

КОНТРОЛЬ РАБОТОСПОСОБНОСТИ РЕАКТОРНЫХ СБОРОК ПОСЛЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ В АКТИВНЫХ ЗОНАХ БН-600. ВТОРАЯ МОДЕРНИЗАЦИЯ ОБОРУДОВАНИЯ «ГОРЯЧЕЙ» КАМЕРЫ

М.В. Баканов, А.В. Ненахов, В.В. Чуев, И.С. Дудниченко, О.Н. Леликов
Белоярская АЭС, г. Заречный



Представлено современное состояние методического обеспечения послеэксплуатационного контроля работоспособности реакторных сборок и их комплектующих элементов, осуществляемого в соответствии с требованиями правил ядерной безопасности реакторных установок атомных станций. Методология контроля основана на опыте массовых первичных послереакторных исследований состояния сборок после эксплуатации в реакторе БН-600, проводимых в бассейне выдержки и в «горячей» камере энергоблока №3 Белоярской АЭС. В данной работе приведены основные результаты второй модернизации технологического и исследовательского оборудования «горячей» камеры БН-600, проведенной после 2000 г., и обозначены дальнейшие перспективы развития пристанционного комплекса контроля.

Ключевые слова: дефектоскопия, «горячая» камера, контроль, послереакторные исследования, стенд, спектрометрия, твэл.

Key words: flaw detection, hot cell, verification, post-irradiation examination, bench, spectrometry, fuel pin.

ВВЕДЕНИЕ

Для обеспечения ядерной безопасности реакторной установки (РУ) и других систем, важных для безопасности (СВБ), среди прочих предъявляются следующие требования [1]:

- изменение состава, конструкции или характеристик РУ и (или) СВБ, а также условий эксплуатации атомной станции (АС) не может быть выполнено без внесения соответствующих изменений в проекты РУ и АС;
- при разработке проектов РУ и (или) при модернизации активной зоны реактора с использованием новых конструкций тепловыделяющих сборок (ТВС), новых композиций ядерного топлива, совершенствования систем управления и защиты (СУЗ) и других СВБ должны быть выполнены необходимые стендовые и реакторные исследования, достаточность которых должна быть показана в проекте для выполнения критериев безопасности;

© М.В. Баканов, А.В. Ненахов, В.В. Чуев, И.С. Дудниченко, О.Н. Леликов, 2009

- в целях поддержания и подтверждения проектных характеристик системы и элементы, важные для безопасности, должны проходить контроль и испытания в процессе изготовления, монтажа и наладки, а также периодическую проверку в процессе эксплуатации.

Для выполнения этих требований на энергоблоке №3 Белоярской АЭС с реактором БН-600 проверка проектных характеристик ТВС, рабочих органов (РО) системы управления и защиты (СУЗ) и других реакторных сборок после их эксплуатации осуществляется с помощью пристанционного комплекса первичных послереакторных исследований штатных, модернизируемых и новых конструкций сборок, композиций ядерного топлива, поглотителей, конструкционных материалов.

МЕТОДОЛОГИЯ КОНТРОЛЯ

Надежность получаемых данных контроля работоспособности элементов и материалов реакторных сборок определяется, в основном, степенью проработки методологии его осуществления и уровнем методического обеспечения. Методология контроля работоспособности полноразмерных сборок реактора БН-600 базируется на традиционных принципах реакторного материаловедения применительно к условиям эксплуатации промышленного энергоблока.

Контроль заключается в проведении массовых первичных послереакторных исследований состояния сборок и их комплектующих элементов. Отличительной особенностью является организация работ в «горячей» камере (ГК), в отделении разделки которой (ОРГК) проводится разборка реакторных сборок и затем осуществляются исследования их элементов с помощью различных мобильных установок, последовательно подаваемых в ОРГК с мест хранения в отделении перегрузки (ОПГК). Элементы сборок во время исследований постоянно находятся в ОРГК. Традиционно в аналогичных отечественных и зарубежных исследовательских центрах разделка и исследования проводятся в специализированных камерах, соединяющихся между собой устройствами передачи сборок и их элементов из отделения в отделение, в которых установлено стационарное исследовательское оборудование.

