание на применение имеющихся производственных возможностей подрядных строительно-монтажных организаций. Внедрение инновационных технологий для подрядных организаций не является обязательным условием при сооружении АЭС с ВВЭР-ТОИ</p>	

Технологические регламенты в системе проектной, рабочей и организационно-технологической В технологических регламентах должны учитываться при разработке проектной и организационно-технологической документации (ПОС на сооружение в заданных условиях конкретной площадки, ППР, рабочей документации). Технологические регламенты не являются заменой проектов производства работ, а входят в их состав и являются неизменяемой частью организационно-технологической документации проекта ВВЭР-ТОИ.

Применительно к содержанию проектов производства работ на особо сложные объекты (ОС ППР) при возведении АЭС с ВВЭР-ТОИ, рассмотрим долю технологических регламентов в содержании ОС ППР. Состав ОС ППР взят из СТО 95 104-2013 Разработка проектов производства работ (приложение В).

Для наглядности доли занимаемые технологическим регламентом в составе ОС ППР выделены цветом.

Общие требования к содержанию особо сложных проектов производства работ:

- 1 Титульный лист
- 2 Содержание
- 3 Исходные данные
- 4 Общие указания
- 5 Календарный план производства работ
- 6 Строительный генеральный план
- 7 График поступления строительных конструкций, изделий, материалов и оборудования
- 8 Локальный график производства работ
- 9 График движения рабочих кадров по объекту
- 10 График движения основных строительных машин по объекту
- 11 Ведомость необходимой технологической оснастки, в случае индивидуального изготовления – чертежи
- 12 Схемы монтажа и другие схемы (установки, кантовки и т.)
- 13 Схемы строповки грузов и конструкций. Схемы складирования (при необходимости)
- 14 Схемы движения рабочих к месту работы по фронтам работ с указанием зон отдыха, лестниц, переходов, временных укрытий и т.
- 15 Перечень технологического инвентаря и оснастки для выполнения строительных работ
- 16 Технология выполняемых работ или технологические карты на выполнение видов работ (при необходимости и по решению разработчика ППР)
- 17 Перечень исполнительной и технической документации, оформляемой в ходе выполнения и приемки работ
- 18 Визуальная модель производства работ.
- 19 Операционный контроль качества работ (карты, схемы)
- 20 Ссылочные материалы (при необходимости) прилагаемые
- 21 Пояснительная записка
- 22.1 Решения, принятые на основании ППР
- 22.2 Решения по прокладке временных сетей водо-, тепло-, энергоснабжения и освещения строительной площадки и рабочих мест
- 22.3 Обоснования и мероприятия по применению мобильных форм организации работ, режимы труда и отдыха
- 22.4 Решения по производству работ, включая зимнее время
- 22.5 Потребность и привязка городков строителей и мобильных (инвентарных) зданий
- 22.6 Потребность в основных и вспомогательных материалах
- 22.7 Мероприятия по обеспечению сохран-

ности материалов, изделий, конструкций и оборудования на строительной площадке

22.8 Природоохранные мероприятия

22.9 Мероприятия по охране труда и обеспечению промышленной безопасности

22.10 Техничко-экономические показатели, включая объемы и продолжительность выполнения строительно-монтажных работ, а также их себестоимость в сопоставлении со сметной, уровень механизации и затраты труда на 1 м³ объема, 1 м² площади здания, на единицу физических объемов работ или иной показатель, принятый для определения производительности труда

22.11 Ведомость дополнительных объемов, работ и материалов, не учтенных в РД

22.12 Мероприятия по обеспечению пожарной безопасности

22.13 Мероприятия при ЧС

Красный - Безусловное требование технологического регламента

Желтый - Компетенция разработчика ОС ППР с учетом решений технологического регламента

Зеленый - Полная компетенция разработчика ОС ППР

Технологические регламенты, входящие в состав ППР, позволяют также вести операционный контроль качества строительно-монтажных работ на различных стадиях строительства.

Привлекаемый для оказания услуг по разработке технологических регламентов ответственный Исполнитель и его соисполнители должны быть компетентны в вопросах стандартизации и технического регулирования в Российской Федерации и иметь опыт в области разработки нормативных и организационно-технологических документов, устанавливающих требования к производству строительно-монтажных работ на АЭС и иметь иные разрешительные документы предусмотренные требованиями Федерального законодательства.

Технологические регламенты, составленные для основных конструктивных

элементов энергоблоков с реактором ВВЭР-ТОИ, должны содержать:

- детальное описание конструктивного элемента здания, сооружения, инженерной системы с указанием перечня и последовательности подлежащих выполнению работ в рамках соответствующего технологического регламента

- маршрутные карты выполнения операций, операционные карты с описанием технологических процессов изготовления элементов сборочных единиц;

- карты операционного и приемочного контроля с приложением типовых форм банных карт по видам работ;
- перечень монтируемого оборудования, материалов изделий и конструкций;

- схемы механизации работ, предусматривающие расстановку механизмов и оборудования;

- требования к организации рабочих мест;

- требования к охране труда и техники безопасности при выполнении СМР.

- требования к противопожарным мероприятиям при выполнении работ

- численный и квалификационный состав привлекаемых работников;

- применяемое оборудование и средства технического оснащения рабочих мест;

- определение (расчёт) операционного времени

- определение (расчёт) трудоёмкости работ в составе технологического регламента;

Перенос большей части трудозатрат при строительстве АЭС из построечных условий в заводские, использование, в связи с этим, новых технологических материалов и конструкций требует детальной разработки технологических регламентов, для обеспечения выстрой, точной и безопасной работы при сооружении АЭС из армокарксных строительных блоков и монтажных блок-модулей.

Использование технологических регламентов при разработке проектов производства работ, позволит ускорить, унифицировать и удешевить выпуск ППР.





«Строим атомную отрасль вместе»

На вопросы журнала «Атомное строительство» ответил Директор Института ядерной энергетики (ИЯЭ), доктор технических наук, профессор Лебедев Валерий Иванович

Валерий Иванович, как Вы оцениваете состояние системы образования в отрасли?

Возможности системы образования в настоящий момент не в полной мере соответствует масштабности поставленных перед отраслью задач.

Важнейшей проблемой образовательной системы отрасли является старение научно-педагогических кадров. На смену старшему поколению должна прийти молодежь, готовая посвятить себя научно-педагогической деятельности. Но, низкий уровень заработных плат преподавателей отпугивает выпускников от работы в вузе. Эта тенденция опасна потерей научно-педагогических школ, преемственности поколений.

Несмотря на трудности, вузы пока обладают достаточным потенциалом, чтобы подготовить квалифицированных специалистов, обладающих необходимыми профессиональными знаниями и компетенциями.

Обнадеживает тот факт, что в последнее время на государственном уровне принимаются решения, направленные на преодоление обозначенных проблем.

На сколько, на Ваш взгляд, необходимо ориентировать профессиональное образование на создание научного потенциала отрасли из молодых специалистов?

Серьезный научный потенциал Советского Союза позволил в свое время создать мощнейшую отрасль. Ядерная наука и образование занимали особое место в техническом образовании, что дало свои позитивные результаты. Работа в отрасли была престижна. Однако, в последние 20 лет, эти позиции были практически утрачены, вследствие чего в отрасли образовался серьезный демографический провал. Так, средний возраст научных работников и специалистов составляет 60-70 лет. Необходимо создать такую мотивацию для молодежи, которая могла бы сделать карьеру в атомной науке и технике привлекательной. Очень актуальной является проблема сохранения, передачи и эффективного управления ядерными знаниями. Полный цикл существования АЭС превышает 100 лет с момента проектирования до вывода из эксплуатации, что требует усилий нескольких поколений специалистов – производственников и ученых, занимающихся вопросами поддержки эксплуатации, продуцированием

новых знаний. Ослабление научного потенциала отрасли грозит негативными экономическими и техногенными последствиями. Избежать этих последствий можно только при интеграции образования, науки и промышленности.

В данном направлении у Института ядерной энергетики есть определенный опыт. В ИЯЭ удалось сформировать коллектив научно-педагогических кадров, задействовав научный потенциал НИТИ, производственный опыт ведущих специалистов ЛАЭС, академические знания классических преподавателей. Такой подход не только повышает педагогическую эффективность работы коллектива, но и позволяет вести работу в направлении НИР и ОКР по актуальным отраслевым проблемам, при этом результаты НИОКР непосредственно используются в учебном процессе.

Во время обучения часть студентов проявляет способности к научной деятельности. Важно развить эти способности, так как научный потенциал молодого специалиста – залог успешного развития отрасли.

В виду того, что год от года происходит технологическое развитие отрасли, необходимо ли совершенствовать образовательный процесс с учетом новых веяний?

Безусловно, современный выпускник должен быть максимально подготовленным к работе с современными технологиями, постоянному совершенствованию своих профессиональных компетенций. В связи с этим, стоит задача не просто дать некую сумму теоретических знаний, а сформировать способность к профессиональной деятельности в условиях постоянного интенсивного технологического развития. Поэтому, лозунг «Учись учиться!» актуален как никогда.

Развитие ядерных технологий – мировой процесс, в связи с чем существует необходимость международного сотрудничества. Поэтому владение иностранным языком является настоятельной необходимостью.

С учетом данной тенденции в нашем институте иностранный язык изучается на протяжении всего периода обучения. Кроме базового курса, предусмотренного федеральными государственными образовательными стандартами, в учебный план введены такие дисциплины, как «Профориентированный английский язык», «Основы

научно-технического перевода», «Английский язык делового общения», «Технический иностранный язык». Защита дипломных проектов проходит также на английском языке. Владение иностранным языком расширяет возможности профессионального развития через знакомство с иностранными публикациями, техническими отчетами, участие в международных конференциях и семинарах, технических совещаниях.

Динамичное развитие технологии находит свое отражение в содержании программ повышения квалификации. Масштабность поставленных перед атомной отраслью задач, заставляет специалистов сталкиваться с новыми областями профессиональной деятельности, что приводит к необходимости совершенствовать учебный процесс в следующих направлениях:

- интеграции таких смежных областей знаний как ядерные технологии, теплофизика, строительство, экология;

- развитие технологий обучения, позволяющих максимально эффективно сформировать необходимые компетенции.

За счет системы повышения квалификации мы имеем возможность вооружить знаниями специалистов по актуальным проблемам энергетики.

Какова роль практического обучения в подготовке специалистов, их работы в реальных условиях строительства объектов отрасли?

Необходимость практического обучения в подготовке специалистов не требует доказательств. Поэтому представляется эффективным максимальное приближение образования к производству. Преследуя данную цель, еще в 1996 году руководство Ленинградской атомной электростанции явилось инициатором создания Института ядерной энергетики (филиала) Санкт-Петербургского государственного политехнического университета в г. Сосновый Бор.

Приближенность обучения к производству позволяет познакомить студента с конкретными производственными задачами уже в процессе практики, что снижает время адаптации молодого специалиста. Эффективность данного направления подтверждается результатами

«Современный выпускник должен быть максимально подготовленным к работе с современными технологиями, постоянному совершенствованию своих профессиональных компетенций»

реализации системы целевой контрактной подготовки, особенностью которой в ИЯЭ является трудоустройство студентов старших курсов на рабочие места. Показательно, что такие студенты, по оценкам преподавателей и руководителей производственных подразделений, более осознанно подходят к освоению учебного плана, демонстрируют более высокое качество выполнения курсовых и дипломных проектов, мотивированы на совершенствование знаний.

Город Сосновый Бор уникален тем, что на его территории сосредоточены объекты атомной энергетики, находящиеся на разных этапах жизненного цикла: строительство Ленинградской АЭС-2, промышленная эксплуатация, продление ресурса работы энергоблоков Ленинградской АЭС-1, а также подготовка к выводу из эксплуатации. Особенно ценно, что наши студенты являются свидетелями этих процессов.

Как решить проблему последующей занятости выпускников на строительных площадках отрасли?

В настоящий момент Россия строит 13 энергоблоков, в ближайшей перспективе – 21, поэтому скорее стоит проблема не занятости выпускников, а нехватки квалифицированных кадров, способных участвовать на этапах строительства, приемки и монтажа оборудования, проведения пуско-наладочных работ на новых АЭС. Тесное, эффективное взаимодействие строителей и специалистов по эксплуатации позволит повысить качество выполняемых работ.

Крупномасштабный контейментный стенд КМС для моделирования аварийных процессов АЭС с ВВЭР

Авторы: Филин Р.Д., Мигров Ю.А., Засуха В.К.

ФГУП «Научно-исследовательский технологический институт им. А.П. Александрова»



Рис.1 Крупномасштабный контейментный стенд КМС

Создание экспериментальных установок для моделирования и исследования теплогидравлических процессов, которые могут иметь место в циркуляционном контуре реакторной установки и в атмосфере защитной оболочки при проектных и запроектных авариях на АЭС, является широко принятой мировой практикой. Особое внимание в ряду этих исследований уделяется процессам, связанным с течами теплоносителя, а также с тяжелыми авариями, сопровождающимися выбросом большого количества энергии, радиоактивных продуктов и водорода в атмосферу защитной оболочки АЭС. Как показывает имеющийся негативный опыт таких аварий на ТМ1 (США), Чернобыльская АЭС (СССР), Фукусима (Япония), в случае потери герметичности или разрушения защитной оболочки выход радиоактивных продуктов за ее пределы приносит большой вред

здоровью людей, природной среде и, как следствие, значительный экономический ущерб.

Защитная оболочка является последним барьером на пути распространения радиоактивных продуктов в окружающую среду и поэтому обоснование ее целостности и герметичности при любых сценариях развития тяжелой аварии является непременным требованием к проекту АЭС. Задача заключается не только в точном прогнозировании процессов, которые могут иметь место при развитии аварии, но и в разработке технических средств управления тяжелой аварией, позволяющих предотвращать и смягчать ее последствия.

На современном этапе развития атомной энергетики обоснование безопасности новых проектов АЭС в значительной степени основывается на численном моделировании физи-

ческих и теплофизических процессов при нормальной эксплуатации АЭС, а также при различных сценариях развития проектных и запроектных аварий. Это связано с успехами в развитии трехмерных расчетных кодов (CFD) и с возможностями современной вычислительной техники.

Непременным условием применения расчетного кода для обоснования безопасности АЭС является его валидация на экспериментальных данных, полученных на стендах различного масштаба и конфигурации с последующей аттестацией в надзорных органах. Естественно, для валидации CFD-кодов требуются экспериментальные данные, полученные на стендах, на которых моделируются пространственные теплогидравлические процессы в сложной геометрии защитной оболочки с несколькими взаимосвязанными помещениями (боксами), различными по объему и уровню расположения. Таким образом, требуется интегральная крупномасштабная модель защитной оболочки АЭС с предельными расчетными параметрами при тяжелой аварии по давлению и температуре среды внутри ЗО, оснащенная необходимыми средствами экспериментальных измерений. Крупномасштабная модель ЗО АЭС позволяет решать две главные взаимосвязанные задачи: получение экспериментальных данных для валидации CFD-кодов по теплогидравлике ЗО АЭС;

- испытание оборудования и систем безопасности в условиях, максимально приближенных к условиям проектных и запроектных аварий.

Несмотря на большой объем выполненных работ в данном направлении в различных странах, включая и Россию, эти задачи являются актуальными и на сегодняшний день.

На сегодня сложилась ситуация, когда созданные в свое время в разных странах крупномасштабные модели защитной оболочки выполнили свои задачи и прекратили существование: HDR (Германия, 11400 м.куб), ВМС (Германия, 620 м.куб.), HEDL (США, 850 м.куб), NUPEC (Япония, 1310 м.куб). К тому же, эксперименты на этих стендах рассчитывались с помощью кодов со сосредоточенными параметрами (LP), а полученные на них экспериментальные данные не подходят для валидации CFD-кодов [1, 2]. Реализуемая в программе Европейского Союза «Теплогидравлика защитной оболочки современных и будущих легководных реакторов для задач управления авариями» (ERCSAM) основана на экспериментальных установках TOSQAN (Франция, 7 м.куб), MISTRA (Франция, 100 м.куб), PANDA (Швейцария, 2890 м.куб), которые по своим масштабным характеристикам не обеспечивают в полной мере решение поставленных задач [3].

Таким образом, стенд КМС на сегодня является единственной как в странах Европы, так и в России действующей крупномасштабной моделью защитной оболочки АЭС с водо-водяными реакторами.

Стенд КМС размещается на промплощадке ФГУП «НИТИ им.

А.П. Александрова», г. Сосновый Бор, Ленинградская область.

История создания стенда КМС

Создание крупномасштабного стенда КМС было вписано в концепцию проекта АЭС нового поколения средней мощности повышенной безопасности с ВВЭР-640, разработанную ОАО СПбАЭП (г. Санкт-Петербург), которая предусматривала принципиально новые технические решения, ориентированные на применение преимущественно пассивных систем аварийного охлаждения активной зоны и защитной оболочки. Естественно, что новые технические решения требовали расчетно-экспериментального обоснования их эффективности и надежности [4].

Техническое задание «Крупномасштабный стенд для моделирования аварийных процессов на АЭС нового поколения с ВВЭР-500 (КМС-ВВЭР-500)» разработано специалистами ОКБ «Гидропресс», СПбАЭП, ИАЭ, НИТИ, ФЭИ, НПО ЦКТИ, подписано руководителями этих организаций и утверждено начальниками 16ГНТУ и 26ГУ Минатома в 1991 г. При разработке технического задания был учтен мировой и отечественный опыт моде-

лирования аварийных процессов АЭС [5, 6].

В 1991 г. СПбАЭП разработал Технико-экономический расчет (ТЭР) строительства крупномасштабного стенда КМС, который был утвержден заместителем министра Б.В. Никипеловым приказом № 30 от 30.01.1992 г.

Решением Правительства Российской Федерации от 17 сентября 1992 г.

№ 1728-р было одобрено создание в г. Сосновый Бор Ленинградской области на базе НИТИ Северо-Западного научно-промышленного Центра атомной энергетики (СЗ НПЦАЭ), включающего крупномасштабные стенды для моделирования аварийных процессов и головной блок атомной станции средней мощности нового поколения (ВВЭР-640) с учебно-тренажерным комплексом. На основании данного решения и в соответствии с приказом Министра Минатома РФ от 06.11.1992 г.

№ 454 ОАО СПбАЭП разработал Технико-экономическое обоснование (ТЭО) строительства СЗ НПЦАЭ в г. Сосновый Бор, в состав которого вошел и крупномасштабный стенд КМС. Данное ТЭО было утверждено Министром

В.Н. Михайловым, протокол Минатома РФ от 29.12.1994 г.