В результате массовых первичных послереакторных исследований, проводимых в «горячей» камере и бассейне выдержки БН-600, собираются экспериментальные данные по влиянию отдельных факторов на поведение штатных и экспериментальных ТВС, РО СУЗ, облучательных устройств и других выемных конструкций. Получаемая информация необходима для анализа работоспособности и безопасности существующих конструкций элементов активных зон быстрых реакторов и оптимизации разрабатываемых конструкций, конструкционных материалов, режимов их эксплуатации в модернизированных активных зонах при поэтапном повышении их ресурсных характеристик.

Объекты исследования определяются целями реакторных испытаний опытных и выявления причин выхода из строя штатных реакторных сборок. Реакторные испытания и штатная эксплуатация реакторных сборок сопровождаются обязательным этапом анализа расчетно-экспериментальных данных условий их эксплуатации в реакторе и всей историей обращения со сборками от изготовления до утилизации.

При постановке задач послереакторных исследований выбираются представительные сборки из числа отработавших в реакторе (сборки на исследования, как правило, выбираются коллегиально всеми заинтересованными организациями):

- экспериментальные сборки, в которых применены новые материалы или новые конструкторские решения для повышения их ресурса и надежности (реакторные ресурсные испытания таких сборок проводятся поэтапно; ресурс этапов испытаний назначается на основе расчетно-экспериментального обоснования, ба-

зирующегося на накопленном опыте облучения материалов, конструкций и их послереакторных исследований);

- штатные сборки, которым назначается повышенный ресурс с целью определения границ достижения предельного состояния работоспособности по различным эксплуатационным параметрам;

- штатные аварийные сборки с преждевременной выработкой ресурса, которая обусловлена, как правило, или недостатками в проработке материалов и конструкций, или отклонениями в технологиях их изготовления, или особенностями эксплуатации сборок;

- экспериментальные устройства, предназначенные для проведения облучения конструкционных материалов и наработки изотопов.

До начала 1990-х годов внедрение новых конструкций и материалов для использования в быстром реакторе большой мощности происходило поэтапно. Первоначально изучались образцы конструкционных материалов лабораторных и опытно-промышленных плавов после имитационного и реакторного облучения в исследовательских и/или опытно-промышленных реакторах типа БР, БОР-60, БН-350, БН-600. После первичного отбора материалов и изготовления из них сборок проводились реакторные испытания экспериментальных сборок в быстрых реакторах небольшой мощности и всесторонние послереакторные исследования в «горячих» лабораториях отрасли. В результате проработанные материалы и конструкции в составе полномасштабных экспериментальных сборок поступали (и поступают) в реактор большой мощности БН-600 на испытания, после которых проводятся первичные послереакторные и последующие материаловедческие исследования. На основании результатов исследований и экспертной процедуры принимаются решения о внедрении конструкций в штатную эксплуатацию. В последние двадцать лет с накоплением опыта исследований предпочтение все больше отдается форсированным реакторным испытаниям полномасштабных сборок.

В табл. 1 представлена общая характеристика методов первичных послереакторных исследований, с помощью которых осуществляется визуальный контроль состояния сборок в целом и после их разделки (разборки), измеряются геометрические размеры элементов, определяются герметичность твэлов и параметры внутритвэльного газа, состояние топливных сердечников и распределение продуктов деления и активации. Для обнаружения дефектов оболочек применяется импульсная вихретоковая дефектоскопия, измеряется электросопротивление оболочек. Для отдельных твэлов проводились нейтронная радиография, измерения термического сопротивления зазора между топливом и оболочкой, определение коэффициента линейного расширения оболочек твэлов. В настоящее время эти методы не применяются.

Наибольшая ценность результатов первичных послереакторных исследований заключается в оперативности их получения. Такая информация в числе первых используется для выбора образцов, отправляемых на более детальные материаловедческие исследования, проводимые с помощью разрушающих методов. В ряде случаев до получения рекомендаций материаловедческих организаций оперативно принимаются решения о продлении или прекращении эксплуатации конструкций.

На начальном этапе в создании методической базы первичных исследований совместно с Белоярской АЭС активное участие принимали сотрудники ВНИИНМ и его филиала на МСЗ, БН-350, СФНИКИЭТ/ИРМ, НИИАР, ФЭИ. В конце 1980-х годов с появлением и развитием компьютерной техники силами Белоярской АЭС, ФЭИ и ПКП АСК была осуществлена модернизация методического обеспечения первичных исследований. Результаты начального этапа развития методов контроля подробно описаны в работе [2]. Начиная с 2000 г. Белоярской АЭС совместно с НИИ-

Методическое обеспечение первичных исследований

Методика	Назначение, цель
Визуальный контроль	Внешний вид составных элементов Видимые изменения от различных воздействий Оценка кривизны, спиральности Выявление дефектных участков Обнаружение отложений и налетов
Определение геометрических размеров сборок	Измерение размеров диагоналей и между гранями шестигранного сечения в зависимости от высоты сборки Сопоставление расчётным условиям облучения Определение дозотемпературных зависимостей и параметров распухания, ползучести
Определение геометрических размеров оболочек элементов	Удлинение Внешний диаметр оболочки в зависимости от высоты элемента Овализация оболочки на различных участках Профиль поперечного сечения оболочки Построение образа формоизменения оболочки Определение дозотемпературных зависимостей и параметров распухания
Определение параметров внутритвэльного газа	Газовый объем твэла Давление газа под оболочкой Количества накопившегося газа (при нормальном давлении) Оценка напряжений в оболочке
Импульсная вихретоковая дефектоскопия	Контроль состояния оболочки (наличие и локализация дефектов, магнитных включений, аномальных областей) Контроль состояния топливных сердечников (локализация аномалий) Установление областей контакта топлива с оболочкой
Гамма-спектрометрические исследования	Определение относительного ρ/λ нуклидного состава гамма-излучателей на различных участках сборки и её элементов Контроль герметичности твэлов по наличию криптона-85 в газовой полости Установление пространственных распределений радионуклидов Косвенный контроль состояния топливного столба Оценка газовыделения из топлива Верификация расчетных условий облучения
Электропотенциальный метод	Определение электрического сопротивления оболочки Локализация областей выделения вторых фаз Обнаружение дефектов оболочки, её разностенности
Другие методы	Определение термического сопротивления зазора топливо-оболочка Измерение коэффициента линейного расширения оболочек Определение эффективной плотности топливного сердечника по радиусу и высоте Наличие центрального отверстия и аномалий топлива

АР и ИРМ проводится и практически закончена вторая модернизация оборудования «горячей» камеры БН-600. Отметим ее основные результаты.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ

«Горячая» камера. Несмотря на то, что технологическое оборудование «горячей» камеры непрерывно эксплуатируется более четверти века, его работоспособность поддерживается на достаточно высоком уровне путем проведения плановых и восстановительных ремонтов изношенных деталей и узлов. Многие детали станка фрезерной и абразивно – алмазной резки, копирующие манипуляторы, радиационно-стойкие колпаки светильников, требуют замены.