Рабочий проект стенда КМС был разработан ОАО СПбАЭП в 1994 г., проект модели реакторной установки разрабатывался ОКБ «Гидропресс» и был доведен до стадии технического проекта. Проектная документация на стенд КМС прошла все экспертные процедуры и заключения, предусмотренные законодательством РФ на то время.

Решение о поэтапном строительстве и вводе в эксплуатацию стенда КМС было принято на координационном совещании по проблемам ВВЭР-640, состоявшемся в ОКБ «Гидропресс» в марте 1994 г. Пусковые этапы были определены протоколом от 23.02.1995 г., утвержденным начальниками 16ГНТУ и 26ГУ Минатома РФ.

Строительство стенда КМС было предусмотрено Государственной научно-технической программой «Экологически чистая энергетика», направление: «Безопасная атомная электростанция» и в течение 1993-2003 г.г. велось за счет средств государственного бюджета. За этот период был выполнен основной объем строительно-монтажных работ по первому этапу строительства – пусковому комплексу ПК № 1 КМС. В дальнейшем в течение 2004-2007 г.г. за счет собственных средств ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» пусковой комплекс ПК № 1 КМС был доведен до состояния готовности для проведения на нем первых исследований и испытаний. На со-

оружение стенда КМС израсходовано более

2-х млрд. рублей (в нынешних ценах). Пусковой комплекс ПК № 1 КМС включает здание стенда со всеми внутренними и наружными системами и коммуникациями, обеспечивающими нормальные условия для эксплуатационного персонала и научно-технических работников, а также экспериментальную часть стенда: модель защитной оболочки (контейнмент) и технологические системы, обеспечивающие необходимые по условиям испытаний и исследований параметры внутри контейнмента: пар низкого давления от котельной НИТИ, сжатый воздух от компрессорной НИТИ, гелий (как имитатор водорода) от собственной рампы.

Строительство и ввод в эксплуатацию пускового комплекса ПК № 1 КМС определялись потребностью атомной отрасли России в крупномасштабном контейнментном стенде для моделирования пространственных теплогидравлических процессов в защитной оболочке АЭС, получения экспериментальных данных для валидации современных компьютерных кодов (CFD), для испытаний оборудования и систем в условиях, максимально приближенных к условиям проектных и запроектных аварий АЭС с водо-водяными реакторами.

Сегодня в России такой стенд существует и действует – это пусковой комплекс ПК № 1 КМС, на котором в течение 2007-2012 г.г. по заказу ОАО СПбАЭП проведена серия испытаний эффективности работы теплообменников-конденсаторов системы пассивного отвода тепла от защитной оболочки (СПОТ 30) проекта АЭС-2006 для площадки ЛАЭС-2 (г. Сосновый Бор), а также исследования процессов газопереноса и стратификации в помещениях (боксах) контейнмента стенда с использованием гелия как имитатора водорода.

Следует отметить следующее:

- создание СЗ НПЦАЭ в г. Сосновый Бор на базе ФГУП «НИТИ им.

А.П. Александрова» не было реализовано и в настоящее время это решение аннулировано;

- хотя контейнмент стенда КМС представляет собой модель защитной оболочки АЭС средней мощности (ВВЭР-640), проблемы контейнментной теплогидравлики и водородной безопасности, которые можно исследовать и решать на стенде КМС, в полной мере можно отнести ко всем проектам АЭС с ВВЭР.



Рис.2 Защитная оболочка стенда КМС

Пусковой комплекс стенда КМС (ПК № 1 КМС) включает в себя собственно здание стенда (рис. 1), в котором располагаются офисные, производственные и сантехнические помещения, а также инженерные системы, обеспечивающие функциональную деятельность стенда и нормальные условия для эксплуатационного персонала и научно-технических работников: отопление и вентиляция, водопровод и канализация, горячее водоснабжение, сети электроснабжения и электроосвещения, связь и сигнализация. Стенд оснащен грузоподъемными механизмами: мостовой кран (50/10 т) и грузопассажирский лифт (630 кг). Экспериментальная часть стенда включает модель защитной оболочки (контейнер), а также технологические системы, которые обеспечивают необходимые условия и параметры для проведения испытаний и иссле-

дований: системы подачи пара, сжатого воздуха и гелия (как имитатора водорода). Все энергообеспечение стенда КМС (электроэнергия, горячее водоснабжение и отопление, пар, сжатый воздух) осуществляется от систем ФГУП «НИТИ им.

А.П. Александрова», также как и отвод производственных, бытовых и ливневых стоков производится через институтские сети канализации и водоотведения.

Защитная оболочка как сосуд под давлением, мостовой кран, лифт и паропровод прошли техническое освидетельствование, аттестацию и зарегистрированы в Ростехнадзоре, получено разрешение на их эксплуатацию.

Защитная оболочка стенда (контейнер) представляет собой герметичный объем, который состоит из двух частей: верхняя часть – металлическая цилиндрическая оболочка диаметров 12 м со сферическим съёмным куполом, нижняя

постамента часть – железобетонная конструкция, изнутри облицованная стальными листами. Границу контура герметичного объема образуют герметично соединенные стальная оболочка и стальная облицовка железобетонного постаменты. Внутренний объем состоит из нескольких сообщающихся между собой помещений (боксов). Снаружи стальная защитная оболочка теплоизолирована базальтовыми листами толщиной 70 мм, что обеспечивает требуемые условия исследований и испытаний по температуре и давлению парогазовой среды внутри стенда: давление – до 0,5 МПа, температура – до 150°C (рис. 2 и рис. 3). В период 2007-2013 г.г. на стенде КМС по заказу и при участии ОАО СПбАЭП проведена серия испытаний моделей теплообменников-конденсаторов (ТО) системы пассивного отвода тепла от защитной оболочки (СПОТ 30) проекта АЭС-2006 для площадки ЛАЭС-2 (г. Сосновый Бор). С этой целью вне контейнера стенда был смонтирован циркуляционный контур СПОТ 30, а внутри под куполом защитной оболочки были установлены модели ТО. Испытания проводились в условиях, приближенных к условиям запроектных аварий по температуре, давлению и компонентному составу парогазовой среды, в том числе и при повышенной концентрации легких неконденсирующихся газов, используя гелий как имитатор водорода. Для целей испытаний и исследований стенд оснащен системой экспериментальных измерений теплогидравлических параметров парогазовой среды и конденсата внутри защитной оболочки, теплоносителя в контуре СПОТ 30, технологических сред, подаваемых в защитную оболочку, объемной концентрации компонентного состава парогазовой среды в защитной оболочке.

Измерительно-вычислительный комплекс стенда КМС обеспечивает прием информации от системы экспериментальных измерений, ее преобразование в цифровой вид, регистрацию на магнитных носителях, отображение на экранах мониторов, выполнение функций регулирования и управления режимами испытаний (рис. 4 и рис. 5).

Наименование	Параметр	Размерность	Примечание
Пар			
• максимальный расход	10	т/ч	От котельной НИТИ
• давление	0,8	МПа	
• температура	170	°С	
Воздух			
• давление	0,7	МПа	От компрессорной НИТИ
• максимальный расход	600	т/ч	
Гелий			
• общее количество	240	нм. куб	Гелиевая рампа
• максимальный расход	100	нм. куб/час	

Таблица 1. Технологические системы подачи сред в защитную оболочку

Наименование	АЭС-2006	КМС	Масштаб
Высота защитной оболочки, м	67	20,3	1:3,3
Внутренний диаметр защитной оболочки, м	44	12	1:3,7
Суммарный объем, м.куб	76700	1830	1:41

Таблица 2. Сопоставительные характеристики защитных оболочек АЭС-2006 и стенда КМС

Параметр	Датчик	Количество
Температура: - поверхности - воды - парогазовой среды	Термопара хромель-алюмель (Cr-Al) Термометр сопротивления платиновый	250
Давление (разность давлений)	Метран	20
Расход	Расходомер:	11
- пар	Вихревой Rosemount 8800	
- вода	Электромагнитный Rosemount 8700	
- газ (воздух, гелий)	Взлет-ГЭР РОСТ-13 EL-FLOW	
Уровень	Метран	3
Плотность теплового потока	Эталон	32
Объемная концентрация компонентов парогазовой среды в контейменте	Система автоматизированного газового контроля на базе хроматографа и масс-спектрометра	34 точки отбора проб

Таблица 3. Система экспериментальных измерений

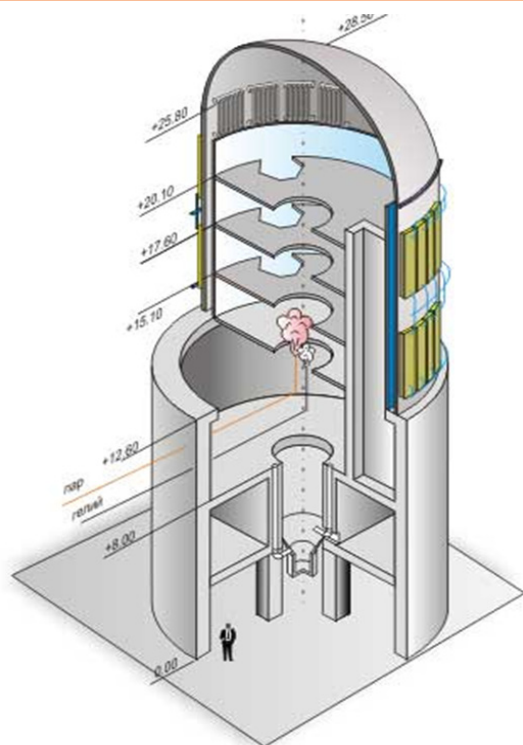


Рис.3 Схема контеймента стенда КМС



Рис.4 Система контроля и управления ИВК-У КМС



Рис.5 Система автоматизированного газового контроля

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Размещенный на площадке ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» (г. Со-сновый Бор, Ленинградская область) стенд КМС является на сегодня единственной в России и в Европе действующей крупномасштабной моделью (1830 м.куб) защитной оболочки АЭС с ВВЭР. Технические и масштабные характеристики стенда позволяют проводить исследования пространственных теплогидравлических процессов во взаимосвязанных помещениях (боксах) контейнента, включая процессы перемешивания и стратификации водорода (используется гелий как имитатор водорода), и испытания оборудования и систем в условиях, максимально приближенных к условиям проектных и запроектных аварий.

2. Степень готовности пускового комплекса стенда обеспечила возможность проведения в течение 2007-2013 г.г. по заказу ОАО СПБАЭП (г. С.-Петербург) серии испытаний моделей теплообменников-конденсаторов

системы пассивного отвода тепла от защитной оболочки (СПОТ 30) проекта АЭС-2006 для площадки ЛАЭС-2 (г. Со-сновый Бор).

3. Для реализации в полном объеме возможностей контейментного стенда КМС по испытаниям и исследованиям в области теплогидравлики защитной оболочки и по проблемам водородной безопасности АЭС с ВВЭР необходимо выполнить работы по дооснащению и дооборудованию стенда. Это такие основные работы, как завершение строительно-монтажных работ по техническому водоснабжению и промконтуре охлаждения, монтаж спринклерной системы, увеличение мощности электро-снабжающих трансформаторов. Объем инвестиций оценивается порядка 120-130 млн. руб.

Список литературы

1. HDR Safety Program. Subproject 1: Containment Behaviour Under Severe Accident Conditions. Desing Report. Hydrogen Distribution Experiments

E11.1-E11.5. PHDR Working Report №. 10.004/89, August, 1992.

2. Stamps D.W. Analyses of the Thermal Hydraulics in the NUPEC ¼ -Scale Model Containment Experiments. Sandia National Laboratories, September, 1997.

3. Kanzleiter T., Gauvain L., Robledo F. at all. EUCOFA ☒ Concerted Action. Future Experimental Containment Facilities in the European Union. FISA-99, Luxembourg, 1999, p. 538.

4. Афров А.М., Безлепкин В.В., Кухтевич И.В. и др. Методические особенности обоснования АЭС с ВВЭР-640. ☒ Теплоэнергетика, 1996, № 11, с. 16-21.

5. Levin A.E., Phersov G.D. A practical view of the insights from scaling thermal-hydraulic tests. ☒ NURETH-7, 1995, v. 2, p.1291.

6. Ishii M. Scaling for integral simulation of thermal-hydraulic phenomena in SBWR during LOCA. ☒ NURETH-7, 1995, v. 2, p.1272.

ВИРТУАЛЬНЫЙ ЭНЕРГОБЛОК АЭС



Фото: Виртуальный пульт оператора ВЭБ

тема номера

В России в 2010-2012 годах был реализован приоритетный проект «Развитие суперкомпьютеров и грид-технологий», утвержденный Комиссией при Президенте Российской Федерации по модернизации и технологическому развитию экономики России. Головной организацией по данному проекту был определен ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» (далее ВНИИЭФ), при этом реализация проекта предполагала успешное выполнение работ по внедрению суперкомпьютерных технологий (СКТ) в различные области промышленности, в том числе и в атомную энергетику. В рамках данного проекта была разработана база «Виртуального энергоблока АЭС» (ВЭБ), в том числе и пилотная версия ВЭБ ЛАЭС-2 на средствах программного-технического комплекса «Виртуальный энергоблок АЭС с ВВЭР» (ПТК «ВЭБ»).

Авторы: В.В. Безлепкин, В.О. Кухтевич, Е.П. Образцов, Т.Н. Корохов, А.А. Беспавлюк
ОАО «ГИ ВНИПИЭТ», г. Санкт-Петербург, Россия

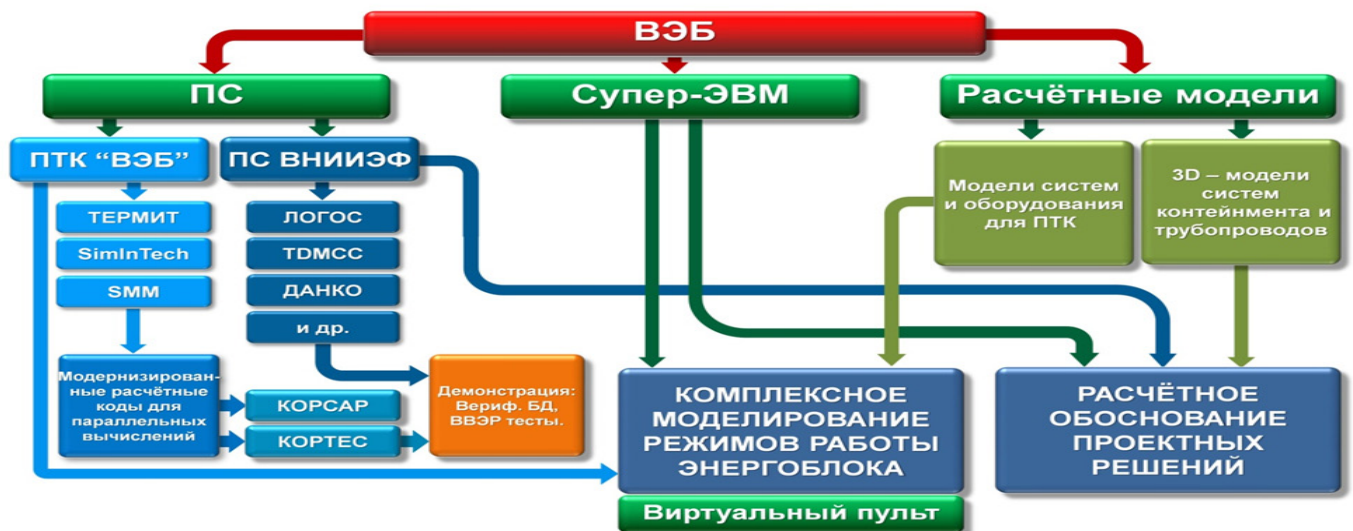


Рис.1 Структура средств Виртуального энергоблока АЭС

Обеспечение высокого научно-технического уровня обоснования проектной продукции, а также обеспечение ее соответствия требованиям нормативных документов и требованиям Заказчика является основным приоритетом деятельности научного направления ОАО «Головной институт ВНИПИЭТ». Стратегия деятельности строится в соответствии с планами по разработке проектов и сооружению АЭС в России и за рубежом. Проекты энергоблоков АЭС наряду с обоснованием безопасности должны проходить процедуру верификации – проверки проекта и его отдельных частей на моделях и экспериментальных данных, что соответствует рекомендациям МАГАТЭ. В актуальной ревизии Европейских требований (EUR(D)) проект АЭС также должен сопровождаться «инженерным симулятором» или моделирующим комплексом, который помимо верификации проектных решений должен использоваться как средство поддержки эксплуатирующей организации. Эффективным инструментом для решения указанных задач может быть многоуровневая система детальных полномасштабных компьютерных моделей элементов АЭС, одним из элементов которой должен быть программно-технический комплекс (ПТК), включающий математическую модель энергоблока. В настоящий момент для организаций, проектирующих АЭС, подобный комплекс является необходимым вспомогательным инструментом для проектирования и может служить в качестве поддержки эксплуатации. В России в 2010-2012 годах был реализован приоритетный проект «Развитие суперкомпьютеров и грид-технологий», утвержденный Комиссией при Президенте Российской Федера-

ции по модернизации и технологическому развитию экономики России. Головной организацией по данному проекту был определен ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» (далее ВНИИЭФ), при этом реализация проекта предполагала успешное выполнение работ по внедрению суперкомпьютерных технологий (СКТ) в различные области промышленности, в том числе и в атомную энергетику [8]. В рамках данного проекта была разработана база «Виртуального энергоблока АЭС» (ВЭБ), в том числе и пилотная версия ВЭБ ЛАЭС-2 на средствах программно-технического комплекса «Виртуальный энергоблок АЭС с ВВЭР» (ПТК «ВЭБ»).

КОНЦЕПЦИЯ «ВИРТУАЛЬНОГО ЭНЕРГОБЛОКА АЭС»

Многоуровневая система детальных компьютерных моделей для обоснования безопасности, проектных и конструкторских решений предполагает проведение большого числа исследований с применением современных расчетных кодов (коды улучшенной оценки, трехмерные коды, нейтронно-физические коды, пакеты для мультифизических расчетов). Для реализации всего многообразия моделей и проведения расчетов необходимо:

- создать и использовать высокопроизводительные вычислительные центры (ВЦ);
- обеспечить адаптацию и разработку программных средств для ВЦ, в том числе программных комплексов.

В результате реализации проекта в кооперации с ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» и ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова» сформировалась структура Виртуального энергоблока АЭС. При этом условно можно выделить 4 составляющие:

- программные средства;
- вычислительный комплекс (Супер-

ЭВМ);

- расчетные модели;
- виртуальный блочный пульт управления (ВБПУ).