На первом этапе замены технологического оборудования приобретены и установлены в «горячую» камеру на пробную эксплуатацию манипуляторы A201/144 производства «Hans Wdlschmiller GmbH», Germany (рис. 1). Манипуляторы снабжены семью степенями свободы и имеют следующие характеристики:

- взаимозаменяемость;
- отношение длины управляющей руки к исполнительной 1:1,6;
- максимальная грузоподъемность в любом направлении 80 Н;
- максимальная грузоподъемность в вертикальном направлении 200 Н;
- ручное перемещение нижней исполнительной руки 180°;
- ручное перемещение верхней исполнительной руки 115°;
- вращение клещей-захватов более 360°;
- подъем клещей-захватов 140°;
- раскрытие клещей-захватов 90 мм;
- вращение руки $\pm 180^\circ$.

Визуальный контроль. С развитием вычислительной, фото- и видео-техники проведена полная замена персональных компьютеров и оборудования, фиксирующего и копирующего изображение. Визуальный контроль элементов конструкций проводится в «горячей» камере дистанционно через защитное стекло, по-прежнему, с помощью прибора-бинокля ПР-160 с двадцатикратным увеличением. В бассейне выдержки осмотр сборок осуществляется с использованием телекамеры подводного исполнения и телевизионного монитора. Фотографирование производится цифровыми фотоаппаратами «Sony» модели DSC-F717 (5,24 Мп, объектив «Carl Zeiss» 5x – оптическое, 10x – общее, фокус 9,7–48,5 мм, минимальная диафрагма 2,0–2,4) или «Canon G-9» (12,1 Мп, 6x – оптическое, фокус 7,4–44,0 мм, диафрагма 1:2,8–4,8).

Цель осмотра – описание общего состояния сборок (стабильность внешнего вида, видимые изменения от различных воздействий), выявление дефектных участков (его вида, размеров, местоположения), обнаружение отложений и налета, покрывающих поверхность. Типичные результаты визуального осмотра ТВС как конструкции в целом, так и отдельных элементов представлены на рис. 2. Такая информация, получаемая уже на первом этапе исследований, во многом дает представление о состоянии сборок и материалов на различных этапах обращения с



Рис. 1. Внешний вид манипуляторов

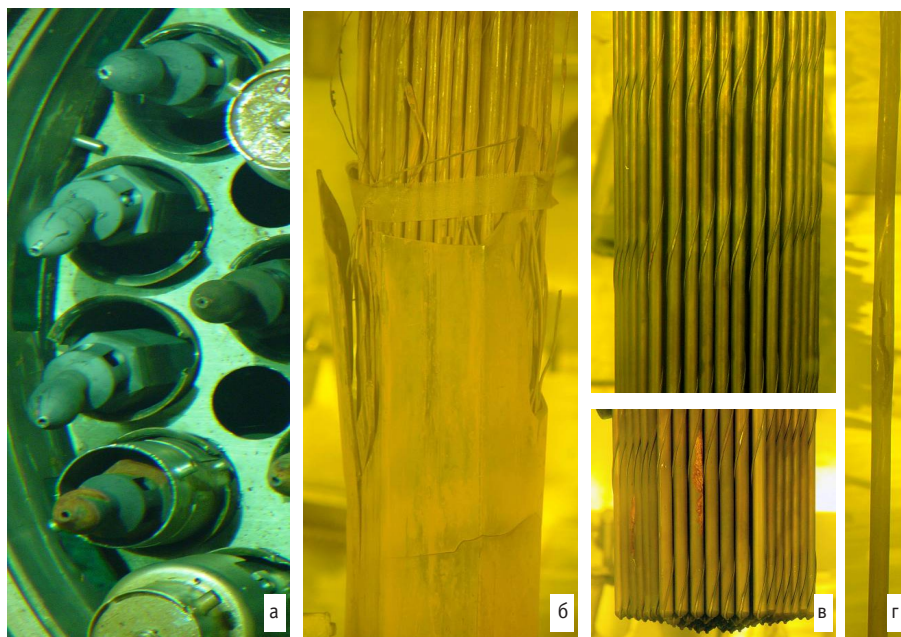


Рис. 2. Внешний вид дефектных ОТВС (а), ЭТВС с чехлом из стали ЭИ-448 х.д. (б), пучка твэлов одной из реперных ТВС (в), дефектного твэла одной из штатных ТВС (г)



Рис. 3. Внешний вид ТОМ (а), узла захвата и вращения (б), измерительного узла (в)

ними вплоть до отправки на утилизацию.