Программные средства в рамках ВЭБа условно можно разделить на две основные группы:

- инженерные программы и пакеты 3-х мерного моделирования разработки ВНИИЭФа;
- программно-технический комплекс «Виртуальный энергоблок АЭС» (ПТК «ВЭБ»).

При этом

- часть – алгоритмы и программные комплексы моделирования;
- вычислительный комплекс – средства моделирования;
- виртуальный блочный пульт управления – средства визуализации.

Программная часть состоит из кодов улучшенной оценки КОРСАР, КОРТЕС, среды передачи данных SMM, автоматика, пользовательского графического интерфейса, базы данных и пр. и служит для моделирования физических процессов, происходящих на АЭС, мониторинга и управления. На момент создания аппаратно-программного комплекса виртуальной АЭС с ВВЭР программная составляющая в большей степени уже сложилась и находилась на стадии совершенствования. Разрабатывались и отлаживались модели систем АЭС.

Основной функцией виртуального блочного пульта управления является мониторинг и управление АЭС, проведение этапов валидации и верификации человеко-машинного интерфейса пунктов управления. Вычислительный комплекс должен обеспечивать моделирование процессов АЭС в режиме реального времени либо в ускоренном режиме.

Основной целью создания ВЭБа является достижение следующих эффектов:

- Выполнение новых требований к обоснованию проектов АЭС (поддержка лицензирования).
- Новое качество моделирования за счёт моделей и программ нового поколения (переход от консервативного приближения к моделированию в наилучшем приближении, в том числе с оценкой неопределенностей в расчётах и с многовариантными расчётами).
- Устранение несоответствий современным требованиям в проектном обосновании АЭС.
- Экономический эффект (сокращение сроков проектных расчётов и объёмов экспериментального обоснования, улучшение т/э показателей оборудования, импортозамещение).
- Сокращение сроков ввода в эксплуатацию АЭС за счёт сокращения сроков и оптимизации пуско-наладочных испытаний (четкие критерии испытаний).
- Поддержка эксплуатации энергоблока АЭС.

ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС «ВИРТУАЛЬНЫЙ ЭНЕРГОБЛОК АЭС»

Цели и задачи.

Необходимость проверки технических и технологических проектных решений до строительства энергоблока и невозможность использования тренажёров АЭС в силу их слабой предсказательной способности привели к идее создания ПТК «ВЭБ», при этом круг решаемых с его помощью задач был сформирован на основе требований и задач моделирующего комплекса ЛАЭС-2 и постоянно дополняется. Выделим базовые из них:

- проведение комплексного моделирования пусковых, переходных и энергетических режимов работы энергоблока в едином масштабе времени с целью обоснования технических и технологических решений по основным и вспомогательным системам АЭС и системам управления:
- подтверждение технических и технологических решений по системам и оборудованию энергоблока;
- отработка алгоритмов управления оборудованием и системами АЭС в составе проекта систем контроля и управления (СКУ);
- проверка эксплуатационных пределов энергоблока;
- проверка функций оператора на виртуальном блочном пульте управления (ВБПУ);
- моделирование сложных комплексных сценариев развития аварийных

ситуаций с целью определения мероприятий для их предотвращения или локализации;

- поддержка пуско-наладочных работ (расчётное обоснование проекта и др.). Для выполнения заявленных задач ПТК «ВЭБ» включает в себя коды и программные средства, необходимые для
- адекватного воспроизведения следующих физических явлений:
 - теплогидравлические процессы в системах и оборудовании АЭС с ВВЭР,
 - нейтронно-физические процессы в активной зоне,
 - процессы в электрооборудовании основных систем АЭС;
- адекватного воспроизведения работы систем контроля и управления;
- графической визуализации видеокадров и мозаичных панелей блочного пункта управления.

Модель энергоблока АЭС на базе ПТК «ВЭБ» - совокупность расчётных моделей, воспроизводящих работу энергоблока АЭС на программных средствах ПТК «ВЭБ» с использованием современного компьютерного оборудования и средств визуализации и позволяющих решать задачи имитационного моделирования широкого спектра физических процессов на энергоблоке АЭС, а также проводить оценку адекватности принятых проектных решений.

Пилотная версия модели энергоблока АЭС - совокупность расчётных моделей основных систем, оборудования и СКУ АЭС на базе ПТК «ВЭБ», которые позволяют проводить реалистичное динамическое связанное моделирование номинального режима работы энергоблока АЭС с ВВЭР и перехода в режимы нормальной эксплуатации, а также режимы с нарушением нормальной эксплуатации, обеспечивая функционирование средств удаленного контроля работы

ПТК оператором.

В рамках работ федерально-целевой программы за 2010-2012 годы была разработана пилотная версия модели ЛАЭС-2 и сформирована пилотная версия программно-технического комплекса «Виртуальный энергоблок АЭС с ВВЭР». ПТК имеет гибкую топологию, а область его применения может быть расширена для математического моделирования АЭС других типов, при этом организационная структура комплекса сохранится. Помимо создания ПТК организациями участниками (ВНИИЭФ, НИТИ, СПБА-ЭП) был накоплен существенный опыт по оперативному взаимодействию и организации общего информационного пространства при производстве работ.

Отметим, что ПТК «ВЭБ» обеспечивает функционирование в режиме параллельных вычислений и имеет потенциал для совершенствования функционального наполнения и расширения класса решаемых задач.

Структура комплекса. Выбранная структура ПТК «ВЭБ» обеспечивает решение заявленных задач. При этом управляющий программный комплекс обеспечивает создание связанных моделей технических систем и оборудования, задание правил синхронизации и обмена данными, реализации которых обеспечивается распределённой интеллектуальной средой обмена данными SMM (технология SMM). Технология объединения независимых кодов SMM ориентирована на интеграцию высокопараллельных математических кодов для работы на неоднородных вычислительных комплексах, обладает высокими показателями по пропускной способности, масштабируемости

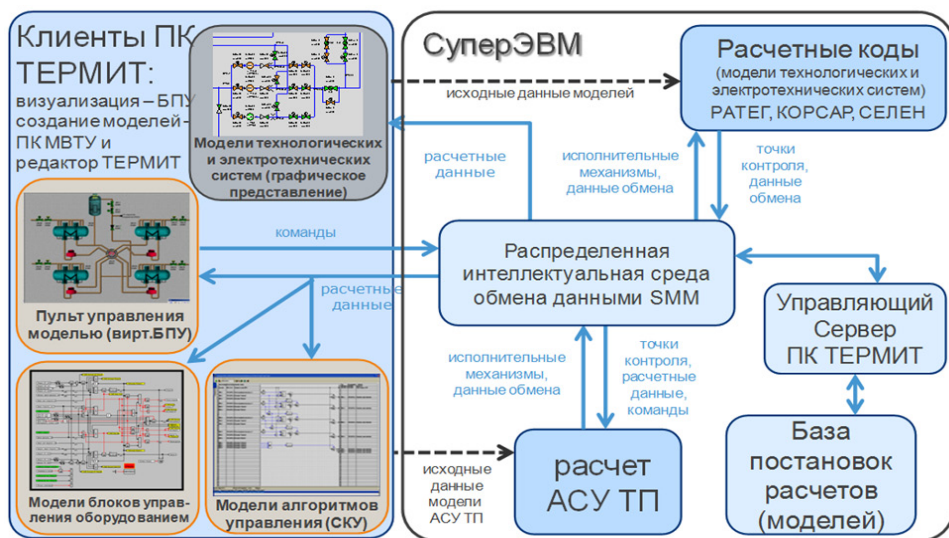


Рис.2 Структура средств Виртуального энергоблока АЭС

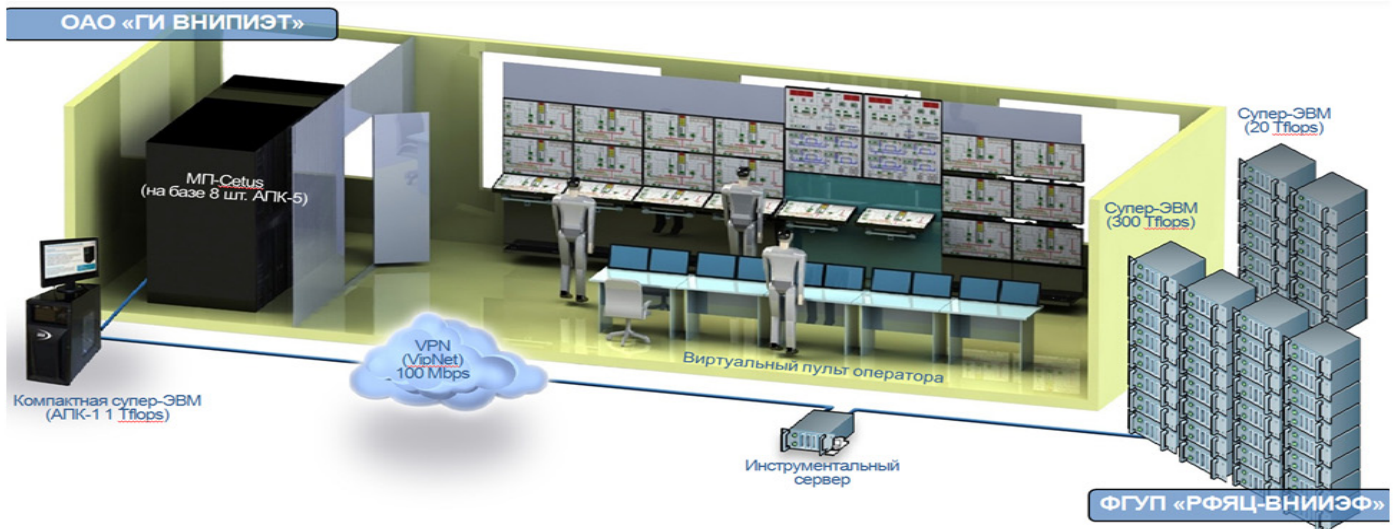


Рис.3 Структурная схема аппаратных средств ПТК «ВЭБ»

и распределенности системы управления обменом данных, а также обладает встроенными инструментами конвертирования и интерполяции данных. При этом подключение кода [9] по данной технологии единожды позволяет проводить связанные расчеты с любым уже подключенным по технологии SMM кодом.

Для расчета теплогидравлических процессов в системах и оборудовании АЭС используются коды улучшенной оценки КОРСАР и КОРТЕС, а также одномерные гомогенные теплогидравлические коды. Основная модернизация расчетных кодов – адаптация для использования высокопроизводительных систем завершена. При этом работы по оптимизации математических моделей и методов кодов и поддержки многовариантных расчетов для проведения анализа неопределенностей, необходимого при обосновании безопасности АЭС в реалистическом приближении, продолжаются.

Модели технологических систем создаются в соответствии с реальной геометрией, связанной с 3D проектированием, а для минимизации количества ошибок переноса данных и времени создания моделей был создан модуль импорта из промежуточных файлов формата .rsc, сгенерированных в программе трехмерного проектирования SmartPlant3D, средствами которого специалисты СПБАЭП создают проекты современных АЭС.

Расчет нейтронной физики осуществляется встроенными средствами КОРСАРА (КАРТА), при этом можно использовать как точечную, так и трехмерную модели нейтронной кинетики. Отметим, что использование аттестованных кодов улучшенной оценки позволяет гарантировать адекватность описания динамики физических (те-

плогидравлических и нейтронно-физических) процессов энергоблока АЭС с ВВЭР.

Блоки управления оборудованием и модели алгоритмов СКУ создаются в специальном модуле автоматики. Алгоритмы можно верифицировать как в составе общей модели, так и по отдельности. Отметим, что расчетные схемы автоматики, так же как и модели технологических систем создаются средствами графического редактора.

В качестве управляющего программного комплекса используется ПК ТЕРМИТ, разработанный НИТИ. Для локального моделирования, а также создания моделей мозаичных панелей используется ПК МВТУ (SimInTech, разработки ЗВ-Сервис). Как в ПК ТЕРМИТ, так и на базе ПК МВТУ были созданы графические библиотеки ПК КОРТЕС и ПК КОРСАР. Создание и отображение видеокадров производится созданным в НИТИ специализированным модулем видеокадров, который позволяет конвертировать видеокадры из ПС ПОРТАЛ (ВНИИАЭС).

Для выполнения расчетов и использования ПТК «ВЭБ» в СПБАЭП были реализованы аппаратные средства. Для выполнения расчетов используются Супер-ЭВМ различной производительности, которые были разработаны, изготовлены и настроены специалистами ВНИИЭФ.

Аппаратные средства ПТК «ВЭБ» протестированы и введены в эксплуатацию для проектных и исследовательских работ СПБАЭП. Приемочные испытания прошли в ноябре 2012 года.

Пилотная версия виртуального энергоблока АЭС с ВВЭР на базе ЛАЭС-2 ЛАЭС-2 представляет собой АЭС с водо-водяным энергетическим реактором (ВВЭР). Расчеты теплогидравлических

и нейтронно-физических процессов в реакторной установке (РУ) проводятся с использованием ПК КОРСАР. Отметим, что хотя в пилотной версии используются точечная модель кинетики реактора, ПК КОРСАР включает в себя модуль КАРТА, который позволяет проводить расчеты с учетом трехмерной кинетики активной зоны, модель которой уже имеется в научном подразделении СПБАЭП и планируется к подключению в 2013 году.

Нодализация схемы каждой из 4-х петель теплообмена первого контура полностью соответствует реальной геометрии. Для расчета характеристик ГЦНА используется полная модель с 4-х квадратными характеристиками. Модель первого контура для ПК КОРСАР заканчивается на теплопроводящих поверхностях трубок парогенераторов, по которым идет интерактивный обмен с моделью паротурбинной установки (ПТУ), т.е. разделение моделей происходит по тепловым поверхностям парогенераторов, при этом первый и второй контур рассчитываются с применением различных теплогидравлических кодов.

Отдельно отметим, что в рамках создания ПТК была разработана методология моделирования турбоустановки для АЭС – 2006 в составе математической модели ЛАЭС-2 в переходных и стационарных режимах. Используемые для модели ПТУ расчетные коды (РАТЕГ, гомогенный РК ТПП) обеспечивают моделирование нестационарных и установившихся процессов в паротурбинной установке, включая паропроводы острого пара, проточные части и оборудование турбины. Модели с различной степенью детализации используются для решения соответствующих задач:

• подробная модель ПТУ на средствах кода улучшенной оценки RATEG необходима для детального изучения переходных процессов в системах и оборудовании второго контура, при этом данная модель требует использования значительных вычислительных ресурсов;

• расчет модели ПТУ средствами гомотенного теплогидравлического кода ТПП требует минимальных вычислительных затрат и позволяет с высокой точностью определить влияние второго контура на процессы в РУ при динамических переходных процессах.

Для адекватного описания динамических переходов из номинального режима работы пилотная версия энергоблока включает модели следующих вспомогательных систем первого контура:

- система продувки-подпитки и борного регулирования первого контура;
- система хранения борированной воды;
- система хранения чистого конденсата;
- система хранения теплоносителя первого контура;
- система планового и аварийного охлаждения первого контура.

При этом все модели созданы в графическом представлении, интегрированы в единый комплекс и связаны с моделью РУ, 4-ая петля. Отметим, что графическое представление кроме наглядности позволяет получить значение параметров (заранее не заказанных в файле нодализации) в любой точке нодализационной схемы во время расчета, а также позволяет настроить различного рода анимацию.

В рамках моделирования систем контроля и управления (СКУ) был проделан большой объем работ. По проектным данным были созданы модели основных алгоритмов АСУТП, которые можно разделить на две части:

- системы безопасности;
 - системы нормальной эксплуатации.
- Исходные данные по системам безопасности были взяты из LEFU, а по системам нормальной эксплуатации – из ПК АСПУС (ТПТС, программное обеспечение ВНИИАЭС).

Перечень моделируемых систем управления и защиты РУ (системы безопасности):

- система аварийной защиты (АЗ);
- предупредительной защиты (ПЗ-1, ПЗ-2);
- ускоренной предупредительной защиты (УПЗ);
- регулятор-ограничитель мощности (РОМ) реакторной установки;
- автоматический регулятор мощности

(АРМ) реакторной установки.

Перечень основных моделируемых СКУ для технологических систем первого контура (системы нормальной эксплуатации):

- система контроля параметров реактора;
- система контроля параметров парогенераторов;
- система контроля и управления ГЦНА;
- система контроля параметров ГЦТ;
- система контроля и управления компенсатора давления (КД);
- СКУ вспомогательных систем.

Перечисленные выше системы предназначены для контроля технологических параметров реакторной установки, поддержания этих параметров в безопасных для эксплуатации пределах, управления мощностью и реактивностью РУ, защиты РУ, в случае выхода технологических параметров за установленные пределы.

Перечень основных систем второго контура, для которых созданы модели СКУ:

- система ЦВД турбины;
- система байпаса турбины (БРУ-К);
- система паропроводов свежего пара;
- система основной питательной воды;
- система вспомогательной питательной воды;
- система деаэрационной установки;
- питательные насосы;
- система основного конденсата;
- конденсатные насосы.

Модели СКУ для перечисленных выше систем предназначены для контроля технологических параметров паротурбинного тракта, поддержания этих параметров в безопасных для эксплуатации пределах, управления мощностью турбоустановки, защиты турбоустановки в случае выхода технологических параметров за установленные пределы.

Моделирование АСУТП технологических систем включает в себя моделирование первичных преобразователей (датчиков КИП), вторичных преобразователей, исполнительных механизмов (запорной и регулирующей арматуры), алгоритмов управления исполнительными механизмами, моделирование технологических регуляторов, а также средств визуализации и человеко-машинного интерфейса. Отметим, что в процессе моделирования были созданы универсальные алгоритмы, позволяющие учитывать характеристики для каждого типа оборудования без изменения алгоритмов.

При управлении энергоблоком АЭС очень важным фактором является человеко-машинный интерфейс. Как уже упоминалось в рамках ПТК «ВЭБ» был создан виртуальный пульт оператора, который, кроме аппаратных средств, включает в себя программы для визуализации видеокadres разработки НИТИ

и ПК МВТУ для создания моделей мозаичных панелей. Программные и аппаратные средства позволяют гибко настраивать отображаемые панели и видеокadres.

Для пилотной версии виртуального энергоблока была создана библиотека анимационных элементов мозаичных панелей, которые практически совпадают по виду и реакции с используемым на реальных АЭС оборудованием мозаичных панелей. На базе данной библиотеки средствами ПК МВТУ были созданы модели основных мозаичных панелей:

- сдвоенные панели всех 4-х каналов безопасности, половина 1-го канала;
- панели для второго контура;
- панели электротехнических систем;
- панели СУЗ и вспомогательных систем, включая панели основного оборудования РУ.

Для создания нескольких тестовых видеокadres (ВК) оператора и основных ВК для ЭКП был использован модуль визуализации видеокadres. Встроенный в него конвертер видеокadres позволил использовать прототипы реальных кадров АЭС из ПК ПОРТАЛ (ВНИИАЭС). Средства визуализации интегрированы в общую систему обмена комплексной модели, что позволяет наблюдать за параметрами энергоблока и управлять системами в интерактивном режиме.

Для пилотной версии виртуального энергоблока был разработан базовый перечень моделируемых режимов, представленный в таблице 2. На следующих этапах разработки планируется его расширение и дополнение вплоть до включения всех проектных режимов, включая аварийные.

Перспективы развития и практического использования ПТК «ВЭБ»

Уже сейчас виртуальный блок используется для решения текущих задач проектировщиков при обосновании технологических и технических решений, а также алгоритмов и программ управления. В ноябре 2012 года в ОАО «СПбАЭП» были успешно проведены приемочные испытания пилотной версии виртуального энергоблока АЭС с ВВЭР, по результатам которых СПбАЭП принял ПТК «ВЭБ» в эксплуатацию и планирует активно использовать для динамических испытаний при разработке проекта пуско-наладочных работ в кооперации с наладочными и эксплуатирующими организациями.

ТАБЛИЦА
Перечень базовых моделируемых режимов работы АЭС

Нормальные условия эксплуатации	Нарушения нормальных условий эксплуатации
Уменьшение мощности: <ul style="list-style-type: none"> • на 10% $N_{ном}$ со скоростью 5% $N_{ном}/мин$ • на 20% $N_{ном}$ со скоростью 10% $N_{ном}/мин$ • на 80% $N_{ном}$ со скоростью 10% $N_{ном}/мин$ 	Отключение ГЦН (1/4, 4)
	Отключение всех насосов питательной воды
	Ложное закрытие БЗОК
Сброс нагрузки до собственных нужд	Малые течи из первого контура, компенсируемые системой нормальной подпитки (КВА)
	Непредусмотренное открытие байпасного клапана турбины БРУ-К
Плановое расхолаживание до холодного состояния со скоростью 30 град/ч	Разбавление концентрации борной кислоты в 1-м контуре
	Ложный впрыск в КД от системы подпитки-продувки
Ложное срабатывание АЗ	Снижение расхода пара (вследствие неисправной работы или отказа регулятора давления)

Важнейшей задачей в ближайшее время является также верификация ПТК по результатам эксплуатации или пуско-наладочных работ одного их действующих или строящихся энергоблоков, что имеет принципиальное значение для подтверждения адекватного функционирования системы взаимосвязанных кодов и ПТК в целом.

Для проектных целей планируется провести более глубокую интеграцию с программным обеспечением, используемым для разработки проектов АЭС – SmartPlant и АСПУС. Для генерации моделей планируется доработать и оптимизировать модуль импорта геометрии схем из SmartPlant3D. Также планируется подключить ПО АСПУС (разработки ОАО «ВНИИАЭС») к ПТК «ВЭБ», что позволит проводить связанное моделирование СКУ нормальной эксплуатации (ТПТС) совместно с теплогидравлическими моделями соответствующих систем АЭС на базе кодов улучшенной оценки с целью проверки алгоритмов и функций систем.

СОЗДАНИЕ “МП-СЕТУС” - Требования к высокопроизводительной вычислительной системе.

Вышеперечисленные программные комплексы, задействованные при моделировании АЭС, определили основные требования к необходимой вычислительной системе (ВС):

- архитектура x86_64 – программные комплексы написаны под данную архитектуру;

- межпроцессорный интерконнекте FDR – программные комплексы распараллелены с помощью MPI;
 - параллельная файловая система Lustre – позволяет значительно повысить производительность файловой системы при интенсивной работе программных комплексов с разрезами;
 - архивная подсистема – позволит сохранять результаты для долговременного хранения;
 - мониторинг аппаратно-программных компонент – снизит нагрузку на обслуживающий персонал;
 - простота синхронизации образов вычислительных узлов – снизит нагрузку на обслуживающий персонал;
- Кроме того, существовал определенный ряд ограничений, налагаемых на вычислительный комплекс:
- минимизация занимаемых площадей;
 - минимизация шума;
 - презентабельность внешнего вида всего аппаратно-программного комплекса.

Реализация вычислительной системы с заданными требованиями.

Наиболее подходящей под данные требования и ограничения стал аппаратно-программный комплекс разработки ВНИИЭФ АПК-5I. Однако в базовой конфигурации такой комплекс не мог в полной мере решить наши задачи. Для соответствия вычислительной системы нашим нуждам потребовалась существенная переработка структуры стандартной АПК-5.

По требованию заказчика вычислительная система на базе стандартной АПК-5 была масштабирована до восьми вычислительных комплектов с соответствующим увеличением коммутирующего оборудования, добавлением инструментальных серверов, а так же расширением возможностей комплекса за счет многофункциональной подсистемы хранения данных. Кроме этого, в связи с небольшим объемом серверного зала была переработана система охлаждения.

Установка ВС “МП-Cetus” в том же зале где располагается ВБПУ потребовало решений по снижению шума, а в связи с большим весом (около 4000 кг) заливки железобетонной разгрузочной плиты (ВЦ находится на четвертом этаже офисного здания). Для шумоизоляции серверная часть была отделена стеклянной перегородкой значительно снижающей высокочастотное шумовое загрязнение виртуального пульта до значений не превышающих допустимых санитарно-гигиенических норм. В результате выполненных работ в ноябре 2012 г. был введен в эксплуатацию мощнейший в северо-западном регионе суперкомпьютер “МП-Cetus”, созданный на основе самых современных аппаратных средств с использованием программных средства (системное и прикладное ПО) разработки ВНИИЭФ, которые позволяют достичь максимальной производительности на данной аппаратной конфигурации.



Рис.4 Внешний вид ВС «МП-Cetus»

Производительность на тесте Linpack составила 38 TFlops, что соответствовало, 24 месту в списке TOP-50 (17 редакция 18 сентября 2012 г.) самых мощных суперкомпьютеров СНГ. Разница между пиковой (47 TFlops) и реальной (Linpack – 38,8 TFlops) производительностью составила менее 20%, что является очень высоким показателем для вычислительных систем этого класса, что позволяет использовать систему, как единый мощный компьютер (СуперЭВМ).

Специалисты ИТМФ ВНИИЭФ принимали непосредственное участие при создании указанной Супер-ЭВМ в части работ по разработке конфигурации, аппаратной реализации, настройке и отладке системного и прикладного программного обеспечения, вводу в эксплуатацию.

ВИРТУАЛЬНЫЙ БЛОЧНЫЙ ПУЛЬТ УПРАВЛЕНИЯ

Целью создания виртуального пульта оператора является реализация оптимальных технических средств для возможности тестировать эргономику видеокладов, обосновывать функции оператора, а также проводить управление расчетом и визуальную демонстрацию работы математической модели энергоблока.

Работы по созданию ВБПУ, также как и реализация ВС «МП-Cetus», велись в рамках инвестиционного проекта общества, в составе внебюджетной

части проекта «Развитие суперкомпьютеров и грид-технологий» в части работ по разработке программно-технического комплекса (ПТК) «Виртуальный энергоблок АЭС с ВВЭР»

Для определения основных направлений и глубины моделирования ВБПУ был проанализирован состав аппаратных средств БПУ ЛАЭС-2, при этом были определены:

- основные зоны управления ВБПУ;
- типы аппаратных средств для моделирования БПУ ЛАЭС-2;
- задачи решаемые зонами управления ВБПУ;

• состав видеокладов для визуализации текущих технологических процессов и управления виртуальным технологическим оборудованием;

Был произведен выбор основных аппаратных средств человеко-машинного интерфейса основной оперативной зоны управления:

- для автоматизированного рабочего места (АРМ) ведущего инженера управления реактором (ВИУР);
- для автоматизированного рабочего места (АРМ) ведущего инженера управления турбиной (ВИУТ);

Для реализации резервной оперативной зоны управления и экрана коллективного пользования (ЭКП) был произведен анализ существующих в настоящее время современных средств отображения информации.

По результатам анализа представленных на рынке аппаратных средств отображения информации, было принято

Спецификация вычислительной системы «МП-Cetus»
Аппаратная составляющая высокопроизводительной ВС «МП-Cetus»:

- вычислительная система на базе восьми АПК-5;
- инфраструктура объединения, в составе:
 - 1) коммуникационная система;
 - 2) файловая система;
 - 3) управляющая система;
 - 4) система мониторинга;
 - 5) сервисная система;
 - 6) многофункциональная архивная подсистема хранения данных;
 - 7) система охлаждения, с применением контейнеризации, основанная на решениях APC.

Вычислительное поле

- Server System H2312JFFJR - 32 шт;
- 128 узлов;
- 256 процессоров E5-2690 Sandy Bridge-EP;
- 2048 ядер;
- 4096 Гб ОЗУ (DDR3 ECC UDIMM 1333);
- 32*4*2*8*2900*8=47,5 TFlops.

Ролевые сервера

- Инструментальные сервера - 2шт (2 x E5-2690 Sandy Bridge-EP, 32 Гб DDR3 ECC UDIMM 1333);
- Графический сервер - 1 шт (2 x E5-2690 Sandy Bridge-EP, 256 Гб DDR3 ECC UDIMM 1333);
- Сервер NFS - 28 ТБ;
- Сервер MDS - 1 шт;
- Сервер Lustre - 4 шт (общий объем дискового пространства 132 ТБ);
- BackUp сервер - 3 шт (общий объем дискового пространства 230 ТБ).

Коммутационная среда

Три сети:

- передачи данных - FDR InfiniBand (56 Гбит/с, Mellanox);
- управляющая - Gigabit Ethernet;
- мониторинга - Fast Ethernet.

Системное программное обеспечение разработки ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»

- Малошумная ОС - Scientific Linux Release 6.2 (Carbon);
- ОЗУ резидентная ОС для вычислительных узлов и файловых серверов;
- Реализации MPI и OpenMP;
- Система управления заданиями – JAM;
- WEB мониторинг и управление.

решение об использовании LCD панелей в качестве средств визуализации ПТК.

Для размещения аппаратных средств визуализации резервной оперативной зоны необходимы специальные системы организации мониторов - стойки крепления. Стойки должны обеспечивать подвеску панелей LCD в требуемом положении – вертикальном и наклонном, и иметь места установки системных блоков и блоков питания управляющих компьютеров. Подвеска мониторов имеет регулировку положения в трех координатных плоскостях для образования из отдельных мониторов общей рабочей поверхности.

Проанализировав системы организации мониторов представленных на российском рынке - было принято решение о разработке собственного проекта стоек крепления.

Были разработаны различные концепции реализации стоек. После изучения характеристик и эргономики, проведения расчетного обоснования устойчивости был выбран вариант для разработки технического проекта и организации тендера.

Виртуальный пульт оператора моделирует работу реального БПУ АЭС и позволяет управлять расчетом. Для возможности гибкого изменения конфигурации БПУ состоит из 5-и 2-х мониторных рабочих мест операторов, 6 стоек мозаичных панелей с LCD интерактивными дисплеями, поддерживающими сенсорную технологию «мультитач», и экрана коллективного пользования, реализованного на 4-х LCD дисплеях диагональю 47»

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Внедрение разрабатываемого программно-технического комплекса «Виртуальный энергоблок АЭС с ВВЭР» на базе супер-ЭВМ в работы по проектированию и строительству АЭС позволит не только проводить физико-математическое обоснование элементов и подсистем энергоблока с использованием современных высокоточных кодов, но и дает возможность провести комплексную верификацию проекта энергоблока АЭС, в частности, ЛАЭС–2. Проведение комплексного моделирования проекта соответствует рекомендациям МАГАТЭ и позволяет:

- повысить уровень безопасности объектов атомной энергетики за счет моделирования и последующего обоснования безопасности в тех режимах и условиях, которые не могут быть реализованы на действующих энергоблоках АЭС;
- поднять качество и конкурентоспособность Проекта, сократить сроки и стоимость строительства и наладки АЭС за счет повышения качества проектирования и сокращения сроков сдачи в эксплуатацию АЭС с ВВЭР.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарны коллективу научного направления СПбАЭП, коллегам из НИТИ и ВНИИЭФ за колоссальную проделанную работу и надеются на дальнейшее плодотворное сотрудничество.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

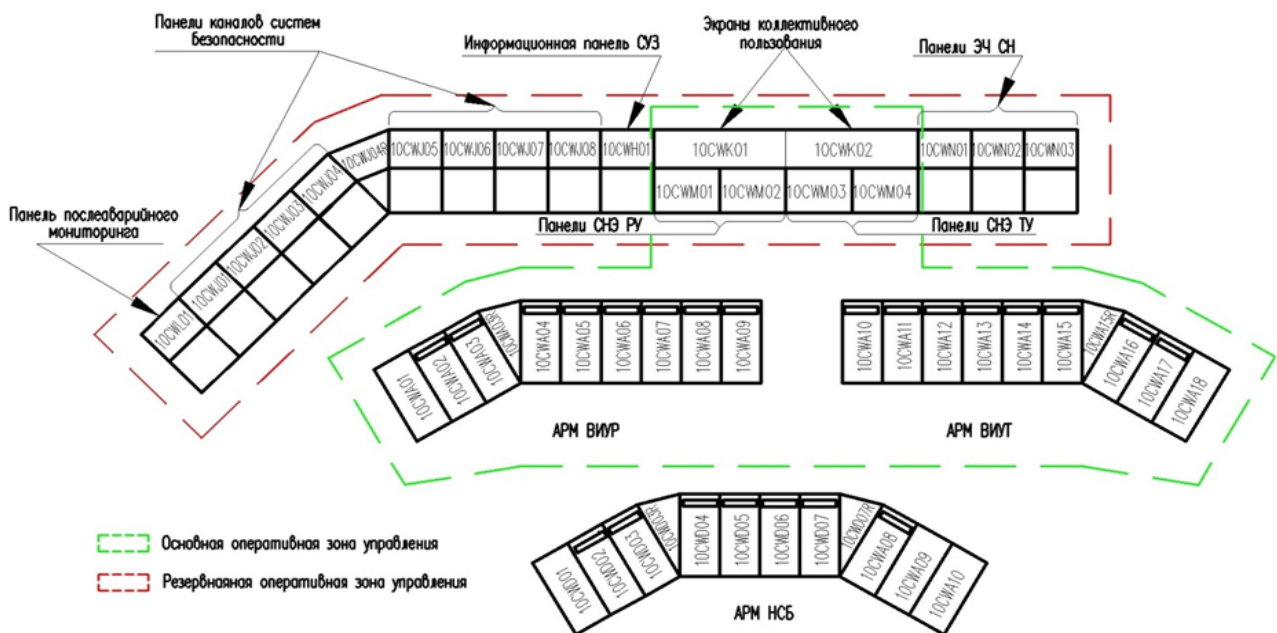
- ПТК – программно-технический комплекс
- АЭС – атомная электростанция
- ВВЭР – водо-водяной энергетический реактор
- ВЭБ – виртуальный энергоблок АЭС
- ЛАЭС 2 – Ленинградская АЭС-2 (Сосновый Бор, Россия)
- РК – расчетный код
- ПК – программный комплекс
- ПТУ – паротурбинная установка
- РУ – реакторная установка
- СКТ – суперкомпьютерные технологии

- СКУ – система контроля и управления
- АЗ – аварийная защита
- ЦН – главный циркуляционный насос
- ЦНА – главный циркуляционный насосный агрегат

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Расчетный код КОРСАР/В1.1. Аттестационный паспорт. №168 от 23 декабря 2003
2. Расчетный код КОРСАР/ГП. Аттестационный паспорт. №263 от 23 сентября 2009
3. Гудошников А.Н., Мигров Ю.А. "Верификация кода КОРСАР с учетом влияния неконденсирующихся газов на теплогидравлические процессы". Теплоэнергетика, 2008, №11, с. 67-72
4. Безлепкин В.В., Сидоров В.Г., Астафьева В.О., Токарь О.В. "Моделирование процессов в устройстве локализации расплава АЭС-2006 с ВВЭР-1200 при запроектной аварии". Атомная Энергия, 2010, Т. 108, №. 6, с. 327-332
5. Драгунов Ю.Г., Быков М.А., Василенко В.А., Мигров Ю.А. «Опыт применения и развития расчетного кода КОРСАР для обоснования безопасности АЭС с ВВЭР» – Теплоэнергетика, 2006, №1, с. 43-47
6. Амелиюшина А.Г., Литвиненко Л.Д., "Моделирование деаэратора подпитки и борного регулирования". Супервычисления и математическое моделирование, 2012, Тезисы XIV международной конференции, с. 24, ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров, Россия.
7. IAEA-TECDOC-1610, "Safety Analysis of WWER-440 Nuclear Power Plants: Potential Consequences of a Large Primary to Secondary System Leakage Accident" (2009)
8. Костоюков В.Е., Соловьев В.П. и др., "Развитие суперкомпьютерных технологий для решения актуальных задач атомной отрасли". CLUB 3D: Инновационное проектирование, 2012, Т. 6, с. 72-84
9. Михеев В.С., Соколов В.Г., Деулин А.А., Образцов Е.П., "Интеграция программных средств в ПТК «Виртуальный энергоблок АЭС с ВВЭР»". Супервычисления и математическое моделирование, 2012, Тезисы XIV международной конференции, с. 128, ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров, Россия.
10. Токарь О.В., Соколов В.Г., Гаврилов М.В., "Оптимизация методики вычисления температуры стенки, соответствующей критическому тепловому потоку в теплогидравлическом коде PATEF". Супервычисления и математическое моделирование, 2011, Тезисы XIII международного семинара, с. 48, ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров, Россия.
11. Токарь О.В., Соколов В.Г., Гаврилов М.В., Савченко А.Ю., "Основные направления комплексной модернизации теплогидравлического расчетного кода PATEF". Супервычисления и математическое моделирование, 2012, Тезисы XIV международной конференции, с. 154, ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров, Россия.
12. L. Bolshov, V. Strizhov "SOCRAT – The System of Codes for Realistic Analysis of Severe Accidents", Proceedings of ICAPP'06, Paper 6439, Reno, NV USA (2006).

Рис.5 Фрагмент экспликации блочного пульта управления ЛАЭС-2 для анализа состава аппаратных средств БПУ



МНЕНИЕ

Своим опытом работы на площадках строительства АЭС делится ветеран атомной отрасли Виктор Васильевич Биктимиров. О технологии, опередившей свое время.

Атомной тематикой я занимаюсь с 1976 года. С начала строительства Калининской АЭС, где был руководителем группы рабочего проектирования от института «Оргэнергострой».