На рис. 2 иллюстрируются возможности визуального контроля: на рис. 2а представлен вид хранившихся в бассейне выдержки головок реакторных сборок, претерпевших в разной степени деформацию при транспортно-технологических операциях с ними; на рис. 2б после длительного хранения в бассейне выдержки приведено изображение чехловой трубы, изготовленной из экспериментальной стали ЭИ-448 х.д., на участке ее разрушения, которое произошло в процессе извлечения ОТВС из реактора. Как показали последующие материаловедческие исследования, причины разрушения состояли в охрупчивании материала чехла при значительном его распухании из-за неоднородности структуры материала по граням чехла и образования σ -фазы. Дефектным ОТВС заменили головки, разру-

шенную ОТВС разобрали потвэльно и отправили на завод регенерации топлива. На рис. 2в представлен типичный вид пучка твэлов одной из штатных ТВС, отработавших без замечаний в активной зоне второй модернизации. На рис. 2г представлен вид дефектного твэла одной из штатных ТВС.

Профилометрия. На замену станда профилометрии полномасштабных твэлов, подробно описанного в работе [2], Белоярской АЭС совместно с НПФ «Сосны» (НИИАР) разработан и изготовлен стенд неразрушающего контроля, включающий в себя каналы профилометрии,

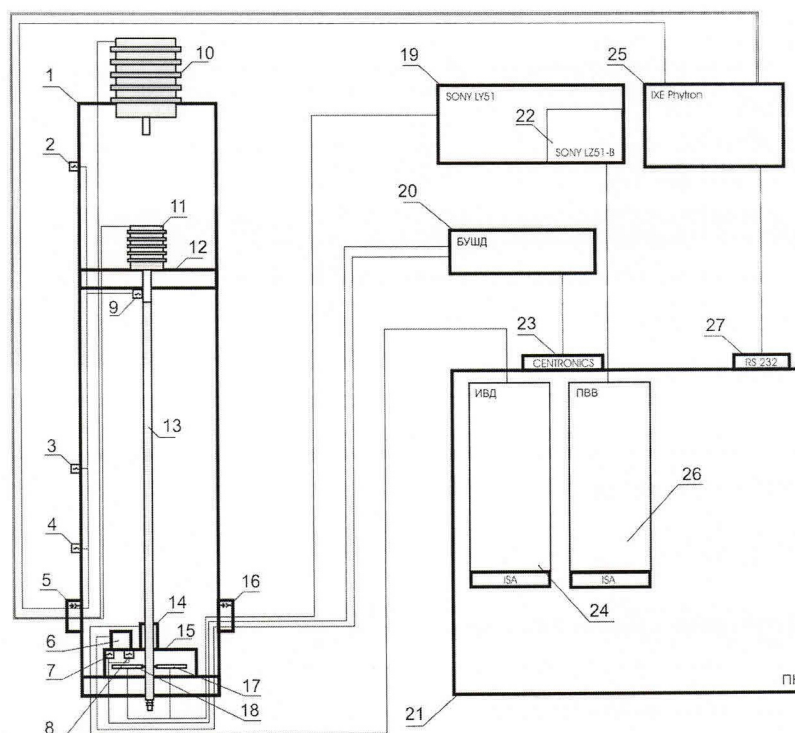


Рис. 4. Структурная схема стенда неразрушающего контроля со взаимосвязью каналов профилометрии и импульсной вихретоковой дефектоскопии: 1 – ТОМ; 2, 4 – концевые выключатели аварийные (КВА) в крайних положениях перемещения твэла по длине; 3 – КВ механической точки нуля (МТН) при перемещении твэла по длине; 5 – соединительный разъем для силовых кабелей ШД ТОМ и конечных выключателей (2, 3, 4); 6 – ШД канала профилометрии; 7, 8 – КПП профилометрических датчиков; 9 – КПП при вращении твэла; 10 – ШД перемещения твэла по длине; 11 – ШД вращения твэла; 12 – траверса; 13 – исследуемый образец (твэл); 14 – вихретоковый датчик; 15 – съемный модуль профилометрии; 16 – соединительный разъем для сигнальных кабелей и конечных переключателей каналов профилометрии и дефектоскопии; 17, 18 – профилометрические датчики; 19 – вторичный прибор LY-51 канала профилометрии; 20 – блок управления (БУ) ШД перемещения измерительных датчиков канала профилометрии; 21 – персональный компьютер (ПК); 22 – интерфейс связи LZ51-B канала профилометрии с ПК; 23 – интерфейс связи CENTRONICS ПК с БУШД; 24 – импульсный вихретоковый дефектоскоп (ИВД) канала дефектоскопии; 25 – контроллер IХЕα-С-Т системы управления шаговыми двигателями ТОМ; 26 – интерфейс связи «Плата Ввода-Вывода» ПК с вторичным прибором LY-51; 27 – интерфейс связи RS 232 ПК с контроллером СУ ТОМ IХЕα-С-Т