С 1981 по 1990 годы находился непосредственно на стройплощадке Балаковской АЭС и работал в следующих организациях: институте «Оргэнергострой», институте «Энергомонтажпроект», в Балаковском филиале института «Атомэнергопроект».

Сразу оговорюсь, что примечательной особенностью Балаковской АЭС была технология строительства, основанная на применении козлового крана K2x100(190) грузоподъемностью 380 тонн, с помощью которой четыре энергоблока были построены за 10 лет и эксплуатируются уже 23 — 28 лет.

А начиналась стройка Балаковской АЭС одновременно с Ростовской АЭС и позже Калининской АЭС.

Основное преимущество выбранной в то время технологии строительства была возможность осуществления совмещенного и укрупненного монтажа строительной части здания и тяжеловесного оборудования (корпус реактора, 4 парогенератора в сборе с коллекторами, круговой кран в полном сборе и со смонтированной электротехнической частью) до закрытия купола. Данная технология позволила сократить сроки строительства каждого блока на 12 месяцев.

Сегодня, когда решается вопрос: «Быть или не быть типовой серийной АЭС полностью отечественной конкурентоспособной не только по технологии производства электроэнергии, но и по технологии её строительства?», соединилось много объективных причин для использования в строительстве «Балаковской модели». Упомянутая технология,

основанная на применении в качестве основного грузоподъемного механизма уникального козлового крана марки K2x100(190) г/н 380 тонн. При составлении технического задания на проектирование и изготовление авторы исходили из следующих условий:

* монтаж самого тяжёлого оборудования — корпуса реактора (330т), парогенераторов (4x330т), кругового крана, собранного на «земле» полностью с электротехническим оборудованием (270т), ротор, статор, конденсаторы, мостовые краны машзала и др.

* возможность двигаться и работать над всеми зданиями главного корпуса;

* занять как можно меньшую площадь на строительной площадке собственными опорными тележками;

* возможность размещения в зоне обслуживания краном укрупнительно-сборочных площадок для сборки армометаллических монтажных блоков массой до 300 тонн;

* возможность снять тяжеловесное и крупногабаритное оборудование с любого вида транспортных средств и разместить на промежуточной площадке для подготовки к монтажу.

Основное преимущество освоенной в то время технологии строительства была возможность использовать и осуществить совмещенный и укрупненный монтаж строительной части здания и тяжеловесного оборудования, включая круговой кран, до закрытия купола. На других АЭС такая возможность отсутствовала, так как строительные краны (в основном КРОЛЛы) не могли поднять то, что нужно. Монтаж тяжеловесного оборудования и сборка кругового крана по частям на высоте выполнялись последовательно после закрытия купола через транспортный коридор и транспортный люк. Данная технология позволила сократить сроки строительства каждого блока на 12 месяцев (данные выбраны из монтаж-

ных журналов субподрядчиков). В связи с этим, понятие «ОТКРЫТЫЙ ВЕРХ» или как его потом назвали «open top» относится только к «Балаковской модели».

Логичным продолжением для более эффективного использования возможностей этого удачного уникального козлового крана за короткое время был запроектирован КССК (комбинат специальных строительных конструкций), на котором изготавливались и поставлялись на площадку максимально крупные транспортные блоки. На площадке они собирались в крупные монтажные блоки, которые по специальным плазам подавались в монтажную зону под козловый кран. За счёт этого способа работ удалось уменьшить количество монтажных единиц и освободить на главном корпусе четыре башенно-стреловых крана. Таким образом, возник поточно-скоростной строительный конвейер, который ускорил строительство, улучшил качество работ, обеспечил контроль за участниками стройки и дисциплинировал их.

Благодаря тому, что в проекте АЭС-2006 и в проекте ВВЭР-ТОИ заложен способ «open top» появилась реальная возможность занять своё место козловому крану в части «Организация строительства», чтобы создать комплексный (имеется в виду отечественное строительное оборудование) конкурентоспособный единый типовой серийный проект. Для этого необходимо, чтобы руководители, ответственные за развитие строительной отрасли в РОСАТОМе, приняли положительное решение сложного вопроса проектирования и изготовления козловых кранов в России.

Данная технология будет спасительным мероприятием в ликвидации застойного явления в строительстве АЭС.

Исторические кадры

Сооружение Балаковской АЭС.

Фото предоставлены В.В. Биктимировым

Рис.1

Начало подъёма корпуса реактора.
Строповка без заводских приспособлений.

В объективе: круговой кран,
контрольная сборка элементов
оболочки, лепестки купола.



Рис.2

Спуск корпуса реактора в шахту



Рис.3

Подъём парогенератора с
приваренным коллектором
пара для установки в
проектное положение. Масса –
320 т. Строповка без заводских
приспособлений.

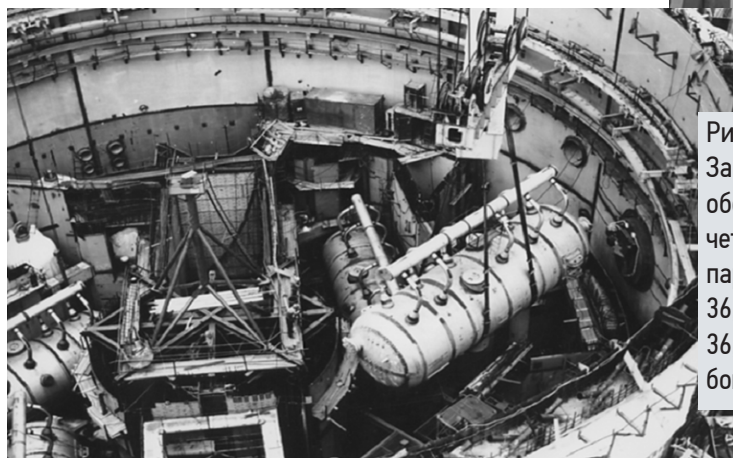


Рис.4

Завершающий этап послойного монтажа технологического оборудования в боксах парогенераторов. Установка четвёртого парогенератора с приваренным коллектором пара при открытом куполе и отсутствии перекрытия на отм. 36,9 м. Следующая операция – установка ОМФ перекрытия 36,9 м и создание локальной зоны «чистого» монтажа в боксах парогенераторов



Рис.5
Строповка кругового крана

Рис.6
Подъём купола со спринклерной системой. Масса – 270 т. Строповка при помощи специальной системы траверс, используя собственную жёсткость купола. Места строповки и траверсы – ниже вершины купола



Рис.7
Круговой кран в процессе установки в проектное

Рис.8
Монтаж купола



Автоматизация сварки трубопроводов Ду 850 ГЦТ ВВЭР-1200. Состояние и перспективы.

Авторы: В.Д.Ходаков, А.И. Данилов, Д.В. Ходаков, Д.А. Пралиев, А.А. Абросин
ОАО НПО «ЦНИИТМАШ»

До настоящего времени основным способом соединения стыков трубопроводов Ду 850 мм ГЦТ является ручная электродуговая сварка. Для сварки основного металла перлитного слоя шва применяются электроды марки ПТ-30. При этом корневая часть шва, высотой 6-8 мм, выполняется без предварительного и сопутствующего подогрева аргонодуговой сваркой с присадочной проволокой Св-08Г2С диаметром 2 мм. /1/

Благодаря большому объёму контроля и работ по исправлению дефектов по ходу (в процессе) ручной монтажной сварки количество дефектов, выявленных после окончательной термообработки и заносимых в паспорт, сведено к минимуму. Так при монтаже АЭС «Бушер» и АЭС «Куданкулам» в паспортах на ГЦТ было зафиксировано только по одному дефекту, что свидетельствует о высоком уровне качества монтажных работ, выполняемых по традиционной технологии с использованием ручной сварки. Начиная с 1978 года сварено и успешно эксплуатируется около 1000 стыков ГЦТ.

Ручная монтажная сварка, несмотря на её очевидные достоинства, имеет по крайней мере два серьёзных недостатка, а именно, высокий объём вспомогательных работ, выполняемых вручную и необходимость иметь большое количество квалифицированных подручников-сварщиков и слесарей.

Несмотря на многолетний положительный опыт, применение ручной дуговой сварки для высокоответственных трубопроводов ГЦТ категории 1А следует признать нежелательным из-за зависимости качества металла шва от квалификации и состояния сварщиков-ручников. С учётом постоянного роста количества монтируемых атомных энергоблоков недостаток квалифицированных подручников-сварщиков становится острой проблемой. Радикальным решением этой проблемы при монтаже ГЦТ ВВЭР является переход с ручной сварки на автоматическую, при этом автоматизация сварки швов Ду 850 Главного циркуляционного трубопровода (ГЦТ) может явиться одним

из важнейших инновационных мероприятий при сооружении АЭС с реактором ВВЭР-1200.

За рубежом автоматическая аргонодуговая сварка при монтаже и ремонте трубопроводов главного контура, изготовляемых из аустенитных сталей начала применяться ещё в начале 80-х годов /2/. Однако, технология сварки биметаллических трубопроводов (перлитная сталь 10ГН2МФА плакированной нержавеющей сталью), аналогичных применяемым для ГЦТ ВВЭР, никогда не разрабатывалась.

В СССР впервые разработкой технологии автоматической сварки биметаллических трубопроводов Ду 850 ГЦТ начали заниматься в конце 80-х годов прошлого века, когда ВНИИЭСО разработал и изготовил специализированный автомат для аргонодуговой сварки АДГ-301УХЛ4, а «Энергомонтажпроект» и НПО «ЦНИИТМАШ» разработали технологию и специальную сварочную проволоку Св-08Г1СН1МА для аргонодуговой сварки стали 10ГН2МФА. Организацией «Ютехтеплоэнергомонтаж» была выполнена сварка натурных макетов трубопроводов Ду 850 в разделки аналогичные применяемым для ручной сварки. Из этих макетов после проведения термообработки ОС, выдержка 6 часов и неразрушающего контроля изготавливались образцы для проведения аттестационных испытаний, на ос-

новании положительных результатов которых, было получено разрешение ГОСПРОМАТОМНАДЗОРА на применение автоматизированной технологии сварки и сварочной проволоки марки Св-08Г1СН1МА для выполнения монтажных швов энергоблоков с реакторами ВВЭР-1000 /3/. В 90-е годы серьёзные исследования были выполнены в ИЭС им. Патона применительно к замене парогенераторов на Южно-Украинской АЭС /4/, где была разработана и аттестована технология сварки элементов ГЦТ Ду 850 как в стандартную, так и в узкую разделки (рис. 1). Сварка выполнялась с использованием полученных от ЕЭС после аварии на Чернобыльской АЭС специализированных сварочных автоматов AUTOTIG 600 РС фирмы «Полисуд», оснащенных специальными горелками, позволяющими вести сварку в узкую разделку. В качестве присадки использовалась модернизированная сварочная проволока Св-10ГН1МА с дополнительным содержанием Al – элемента-раскислителя. Неразрушающий контроль и аттестационные испытания показали высокое качество сварных соединений, на основании которых было оформлено разрешение на применение такой технологии на АЭС Украины /5/.

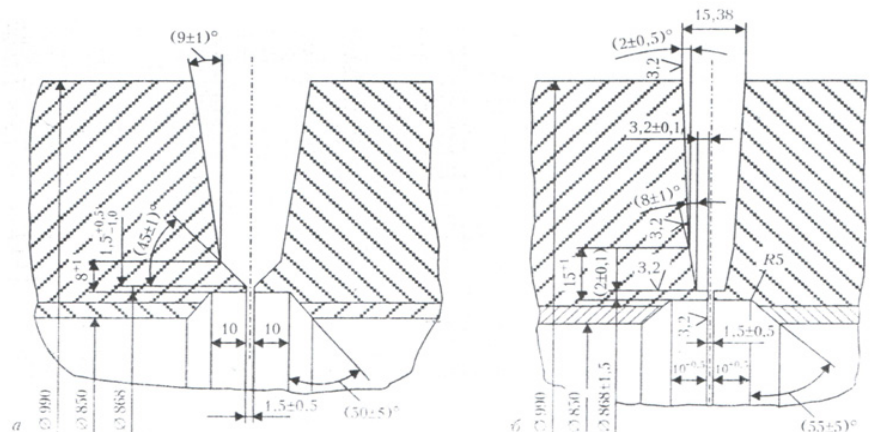


Рис.1 Схема стандартной и узкой разделки кромок соединений, полученных ААрДС неплавящимся электродом с подачей присадочной проволоки

Несмотря на положительные результаты, полученные в ЦНИИТМАШ и ИЭС им. Патона, все вышеназванные работы были прекращены после распада СССР и прекращения сооружения АЭС.

Начиная с 2010 года, в связи с ростом количества сооружаемых атомных энергоблоков и острого дефицита в сварщиках-ручниках высокой квалификации в ОАО НПО «ЦНИИТМАШ» и ОАО «НИКИМТ-Атомстрой» совершенно самостоятельно, с большими технологическими различиями, вновь начали активно проводиться работы по автоматизации сварки швов ГЦТ Ду850.

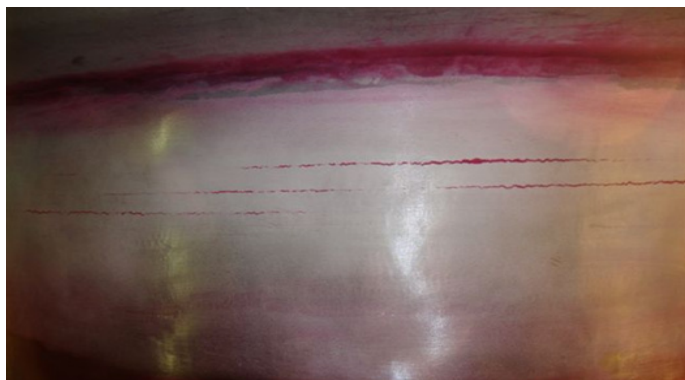


Рис.2 Трещинообразные протяжённые дефекты в металле шва №1-2 после КК контроля: а) - исходное состояние и б) - с неполной выборкой

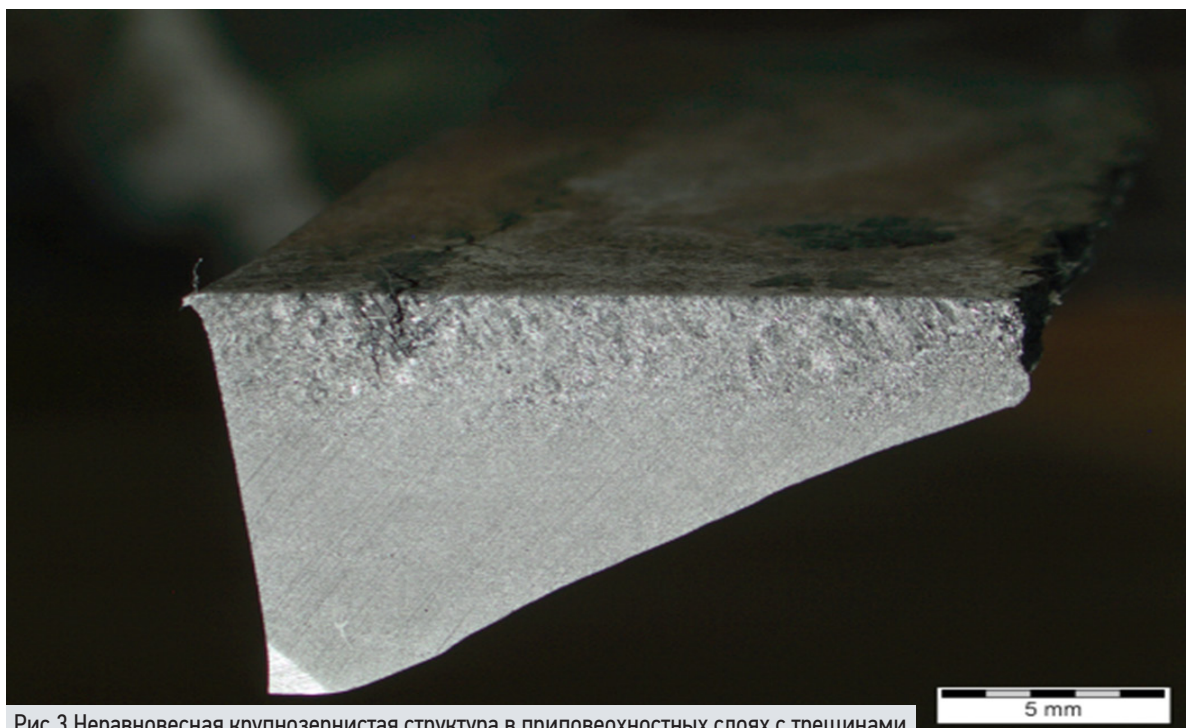


Рис.3 Неравновесная крупнозернистая структура в приповеохностных слоях с трещинами повторного нагрева



Рис.4 Игольчатый феррит (видманштетт) в металла образца №3-2



Рис.5 Крупные зерна и многочисленные трещины по их границам

Разработки ОАО «НИКИМТ-Атомстрой» базировались на имеющимся у него заделе в части создания орбитальных сварочных автоматов, а именно, сварочном автомате Ca-700, укомплектованном источником тока фирмы «Эсаб» (Швеция). Разрабатываемая ОАО «НИКИМТ-Атомстрой» технология, основывалась на способе автоматической аргонодуговой сварки в классической (широкие) разделки с подачей холодной присадочной проволоки Св-10ГН1МА диаметром 1,2 мм. В качестве защитного газа применялась смесь 70%He – 30%Ar. Ведение сварки в импульсном режиме обеспечивал шведский источник питания фирмы «Эсаб»./6/

Разработанная ОАО «НИКИМТ-Атомстрой» технология являлась, фактически, не автоматической, а комбинированной, поскольку предусматривала выполнение двух блокирующих слоёв на глубине разделки 50% и 75% электродами ПТ-30 для предотвращения образования пористости («слоёная» технология).

В связи с тем, что параллельно с разработкой технологии автоматической сварки трубопроводов ГЦТ выполнялась подготовка к монтажу 1 и 2 блоков Нововоронежской АЭС-2, было принято решение о применении этой технологии уже при монтаже 1-го блока НВ АЭС-2., несмотря на то, что эта технология, в том числе и из-за недостатка времени, была недостаточно исследована и имела очевидные недостатки.

При использовании разработанной ОАО «НИКИМТ-Атомстрой» технологии при монтаже ГЦТ Ду850 1 блока Нововоронежской АЭС-2 выявился ещё один весьма неприятный недостаток автоматической аргонодуговой сварки, а именно, повышенная склонность металла шва к образованию трещин «повторного нагрева» (рис. 2)/7/. Как показали выполненные ис-

следования /8, 9, 10/, при термообработке полностью сваренных швов ГЦТ в их приповерхностных слоях происходило массовое образование межзёрненных трещин (рис. 3) в зонах с крупнозернистой неравновесной структурой (видманштетт) (рис. 4). Образование такой структуры вызвано значительным перегревом металла предыдущих валиков (з.т.в.) концентрированным источником тепла (импульсная дуга в аргоно-гелиевой смеси) с последующим интенсивным охлаждением сильным потоком (свыше 30л/час) защитного газа.

Ввиду этого автоматическая сварка ГЦТ на Нововоронежской АЭС-2 была остановлена и дальнейшая сварка велась с использованием традиционной технологии ручной сварки.

Неудачное первое применение автоматической аргонодуговой сварки на Нововоронежской АЭС-2 не должно рассматриваться как окончательный приговор автоматизированной технологии. Мы убеждены, что за этой технологией – будущее и это как раз тот случай, когда даже отрицательный опыт должен рассматриваться как исключительно полезный для дальнейших исследований и технологических разработок в этом направлении.

С 2010 года ОАО НПО «ЦНИИТМАШ» также начал активно проводить работы по автоматизации сварки сварных соединений Ду 850. В качестве сварочного оборудования ОАО НПО «ЦНИИТМАШ» использовал широко известные и довольно широко применяемые в России (в т.ч. в атомной отрасли) сварочные автоматы зарубежных фирм «Полисуд» (Франция) и «Аркмашинз» (США). Диаметр присадочной проволоки составлял 0,8 мм. В качестве защитного газа использовался аргон.

С самого начала учитывался такой важный недостаток автоматической аргонодуговой сварки перлитной стали марки 10ГН2МФА, как повышенная склонность к образованию в металле шва пористо-

сти, причина образования которой до сих пор не достаточно изучена.

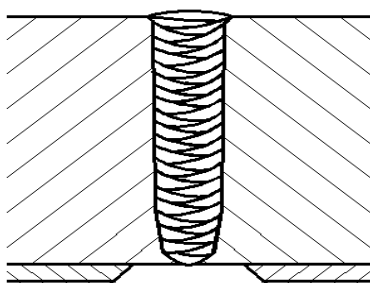
Вероятнее всего образование пористости в данном случае происходит по реакции «кипения», которая может протекать, принимая упрощённую схему, по реакции:

$$2C + O_2 = 2CO$$

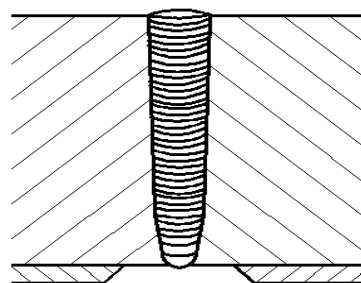
из-за недостаточного количества элементов-раскислителей Si и Mn в проволоке Св-10ГН1МА /11/. С учетом ранее полученных положительных результатов /3/, в ОАО НПО «ЦНИИТМАШ» была изготовлена новая партия сварочной проволоки Св-10Г1СН1МА (Св-08Г1СН1МА), адаптированная к современным требованиям (в частности для сварки в узкие разделки). Благодаря более высокому содержанию Si и Mn в этой проволоке недопустимое образование пористости было надёжно предотвращено. Не менее важной проблемой, затрудняющей применение автоматической аргонодуговой сварки деталей больших толщин, является её низкая производительность, уступающая по коэффициенту наплавки даже ручной электродуговой сварке.

Наиболее радикальным способом повысить производительность является переход на сварку в узкие разделки поэтому разрабатываемая технология базировалась на однозначно принятой в развитых промышленных странах технологию аргонодуговой сварки в узкие разделки, которые также иногда называются щелевыми (рис.6).

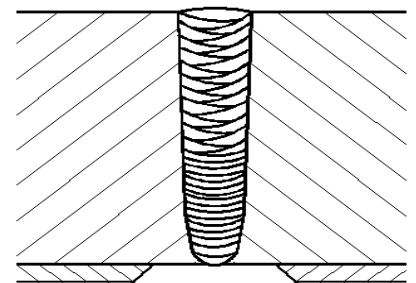
Поскольку процесс усадки и снижения раскрытия разделки изучен недостаточно было определено, что наиболее рациональным на этой стадии разработок, является применение комбинированной разделки, которую мы называем «узкощелевой», при этом нижняя часть разделки заполняется по технологии «мост», а верхняя часть по технологии «влево-вправо» (рис. 6).



Узкая



Щелевая



Узкощелевая

Рис.6 Схемы узких (щелевых) разделок и способов их заполнения с использованием автоматической аргонодуговой сварки.

Для повышения производительности процесса и качества металла шва ведущие зарубежные производители сварочного оборудования «Полисуд» (Франция) и «Либурди» (Канада) уже достаточно давно изготавливают сварочные автоматы с дополнительными устройствами, позволяющими вести сварку с подогревом присадочной проволоки (технология «Hot wire»). Располагая сварочным автоматом POLYCAR-MP (Полисуд) мы имели возможность выполнить сравнение технологий с холодной и горячей проволокой. Как показали выполненные исследования, сварка с горячей проволокой имеет существенно более высокую производительность (Табл. 1 и рис. 7). В дальнейшем все исследования технологии сварки велись с подогретой сварочной проволокой.

Диаметр трубы (Ду) мм	850	
Толщина, мм	70	
Материал трубы	10ГН2МФА + антикоррозионная наплавка	
Ось трубы	вертикальная	
Сварочные установки	POLYCAR-MP (Полисуд) Горячая проволока (Hot wire)	H52NGT (Аркмашинс) Холодная проволока (Cold wire)
Кол-во проходов	41	76
Суммарное время сварки, мин/час	1582/26,3	2280/38
Параметры сварки:		
Ток, А	230-370/110-190 (имп./пауза)	280-295/235 (шаг/пауза)
Скорость сварки, мм/мин	60-75	25-34
Скорость подачи проволоки, мм/мин (проволока Ø0,8мм)	2800-3900/1450-1800 (имп./пауза)	600

Таблица.1 Сравнение показателя производительности сварки с «горячей» и «холодной» присадочными проволоками

Применение сварки с несколькими сварочными головками для орбитальной сварки в неповоротном положении также начинает находить применение, прежде всего при схемах «вверх-влево-вправо», однако размещение двух головок в разных зонах сварки создаёт большие затруднения из-за намотки питательных кабелей, что безусловно должно учитываться при организации процесса. Все перечисленные мероприятия в конечном итоге приводят к необходимости вести сварку на повышенных параметрах сварочного тока (до 400 А), что необходимо учитывать при выборе источника питания. Кроме того при сварке на повышенных параметрах режима становится исключительно важной стойкость вольфрамового электрода, который должен с помощью специальных устройств эффективно охлаждаться. Особенно это касается сварки высокопрочных легированных сталей в узкие и щелевые разделки, ведущейся с подогревом при высоких температурах.

В ОАО НПО «ЦНИИТМАШ», применительно к отечественным биметаллическим трубопроводам Ду850 ГЦТ, при содействии зарубежных фирм «Полисуд» и «Аркмашинз», разработчиков специализированного сварочного оборудования, разработана технология автоматической аргонодуговой сварки в узкую и щелевую разделки (рис. 8). Как отмечалось выше, при разработ-

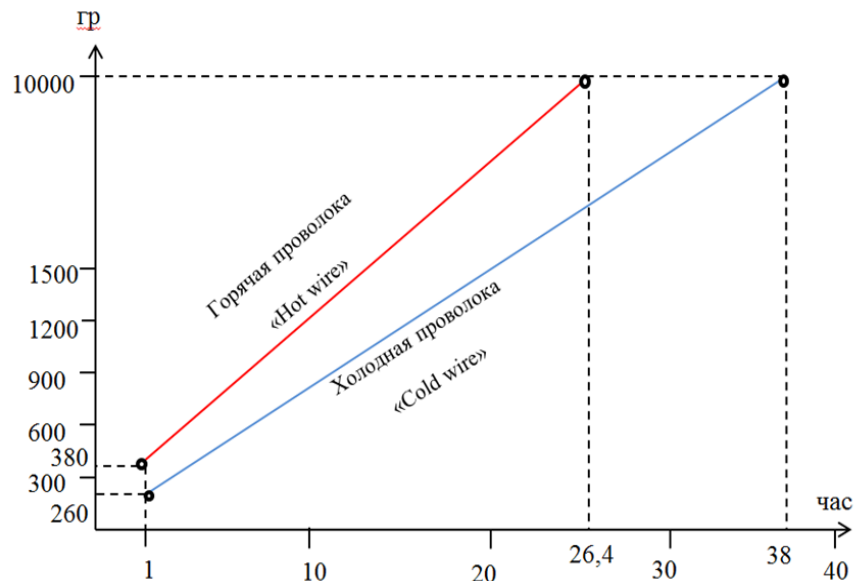


Рис.7 Коэффициент наплавки (г/ч) при сварке с «горячей» и «холодной» проволоками

ке технологии в качестве присадочной проволоки для сварки перлитной части шва применяется новая, разработанная в ОАО НПО «ЦНИИТМАШ», сварочная проволока Св-10Г1СН1МА диаметром 0,8 мм. В качестве защитного газа, в том числе и для защиты корневого прохода («поддув»), использовался аргон. С использованием разработанной технологии было сварено три натуральных макета, которые были изготовлены из штатных биметаллических труб Ду 850, а сварка велась в разделки представленные на рис. 8. В качестве сварочного оборудования для сварки макетов 1

и 3 применялся автомат POLYCAR-MP («Полисуд»), оснащённый устройством для подогрева сварочной проволоки, а макета 2 – сварочный автомат H52NGT «Аркмашинз», у которого устройство для подогрева отсутствовало. Для сварки макетов 1 и 2 использовалась технология односторонней сварки, то есть сначала выполнялась сварка плакирующего слоя с использованием в качестве присадки сварочной проволоки Св-04Х19Н1М3, затем выполнялся переходный слой с присадкой Св-08Г2С

и, наконец, заполнение разделки выполнялось с использованием сварочной проволоки Св-10Г1СН1МА. Такая технология может оказаться наиболее эффективной при проведении ремонтных работ с ограниченным доступом внутрь трубопровода, например при замене парогенераторов после длительной эксплуатации.

Макет 3 выполнялся по «классической» технологии: сначала сваривалась перлитная часть с использованием автоматической сварки, а затем изнутри выполнялась антикоррозионная наплавка на корневой участок перлитного шва электродом ЗИО-8 (первый слой) и ЭА-898/21Б (второй слой). Параметры режима сварки макета №1 представлены в таблице 2.

Для определения уровня деформаций в процессе сварки на сравниваемых макетах в четыре диаметрально противоположных местах кернением были нанесены четыре реперных точек и проводились замеры усадки по мере заполнения разделки. На основании этих исследований установлен, что усадка наиболее активно происходит при выполнении первых 10 проходов и, фактически, прекращается после сварки 25-30% сечения шва. При этом величина усадки составляет 5 - 6 мм.

№ п.п.	Номер прохода, слоя	Сварочный ток (импульс/паузы), I, А	Время (импульс/паузы), сек	Напряжение дуги, U, В	Скорость сварки, мм/мин	Скорость подачи проволоки (импульс/паузы), мм/мин	Расход защитного газа в горелку, л/мин	Расход защитного газа на поддув, л/мин
1	1-й проход, корневой	200-230/70-90	1,2/0,5	7,5-8,5	60-70	750-850/500-600	20-22	6-8
2	2-й проход, корневой	230-260/110-130	0,5/0,5	7,5-8,5	60-70	1300-1400/550-650	20-22	6-8
3	3-й проход, корневой	250-270/120-140	0,5/0,5	7,5-8,5	60-70	2800-2900/1450-1550	20-22	6-8
4	4-й, 5-й проход	300-330/130-140	0,5/0,5	7,5-8,5	60-70	2800-2900/1450-1550	20-22	—
5	6-й – 42-й проход заполнения разделки	350-370/190-210	0,4/0,3	7,5-8,5	65-75	3200-3300/1700-1800	20-22	—
6	Облицовочные слои	280-300/140-160	0,4/0,3	7,5-8,5	65-75	2700-3000/1400-1600	20-22	—

Таблица.2 - Режимы сварки макета №1 ГЦТ с вертикальной осью.

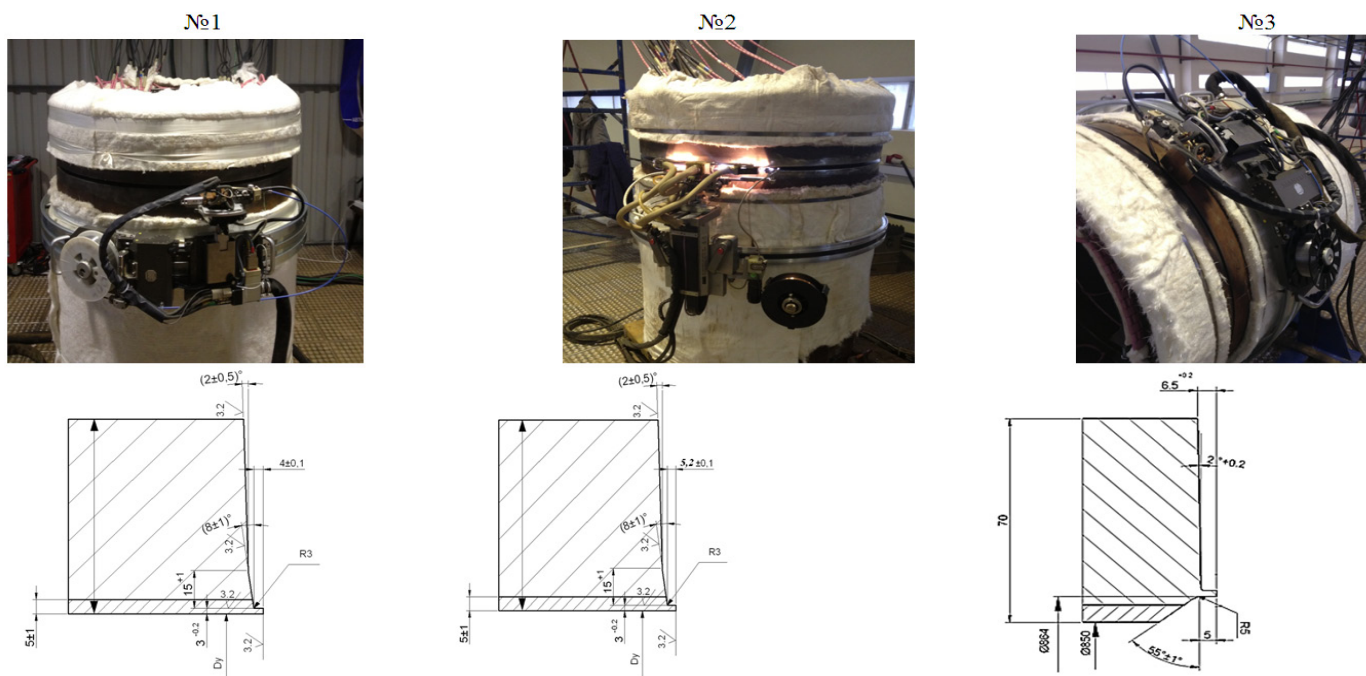


Рис. 8 - Подготовка кромок и сварка натуральных макетов в узкощелевую разделку биметаллического трубопровода Ду850.

1 – Односторонняя сварка с использованием автомата фирмы «Полисуд»

2 – Односторонняя сварка с использованием автомата фирмы «Аркс машинс»

3 – Двухсторонняя «классическая» сварка с применением автомата фирмы «Полисуд»

После сварки макета №3 была произведена термическая обработка по режиму 6500С – 8 часов. После выполнения сварки и термообработки сварные соединения подвергались контролю ВИК, НК, РГК и УЗК. Результаты контроля показали, что в сварных соединениях всех трёх макетов дефек-

ты отсутствуют. Исследования макро- и микроструктуры сварных соединений показали, что в металле шва отсутствуют трещины, несплавления. Немногочисленные неметаллические включения в металле шва весьма мелкодисперсные (размером менее 0,2 мм) и имеют произвольное расположение. Одиночных

неметаллических включений и пор размером $\geq 2,5$ мм, являющихся браковочным признаком для толщины 70 мм (ПНАЭ Г-7-010-89), на всех исследованных шлифах обнаружено не было рис. 9.

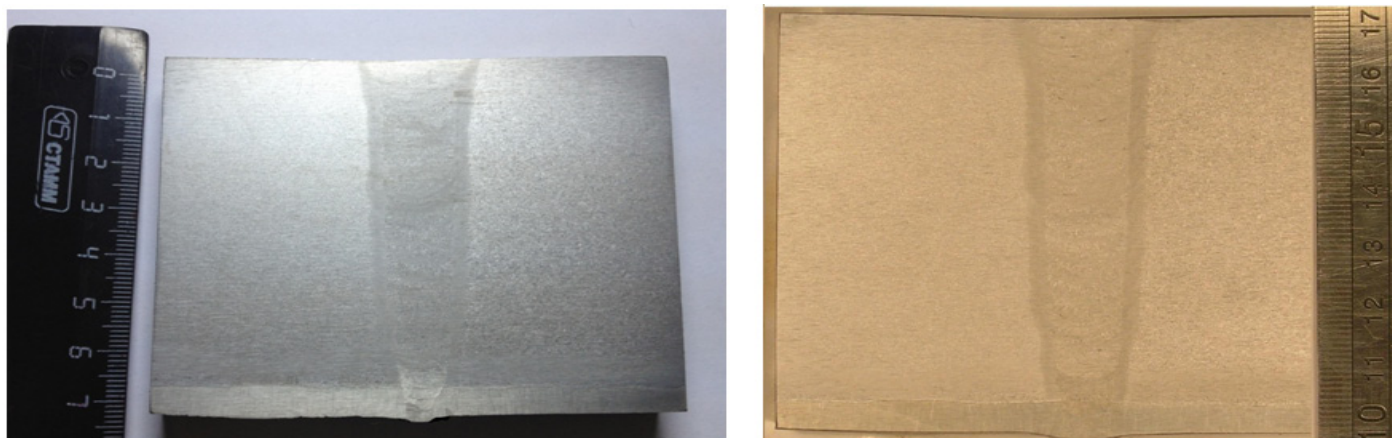


Рис. 9 - Макроструктура сварных соединений макетов №1 и №2

В соответствии с п. 10.3.9 была выполнена производственная аттестация путём проведения следующих испытаний (рис. 10):

- определение предела прочности при нормальной температуре (табл. 3);
- определение предела прочности при повышенной температуре (табл. 3);
- испытание на ударный изгиб (Шарпи) (табл. 4);
- определение угла загиба.

Угол загиба при испытаниях на статический изгиб составлял 120 градусов.