вихретоковой дефектоскопии и гамма-сканирования облученных твэлов. Стенд создан на базе шарико-винтовой пары, привод винта которой осуществляется шаговым двигателем (ШД) большой мощности. Для вращения твэла используется шаговый двигатель меньшей мощности. Внешний вид стенда представлен на рис. 3. Его структурная схема приведена на рис. 4.

Транспортно-операционный модуль (ТОМ) предназначен для сканирования полномасштабного облученного твэла с исходной длиной 2420 мм в осевом z-направлении и при вращении твэла в (x-y)-плоскости относительно измерительных датчиков. Система управления ТОМ обеспечивает непрерывное со скоростью от 0,5 до 3 м/мин и дискретное с заданным шагом перемещение твэла по длине; минимальный шаг перемещения по длине – 0,015 мм на один шаг двигателя; непрерывное со скоростью от 0,5 до 3 град/мин и дискретное с заданным шагом вращение твэла; минимальный шаг вращения твэла 0,9° на один шаг двигателя; задание координат зон «интереса» при сканировании по длине и азимуту; автоматический откат от заданных начальных точек на заданное расстояние; полный останов двигателей при срабатывании аварийных конечных выключателей.

Канал контактной профилометрии по образующей цилиндрической поверхности с помощью датчиков малых линейных перемещений состоит из съемного измерительного модуля, вторичного преобразователя (аналого-цифровой вторичный прибор фирмы «Сопу») и персонального компьютера. Связь ПК со вторичным прибором осуществляется по интерфейсу связи ввода-вывода (ПВВ), встроенным в ПК.

Измерительный модуль включает в себя два взаимно перпендикулярные измерительные устройства, каждое из которых содержит по два первичных индуктивных датчика-преобразователя линейных перемещений типа «магнитная линейка» фирмы «Сопу». Конструкция каждого из измерительных устройств представляет собой измерительную скобу с плоскопараллельным перемещением щупов в плоскости, перпендикулярной оси стержневого изделия. Первичные преобразователи закреплены на подвижных щупах измерительных скоб и своими плунжерами отслеживают изменение расстояния между щупами, равное изменению диаметра образца. Перемещение щупов измерительных скоб обеспечивает измерение исследуемых изделий в диапазоне от 0 до 20 мм. Погрешность измерений, связанная с юстировкой несоосности щупов, не превышает ± 2 мкм на каждую скобу. Первичные датчики DG-810B имеют рабочий ход плунжера до 10 мм и разрешающую способность (чувствительность) 0,5 мкм.