Полученные при механических испытаниях прочностные характеристики, а также значения ударной вязкости значительно выше установленных требований /12/.

В настоящее время продолжаются работы, связанные с завершением аттестационных испытаний и освоения технологии автоматической сварки трубопроводов ГЦТ в узкую разделку применительно к Ростовской АЭС.

Объект испытания	T _{исп.} , C°	σ _в , МПа	σ _т , МПа	δ ₅ , %	Ψ, %	Место разрушения
Шов	20	664; 691; 705	580; 591; 601	23,4; 26,2; 24,8	72,7; 73,4; 73,5	шов
	350	593; 684; 576	480; 562; 531	21,8; 22,5; 22,0	68,9; 71,2; 70,4	шов
Сварное соединение	20	561; 580; 562	-	-	-	осн. металл
	350	540; 540; 527	-	-	-	осн. металл
Сталь 10ГН2МФА	20	≥539	≥343	≥16	≥55	
	350	≥490	≥294	≥14	≥50	

Таблица.3 - Механических свойств металла шва и сварных соединений стали 10ГН2МФА при автоматической аргодуговой сварке стали 10ГН2МФА с использованием присадочной проволоки св. 10Г1СНМА

Объект испытания	Ударная вязкость Дж/см ²	
	-10°С	+20°С
Металл шва	245, 256, 284	330, 276, 337
Линия сплавления	262, 276, 244	351, 268, 333

Таблица.4 - Результаты испытаний на ударный изгиб образцов Шарпи с V-образным острым надрезом (КСV).



Рис.10 Образцы после испытаний: а – на растяжение; б – ударный изгиб; в – статический изгиб

ЛИТЕРАТУРА

1. В. Henon and S. Malhotra "Remote welding and the Monticello recirculation pipe replacement project" Nuclear engineering international, November 1985.
2. Белкин С.А., Иванова И.В., Борисенко М.М., Ходаков В.Д., Петин М.М. «Свойства сварных соединений трубопровода Ду 850 мм главного циркуляционного контура АЭС, выполненных автоматической аргодуговой сваркой».
3. Царюк А.К. и др. «К вопросу выбора технологии сварки элементов ГЦТ Ду 850 при замене парогенераторов ПГВ-1000М на АЭС. Автоматическая сварка, №10, 2005г.
4. Царюк А.К. и др. «Разработка и аттестация технологии АрДС в узкую разделку элементов ГЦТ Ду850 на АЭС», Автоматическая сварка, №5, 2005г.
5. Новожилов Н.М. «Основы металлургии дуговой сварки в газах», М., Машиностроение, 1979г.
6. Проспект "Polysoude" "The Art of welding".
7. ПНАЭ Г-7-002-86

Межлабораторные сличительные испытания – эффективный способ контроля качества измерений

Автор: Л.А. Карпюк к.х.н., директор метрологического отделения

ОАО «Высокотехнологический научно-исследовательский институт неорганических материалов имени академика А.А. Бочвара»

В соответствии с ФЗ от 26.06.2009 г. № 102 «Об обеспечении единства измерений» в Госкорпорации «Росатом» создана метрологическая служба, которая действует в соответствии с утвержденным Положением. На протяжении последних 25 лет функции Центральной головной организации метрологической службы Госкорпорации «Росатом» (ЦГОМС) выполняет метрологическое отделение ОАО «ВНИИИМ».

Деятельность ЦГОМС Госкорпорации «Росатом» направлена на обеспечение достоверности и точности проводимых измерений в атомной отрасли. Для достижения данной цели применяются различные метрологические инструменты, одним из которых являются межлабораторные сличительные испытания (МСИ).

Для атомной отрасли характерна высокая степень автоматизации производства и насыщенность предприятий сложными измерительными приборами, контрольными установками, системами, комплексами. От качества и состояния контрольно-измерительных процедур зависит качество измерительной информации, а, следовательно, и качество продукции.

В настоящее время качество играет ключевую роль в обеспечении конкурентоспособности и устойчивого развития. Эксплуатационная безопасность продукции является составной частью свойств, характеризующих качество продукции. Применительно к атомной отрасли, где вопросы безопасности имеют приоритетное значение, соотношение между безопасностью и качеством носит такой характер, когда определяющим является безопасность, а качество – одним из факторов, определяющим ее уровень.

Качество строительства – важная проблема, включающая в себя соблюдение требований строительных норм и правил, государственных стандартов всеми участниками строительного процесса, что является залогом долговечности и эксплуатационной надежности возведенных зданий и сооружений, их экологической чистоты, безопасности

для людей и, в конечном счете, экономичности при эксплуатации. Строительство объектов использования атомной энергии сопряжено с проведением контроля большого количества параметров, достоверность при определении которых важна как на стадии изыскательных работ, так и в процессе эксплуатации.

В этих условиях особое значение приобретают сохранение высочайшей технологической дисциплины, обеспечение объективного контроля характеристик продукции, параметров и режимов технологических процессов, обеспечение контроля ядерной, радиационной и общепромышленной безопасности.

Одним из средств выполнения этих условий является метрологическое обеспечение. В арсенале метролога имеются различные инструменты: стандартные образцы, аттестованные методики измерений, оценка состояния измерений в лабораториях, метрологическая экспертиза и ряд других, в том числе и межлабораторные сличительные испытания. Межлабораторные сличительные испытания (МСИ) включают в себя организацию, проведение измерений и оценку их результатов на специально подобранных шифрованных образцах в нескольких лабораториях в соответствии с предварительно заданными условиями.

Одной из главных задач МСИ является выявление проблем в лабораториях и проведение корректирующих действий для обеспечения единства измерений. МСИ являются наиболее рациональным инструментом, позволяющим оценить достоверность результатов, полученных в каждой отдельной лаборатории, и дающим наглядное представление о реальной точности методик измерений в целом.

Также МСИ могут применяться для:

- определения способности отдельных лабораторий проводить специальные (арбитражные) измерения;
- установления эффективности и сопоставимости новых методов испытаний и измерений;
- обеспечения дополнительного доверия у заказчиков лаборатории;
- определения наиболее компетентных лабораторий;

- использования результатов при установлении аттестованных значений стандартных образцов;
- аттестации методик измерений (МВИ).

Кроме этого регулярное участие в МСИ – обязательное условие для признания деятельности аккредитованной лаборатории соответствующей требованиям ГОСТ Р ИСО/МЭК 17025. Организация и проведение МСИ состоит из нескольких этапов. В самом общем случае координатор МСИ создает контрольные образцы (КО) и рассылает их на предприятия – участники программы. Лаборатории данных предприятий проводят измерения образцов в соответствии с заданием на измерения и высылают результаты координатору. Координатор проводит анализ полученных результатов с применением различных статистических моделей. По результатам МСИ лабораториям предлагаются корректирующие действия для устранения выявленных систематических погрешностей и обеспечения единства измерений. Могут быть и другие схемы проведения МСИ. Например, при неразрушающих методах измерений возможна передача одного и того же образца из лаборатории в лабораторию. В мировой практике в области использования атомной энергии межлабораторные сличения проводятся на постоянной основе. В частности по поручению Управления наук Министерства энергетики США Нью-Брунсуикская лаборатория ежегодно проводит оценку качества результатов измерений в системе учета ядерных материалов в лабораториях Министерства энергетики. Количество измеряемых параметров может достигать 10 в год – как правило измерений массовой доли и изотопного состава урана и плутония в объектах с различным химическим составом. Под эгидой Международного агентства по атомной энергетике (МАГАТЭ) также постоянно проводятся МСИ по определению тяжелых металлов, различных изотопов, галогенов, пестицидов и ряда других веществ.

Участие в МСИ осуществляется на основе заявок от измерительных лабораторий. В российской атомной отрасли проведение программ МСИ не носит постоянный характер. Так например, в настоящее время лаборатории предприятий Госкорпорации «Росатом» принимают участие в межлабораторных сличительных испытаниях, проводимых преимущественно институтами Росстандарта и касающихся в основном объектов охраны окружающей среды. Также Радиевый институт им. В.Г. Хлопина проводит МСИ в области ионизирующих излучений. Очевидно, что данные программы не охватывают все виды измерений, проводимые в лабораториях предприятий Госкорпорации «Росатом». Для исправления сложившейся ситуа-

ции специалистами ОАО «ВНИИНМ» был предпринят ряд действий. В частности в 2011 году были разработаны методические указания и типовая программа проведения МСИ в лабораториях атомных электростанций (АЭС) с реакторной установкой типа РБМК (реактор большой мощности канальный). В том же году были проведены МСИ в лабораториях Смоленской АЭС для оценки качества измерений контурных вод по 10 параметрам с использованием 12 методик измерений. В 2012 году была проведена аналогичная программа на всех АЭС с реакторной установкой типа РБМК – Курской, Смоленской и Ленинградской. Большинство полученных результатов являлись удовлетворительными в границах заявленных погрешностей, тем не менее были выявлены некоторые про-

блемы и сделаны рекомендации по улучшению качества измерений. Проведение двух программ МСИ на Смоленской АЭС с разницей в один год показало эффективность внедрения данного инструмента. На рисунке 1 представлены результаты измерений по одному из контролируемых параметров – железо, определяемое колориметрическим методом с О-фенантролином. В верхней части рисунка представлены результаты 2011 года, в нижней – 2012 г. Из рисунка видно, что после проведения первого круга МСИ качество измерений повысилось. Аналогичный вывод может быть сделан и по остальным параметрам.

На диаграмме приняты следующие обозначения:

$X_{срi}$ - среднее значение (результат анализа) i -той лаборатории;

e - случайная составляющая погрешности среднего результата анализа;

ОК - аттестованное значение содержания ионов железа в контрольном образце;

$\pm \Delta_{ок}$ - погрешность аттестованного значения содержания ионов железа в контрольном образце.

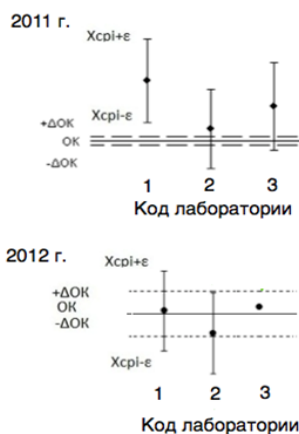


Рис.1 Результаты измерений железа колориметрическим методом с О-фенантролином.

Также предприятия отрасли принимают участие в МСИ в области измерений для целей учета и контроля ядерных материалов. ОАО «ВНИИНМ» является координатором этих программ. В 2012 году были завершены МСИ по определению массовой доли и изотопного состава урана, в которых приняли участие 23 лаборатории 12 предприятий атомной отрасли (ОАО «УЭХК», ОАО «ЧМЗ», ОАО «МСЗ», ОАО

«СХК», ФГУП «ПО МАЯК», ФГУП «НИИ НПО Луч», ФГУП «НПО Радиевый институт», ОАО «НЗХК», ФГУП «ГХК», ОАО «ПО ЭХЗ», ОАО «АЭХК» и ОАО «НИИАР»). Результаты определения изотопного состава урана показали наличие проблем в измерении малых изотопов, однако в некоторых лабораториях были выявлены проблемы даже при измерении изотопа U235. Сравнение значений заявленных лабораториями характеристик погреш-

ности с фактически полученными при измерениях выявило в некоторых случаях необходимость переаттестации используемых методов измерений [1]. При определении массовой доли урана (рисунк 2) практически все лаборатории успешно прошли испытания и получили удовлетворительные результаты.

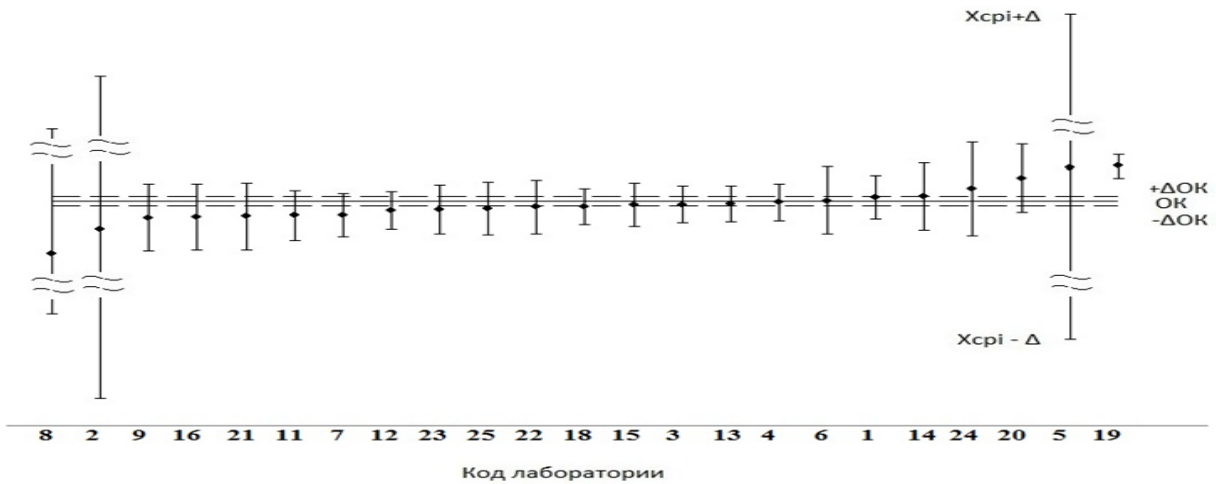


Рис.2 Статистическое распределение результатов МСИ по определению массовой доли урана в контрольном образце U_3O_8 . (Δ – общая погрешность среднего результата анализа).

При определении массовой доли урана лаборатории применяли 6 различных методов. Общая погрешность трех результатов, полученных с использованием ферро-фосфатно-ванадатного метода (лаборатории 2, 5 и 8), существенно превысила коридор погрешности контрольного образца, что свидетельствует о невысокой точности данного метода. Тем не менее, формально данные результаты могут считаться удовлетворительными, ввиду того, что с учетом погрешности методики полученный результат перекрыл аттестованное значение контрольного образца. В подобной ситуации у лабораторий может возникнуть соблазн заявить большую погрешность измерений, чтобы заведомо перекрыть аттестованное значение контрольного образца. Чтобы этого не происходило иностранные коллеги ввели такой инструмент как международные целевые показатели точности (МЦП) (international target values). МЦП – целевые значения для компонентов случайной и систематической погрешностей, превышение которых лабораториями участниками МСИ считается недопустимым. В случае превышения МЦП результат лаборатории считается неудовлетворительным.

Эти показатели формируются МАГАТЭ для различных видов измерений на основании результатов международных МСИ и пересматриваются каждые 10 лет [2]. Международные целевые показатели находятся на границе результатов, полученных лабораториями-участниками МСИ и результатов, полученными арбитражными лабораториями в идеальных условиях (рисунок 3). Целевые показатели выпускаются в виде отдельного документа и являются одним из инструментов для

оценки результатов МСИ.

Результаты МСИ 2012 года по определению массовой доли урана показали, что точностные характеристики результатов измерений во многих лабораториях российской атомной отрасли не хуже, а порой даже лучше МЦП (рисунок 4). Таким образом, и мировой опыт, и наши внутренние проведенные программы МСИ подтверждают эффективность и необходимость внедрения такого инструмента как МСИ на постоянной основе.

Однако для успешного внедрения МСИ нужно несколько составляющих.

Необходимо наличие пакета нормативных документов, определяющего порядок и содержание работ по проверке квалификации лабораторий посредством межлабораторных сличительных испытаний.

Данные документы должны устанавли-

вать основные требования к организации и проведению МСИ в лабораториях предприятий Госкорпорации «Росатом». В документах должны быть регламентированы:

- процедура проведения МСИ от стадии разработки программы до стадии обработки результатов;
- процедуры подбора и оценки компетенций координаторов МСИ,
- требования к образцам для контроля и порядок их создания,
- единый алгоритм обработки полученных результатов и оценки результатов МСИ,
- процедура использования результатов МСИ при аккредитации лабораторий,
- процедура использования программ МСИ для аттестации стандартных образцов и методик измерений.



Рис.3 Схема определения международных целевых показателей. (результата анализа).



Номера лабораторий - участников МСИ

Рис.4 Сравнение точностных характеристик результатов измерений массовой доли урана, полученных в лабораториях предприятий Госкорпорации «Росатом», с МЦП.

В настоящее время разработано Положение об организации и проведении межлабораторных сличительных испытаний на предприятиях государственной корпорации по атомной энергии «Росатом». В нем определены порядок и содержание работ по проверке квалификации лабораторий посредством межлабораторных сличительных испытаний с использованием образцов для контроля.

На стадии разработки Положение было направлено на ряд предприятий отрасли, в результате чего было получено большое количество предложений и дополнений. В настоящее время Положение утверждено руководством Госкорпорации «Росатом». Остальные документы находятся на стадии разработки.

Вторая необходимая для успешного внедрения программ МСИ в атомной отрасли составляющая - это формирование правильного восприятия про-

грамм МСИ у специалистов предприятий отрасли. Большинство организаций рассматривают проведение МСИ как проверочные, контролируемые действия со стороны вышестоящей организации, в результате чего МСИ воспринимаются негативно и при возможности отказа от участия лаборатории предпочитают остаться в стороне. Однако необходимо помнить, что основной целью МСИ является выявление проблем при проведении измерений и их устранение, а как следствие - улучшение качества проводимых в лаборатории измерений, что эквивалентно повышению качества производимой продукции, а для атомной отрасли и безопасности ее эксплуатации. Важным моментом является правило соблюдения конфиденциальности: при проведении программы МСИ лабораториям присваиваются кодовые номера, которые известны только координатору и самой лаборатории.

Со следующего года в Госкорпорации

«Росатом» планируется ежегодное проведение программ МСИ. Предварительно был проведен анализ с целью определения основных измерений, проводимых в отрасли. В результате этого была составлена анкета, содержащая порядка 40 объектов измерений и более 100 параметров. Анкета была разослана на предприятия атомной отрасли, собраны отзывы и определены те параметры, которые интересуют наибольшее количество предприятий. Наибольшее количество заявок от предприятий было получено по контролю содержания примесей в воде, что было вполне ожидаемым, так как чистоту воды контролируют на всех предприятиях атомной отрасли. На втором месте по количеству заявок находятся ядерные материалы, следом за ними - конструкционные (таблица 1).

Год	Объект контроля	Определяемый показатель
2014	Природная, сточная, контурная вода, грунтовые воды	АПАВ, анионы, катионы, жесткость общая, сухой остаток
2015	Ядерные материалы	Массовая доля урана, металлические примеси
2016	Стали и сплавы	Никель, Хром, Марганец, Молибден, Медь, Титан, Кремний, Фосфор, Сера, Кремний, Хром, Марганец, Никель, Медь, Ванадий, Молибден, Ниобий

Рис.4 Планируемые программы МСИ на предприятиях Госкорпорации «Росатом»

Таким образом, запланировано постоянное проведение программ МСИ на предприятиях Госкорпорации «Росатом», что при реализации этих планов позволит выявлять общие проблемы для предприятий и оперативно их

устранять. В результате этого удастся скоординировать взаимоотношения «поставщик-потребитель», повысить качество измерений в отрасли и как следствие качество и безопасность выпускаемой продукции.

Список литературы

1. Л.А. Карпюк, И.М. Максимова, Е.И. Жомова, В.Б. Горшков, В.В. Лесин Результаты первых межлабораторных сличительных испытаний урановых контрольных образцов. Вопросы атомной науки и техники. Сер. Материаловедение и новые материалы. 2012, вып. 2-(73), с 203-210.
2. International Target Values 2010 for Measurement Uncertainties in Safeguarding Nuclear Materials Vienna, November 2010.

Разработка и производство импортозамещающей продукции для АЭС

Автор: Васильева Оксана, инженер управления производством 2 категории, производственный участок по металлообработке ХОЛДИНГ «ТИТАН-2»



Муфтовые соединения арматуры

Исходя из текущей ситуации, сложившейся в реальном экономическом секторе, необходима всесторонняя поддержка отечественных промышленных производств.

Возрастающие объемы монолитного строительства показывают необходимость использования ряда инновационных методов, существенно удешевляющих конечную стоимость возводимых объектов.

Наряду с традиционными методами соединения арматуры все большую популярность при армировании железобетонных конструкций на АЭС приобретают новые технологии. Одна из таких технологий – соединение арматуры с помощью муфтовых резьбовых соединений без применения сварки.

Метод механического соединения арматуры имеет ряд неоспоримых преимуществ по сравнению с методом ванной сварки и методом вязки арматурных перепусков.

Применение муфтовых резьбовых соединений позволяет отказаться от трудоемких сварочных работ, повышает производительность, значительно сокращает время строительства и повы-

шает прочность, жесткость и долговечность конструкций сооружения. Технология муфтового соединения арматуры является инновационным направлением в строительстве и используется при сооружении высотных зданий, мостов, телебашен, морских причалов, гидро- и атомных электростанций и объектов инфраструктуры АЭС.

В настоящее время при строительстве крупных промышленных объектов в Российской Федерации для соединения арматурных стержней используются муфты иностранных производителей. В связи с высокой стоимостью и длительными сроками поставок зарубежных муфт по инициативе ХОЛДИНГА «ТИТАН-2» был проведен ряд исследований и испытаний, которые привели к созданию импортозамещающей продукции в этой сфере.

К области применения муфтовых резьбовых соединений арматуры ТИТАН при строительстве АЭС относятся:

- ядерный остров: здание реактора (ВЗО, НЗО), здание безопасности,

паровая камера, здание управления, вспомогательный корпус и пр.;

- турбинный остров: здание турбины, здание электроснабжения, здание теплофикации, здание водоподготовки и пр.

Муфтовые соединения ТИТАН применяются при строительстве фундаментов, стен, колонн и перекрытий объектов данного типа, так же допущены к применению при возведении зданий с ответственностью по ядерной и радиационной безопасности I, II и III категорий.

Технология механического муфтового резьбового соединения ТИТАН была впервые внедрена на строительстве первого и второго энергоблоков Ленинградской атомной электростанции-2 и Балтийской АЭС (Проект АЭС-2006).

актуальными и на сегодняшний день. Сегодня муфты Титан также успешно применяются при строительстве гражданских объектов Санкт-Петербурга и Ленинградской области.

Основными преимуществами муфтовых резьбовых соединений арматуры ТИТАН при строительстве высокотехнологичных объектов (в частности АЭС) являются:

- неизменность технологии производства муфтовых резьбовых соединений арматуры, изначально заложенная в проект;
 - исключение перерасхода арматуры;
 - упрощение процесса монтажа;
 - повышение ударной нагрузки при техногенных и природных воздействиях;
 - сокращение сроков строительства.
- Строители отдадут предпочтение арматурным соединениям с муфтами ТИТАН благодаря тому, что
- наши соединения дешевле зарубежных аналогов на 30 % - 60 %;
 - в отличие от импорта не требуется время для таможенного оформления продукции, цена муфты не зависит от курса валют;
 - применяются в совокупности с различным импортным и отечественным оборудованием для нарезки резьбы на арматуре;
 - запчасти и расходные материалы для оборудования всегда есть в наличии на складе в Санкт-Петербурге.

Технология соединения арматуры при помощи муфт ТИТАН заключается в следующем:

- торцы соединяемых арматурных стержней обрезаются перпендикулярно оси;
- отковываются холодной ковкой для увеличения диаметра стержня, чтобы стык имел более высокую прочность;
- на увеличенные концы стержней нарезается параллельная метрическая резьба;

• учитывая повышенные требования при строительстве АЭС и для дополнительного контроля качества, напряжения, возникающие на арматурных стержнях в процессе мехобработки снимаются при помощи специального оборудования;

• подготовленные арматурные стержни соединяются механической муфтой. Муфтовые резьбовые соединения арматуры ТИТАН представляют собой соединительную систему с метрической резьбой и предназначены для обеспечения непрерывного и равнопрочного соединения стержней арматуры диаметром от 16 мм до 40 мм классов А-400 и А500С.

Муфтовые соединения арматуры ТИТАН классифицируются по условиям работы в железобетоне, по принципу соединения, по характеру нагрузок воспринимаемых конструкций.

По конструкции муфтовые соединения арматуры ТИТАН являются резьбовыми и применяются для соединения стержней арматуры одинакового диаметра с цилиндрической резьбой на концах.

По принципу соединения муфтовые соединения арматуры ТИТАН подразделяются на следующие виды:

- стандартные – используются для стыковки арматурных стержней одинакового диаметра, в том случае,

когда один из них может свободно вращаться, и его перемещение в осевом направлении ничем не ограничено, маркируется индексом «С»,

- переходные - используются для стыковки арматурных стержней разного диаметра, в том случае, когда один из них может свободно вращаться, и его перемещение в осевом направлении ничем не ограничено, в маркировке которых указываются диаметры обоих стержней «Х/Х»,

- позиционные - используются для быстрой стыковки двух арматурных стержней, в том случае, когда ни один из них не может свободно вращаться, и движения присоединяемого стержня арматуры в осевых направлениях ограничены, маркируются индексом «П»,

- монтажные – соединения арматуры через муфту или гайку с прокатом (лист, профиль) с использованием сварки, маркируются индексом «М».

По характеру воспринимаемых нагрузок муфтовые соединения арматуры ТИТАН подразделяются на следующие виды:

- соединения арматурных стержней железобетонных конструкций, рассчитываемых на действие статических нагрузок,
- соединения арматурных стержней железобетонных конструкций, рассчитываемых на действие многократно повторяющихся нагрузок.

В качестве материала для муфт резьбовых соединений стержней арматуры следует принимать сталь марок 25-45 по ГОСТ 1050. Соединительные муфты рекомендуется изготавливать или из бесшовных стальных труб или с использованием обработки металлов резанием из круглого проката.

Муфтовые резьбовые соединения прошли успешное испытание на крупных строительных объектах и полностью соответствуют существующим российским и мировым техническим нормам. Со-

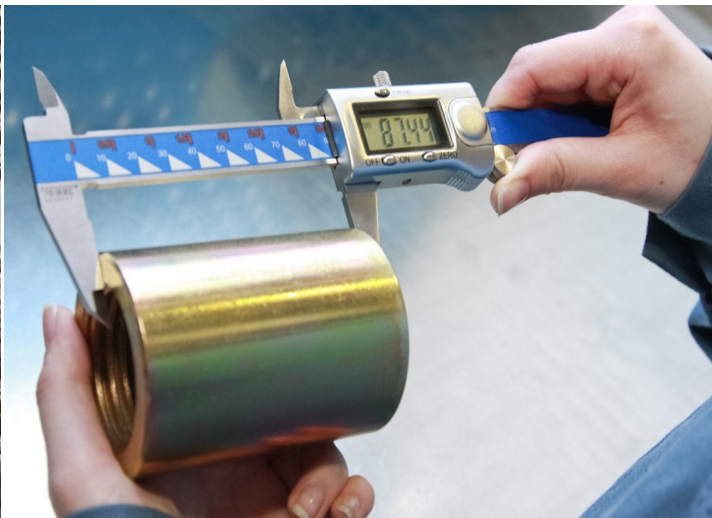
единения арматуры с муфтами ТИТАН разработаны и изготавливаются в соответствии с требованиями:

- руководящего документа концерна «Росэнергоатом» РД ЭО 0657-2006 «Положение по применению механических соединений арматуры для железобетонных конструкций зданий и сооружений атомных станций»

• проекта международного стандарта ISO/DIS 15835 «Steel for the reinforcement of concrete – Mechanical splices for bars (Арматура железобетонных конструкций – Механические соединения арматуры)».

Качество отечественных муфтовых механических соединений арматуры ТИТАН подтверждено сертификатом соответствия ГОСТ Р № РОСС RU.СЛ86.Н00040 и Техническим свидетельством МИНРЕГИОНРАЗВИТИЯ. В заключении хотелось бы отметить, что производство импортозамещающей продукции – важный шаг к созданию среды социального благополучия и защищенности работников промышленного сектора, позволяет:

- применять разработки российских компаний в строительстве, поддерживая отечественную науку на практике;
- поддерживать российскую металлургическую отрасль, применяя в строительстве качественные отечественные материалы и сплавы;
- развивать станкостроение и машиностроение в России в области строительства;
- и наконец, самое важное, не зависеть от зарубежных компаний при строительстве стратегически важных для нашей Родины объектов атомной энергетики, что является неотъемлемой частью вопроса национальной безопасности страны.



Комментарий

Райса Каримова

ЗАО «Промстройконтракт».



Механические соединения арматуры (с помощью муфт) стали все чаще применяться при строительстве в нашей стране. Надо отметить, что за рубежом механические соединения арматуры применяются с 60-х годов прошлого века. При этом, основной причиной применения на Западе и в Европе является их надежность и простота выполнения и контроля качества подобных стыков, а не только экономическая выгода, которую несет замена традиционных способов стыкования арматуры на механические соединения.

Эти же причины создают перспективу массового применения при возведении сооружений из железобетона и в нашей стране. В России массовое применение механических стыков в монолитном строительстве началось лишь с 2005 года. Из множества видов механических соединений у нас «прижились» резьбовые и обжимные стыки. В России механические соединения арматуры применялись на различных объектах, таких как Нововоронежская и Белоярская АЭС, высотные башни комплекса Москва-Сити, вантовые мосты через бухту Золотой Рог и на о. Русский, объекты Универсиады в Казани и Олимпиады в Сочи и многие-многие другие крупные и ответственные объекты. И в настоящее время все большее и большее число конструкторов и инженеров-проектировщиков не считают механические соединения арматуры чем-то новым, отдавая им предпочтение взамен сварных или соединенных в нахлест, и все большее число

строительных объектов возводится с применением муфт, в т. ч. и некрupные объекты гражданского строительства.

Причин для отказа от сварных соединений и последующая их замена на механические несколько: во-первых, высокая цена на изготовление сварных соединений, во-вторых, высокая стоимость контроля качества сварочных работ, в-третьих, низкая скорость производства сварных стыков, в-четвертых, подобные соединения могут выполнять только высококвалифицированные сварщики. И кроме того ГОСТ 10922 допускает разупрочнение сварных соединений арматуры на 5-10% от нормативного временного сопротивления соединяемой арматуры.

Соединения арматуры внахлест без сварки выполняются значительно проще. Принцип работы данного соединения заключается в том, что усилия с одного стержня на другой передаются за счет сил сцепления с окружающим бетоном. Таким образом, соединение перестает работать в случае разрушения бетона. Также к недостаткам данного способа относится и увеличение количества поперечной арматуры в зоне стыкования. Трудности могут возникнуть и при бетонировании в случае густоармированных конструкций. Теряется большое количество арматуры на самом перепуске и на остатках от арматурных стержней.

И хотя механические соединения арматуры являются экономически и технологически выгодным решением,

однако остается не мало вопросов, связанных с проектированием и включением их в проектную документацию. Согласно СНиП 52-01-2003 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения», «Механические соединения (стыки) арматуры следует выполнять с помощью опрессованных и резьбовых муфт. Прочность механического соединения растянутой арматуры должна быть такой же, что и стыкуемых стержней».

Вступивший в действие в 2006 году РД ЭО 0657-2006 «Положение по применению механических соединений арматуры для железобетонных конструкций зданий и сооружений атомных станций» в основном описывает виды существующих соединений и их возможное применение.

В 2012 году бы принят СТО СРО-С-60542960-00011-2012 «Требования к механическим соединениям арматуры, предусмотренных рабочей документацией, при выполнении работ по строительству, реконструкции и капитальному ремонту ОИАЭ», в котором еще более подробно описывается применение данной технологии, т.е. порядок их выполнения и контроль качества.

Имеется еще несколько нормативных документов, но ни один из них не отвечает на все вопросы, возникающие при проектировании.

В связи с масштабами применения данной технологии стыкования арматуры при строительстве, на сегодняшний день назрела необходимость в разработке подобного документа. При участии члена СРО Союзатомстрой в лице ЗАО «Промстройконтракт» и отдела технических нормативов СРО Союзатомстрой ведется работа по разработке стандарта, который будет регламентировать проектирование железобетонных конструкций зданий и сооружений ОИАЭ с механическими соединениями арматуры.

Новая технология монтажа наполненных трубопроводов

АЭС

Компания Hilti

Развитие атомной отрасли в Российской Федерации и за рубежом идет семимильными шагами, и так называемый атомный «ренессанс» входит в активную стадию. Для поддержания такого бурного роста и развития отрасли в целом, предприятия Госкорпорации ведут постоянную работу над совершенствованием технологий строительства и проектирования. Этим постоянно возрастающим требованиям и потребностям должны соответствовать и поставщики.

Компания Hilti, совместно со специалистами одного из ведущих проектных институтов отрасли ОАО «Главной институт ВНИПИЭТ» «СПБАЭП», предложила новый взгляд на решение существующих сложностей, возникающих при проектировании и монтаже наполненных трубопроводов, а точнее узла, где трубопровод пересекает строительные конструкции с нормируемым пределом огнестойкости. Так как данный узел связан с безопасностью станции, к нему предъявляются повышенные требования по огнестойкости, газо- и дымопроницаемости, теплопроводности и многим другим параметрам. Но, увлекаясь решением этих задач, зачастую приходилось жертвовать такими важными параметрами, как подвижность и гибкость системы трубопроводов в целом. Трубопровод в узле прохода сквозь строительную конструкцию жестко фиксировался (приваривался) с помощью системы фланцев. Что, в свою очередь, влекло за собой увеличение нагрузок на сам трубопровод и арматуру. Как следствие, усложнялось проектирование и монтаж.

Опираясь на потребности отрасли, а так же принимая во внимание богатый зарубежный опыт, компания Hilti, совместно со специалистами ОАО «Главной институт ВНИПИЭТ» «СПБАЭП», разработала и внедрила новый узел,

который, благодаря своей конструкции и использованным инновационным материалам, позволяет трубопроводу перемещаться в проходке максимально до 150мм в осевом направлении и до 50мм в поперечном направлении с нулевым сопротивлением для трубы. При этом узел отвечает высоким требованиям, связанным с огнестойкостью EI 150. Для создания этого узла компания Hilti выполнила десятки официальных и внутренних специализированных тестов, которые позволяют применять данное решение в зонах свободного и контролируемого доступа, для пассивной огнезащиты помещений с нормируемым пределом огнестойкости, имеющих в стенах или перекрытиях проходки с металлическими трубами различного назначения диаметром от 10мм до 920мм. Узел является устойчивым к воздействию радиации, агрессивных сред, а также пригоден для выполнения дезактивации, что подтверждается заключением ОАО «НИКИМТ-Атомстрой».

Конструкция узла выполнена таким образом (см. рис. 1), что до момента пожара труба в проходке имеет возможность свободно двигаться в трех направлениях. Это достигается при помощи использования специального материала (поз. А), который монтируется на внутренней стороне «гильзы» или проходки (при ее отсутствии) и не имеет прямого контакта с трубопроводом.

Для выполнения требований по дезактивации и несмешиваемости сред соседних помещений, проходка с обеих сторон закрывается специализированной противопожарной тканью (поз. Б). Эта ткань так же участвует в работе узла в первые минуты пожара и не дает продуктам горения попадать в соседнее помещение. Основным материал, служащий для противопожарной защиты (поз. А), имеет коэффициент расширения при пожаре свыше десяти, и в случае возгорания и поднятия температуры полностью за-

крывает все свободное пространство между «гильзой» и трубопроводом.

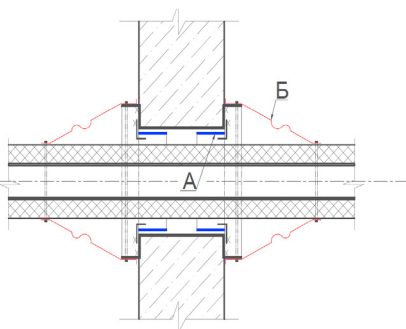
Компанией Hilti было разработано два основных типа узлов для трубопроводов с большими и малыми перемещениями.

Узел с малыми перемещениями (не более 5мм) также отвечает всем высоким требованиям, связанным с безопасностью. Отличительной его чертой является то, что пространство между «гильзой» и трубопроводом заполняется специализированным силиконовым герметиком, который после твердения сохраняет свою эластичность.

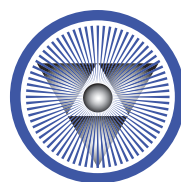
Выполнение данных узлов возможно после монтажа трубопроводов, что позволяет уйти от необходимости использования каких либо специализированных закладных деталей.

Для ускорения и упрощения проектирования и монтажа в помощь проектным и монтажным организациям был создан специализированный альбом, который содержит всю необходимую информацию, связанную с подробным описанием узла, техническими характеристиками, способами монтажа, контролем качества и расходом материала, а так же детализированные чертежи. Данный узел имеет все необходимые сертификаты и уже с успехом начал применяться на объектах атомной отрасли РФ.

Компания Hilti не планирует останавливаться на достигнутом и уже сейчас ведет активную работу по сертификации продукта нового поколения, который будет пригоден для использования не только с трубопроводами, но и кабелями. Отличительной чертой данного материала будет то, что он способен не только быть устойчивым к воздействию вредоносного излучения, но и выступать в роли «барьера», снижая интенсивность вредоносного излучения в соседних помещениях.



№ 16 октябрь-ноябрь 2013



АТОМНОЕ **строительство**