Перемещение плунжеров первичных датчиков каждой скобы преобразуется вторичным прибором LY-51 в микрометры и через встроенную плату ввода-вывода выдает результаты измерений в коде BCD (приборная погрешность с подключенным датчиком не превышает значения ± 1 мкм). Встроенная плата BCD выдает последовательно информацию по трем каналам прибора: показания первого, второго датчика и сумму или разность показаний датчиков. Данные по каждому датчику и их суммам (разницам) передаются по ПВВ, хранятся и обрабатываются в ПК.

Канал профилометрии твэлов имеет следующие характеристики. Диапазон измеряемых диаметров составляет от 0 до 20 мм. Режим z-перемещения изделия – непрерывный с возможностью измерения диаметра в точках с шагом, кратным значению 2,5 мкм. Погрешность осевого позиционирования не хуже ± 50 мкм, дистанционный выбор ориентации сканирования с шагом $0,5^\circ$ во всем диапазоне от 0 до 360° . Погрешность однократного измерения текущего значения диаметра при доверительной вероятности 0,95 равна 13,0 мкм.

В настоящее время заканчивается изготовление второго съемного измерительного модуля для профилометрии поглощающих элементов с диаметром от 32 мм, аналогичного описанному выше.

Вихретоковая дефектоскопия. Одним из экспрессных методов неразрушающего контроля дефектов оболочек твэлов служит импульсная вихретоковая дефектоскопия облученных твэлов. В «горячей» камере БН-600 для этих целей использовался импульсный вихретоковый дефектоскоп ИВД-Ц [2]. В настоящее время применяется модификация импульсного вихретокового дефектоскопа РЕCD-2 в виде платы для IBM PC-совместимых компьютеров разработки НПФ «Сосны» (НИИ-АР) в составе канала вихретоковой дефектоскопии, упомянутого выше. Дефектоскоп предназначен для проведения импульсного вихретокового контроля отработавших твэлов БН-600 с целью поиска дефектов оболочек (трещин, коррозионных зон, магнитных включений и т.п.), определения их количества и относительной величины. Может применяться и для контроля состояния топливных сердечников (аксиальный массоперенос, зоны контакта топлива с оболочкой).

Используется принцип формирования сигналов на основе проходного трансформаторного дифференциального вихретокового преобразователя (ВТП), через который протягивается исследуемый твэл. Катушка возбуждения индуцирует импульсные вихревые токи в материале оболочки твэла. Приемные катушки включа-

ются встречно по дифференциальной схеме.

Плата PECD-2 выдает аналоговый импульсный сигнал на генераторную (возбуждающую) катушку вихретокового преобразователя (ВТП), принимает сигнал с измерительных дифференциально включенных катушек ВТП и преобразует его в цифровую 12-разрядную форму.

Основными функциональными узлами платы PECD-2 являются контроллер управления, опорный генератор (генератор возбуждающих импульсов), программируемый канал усиления аналогового сигнала (предусилитель), устройство выборки-хранения (УВХ), 12-разрядный аналого-цифровой преобразователь.

В результате взаимодействия электромагнитных полей в обмотках ВТП и полей вихревых токов в твэле на встречновключенных приемных обмотках ВТП формируется сигнал отклика в виде импульса напряжения. В данном сигнале заключена информация о характерных особенностях состояния оболочки в участке, находящемся в данный момент под обмотками ВТП. Образование дефекта под одной из приемных обмоток вызывает разбаланс напряжений и, соответственно, изменение формы и амплитуды сигнала отклика, который оцифровывается с помощью последовательного стробирования. В режиме полного стробирования оцифровка происходит каждые 33 нс (255 стробов на один импульс) с минимальным шагом сканирования по длине твэла, равным 0,5 мм. Таким образом, в цифровом виде создается и хранится массив данных откликов на дефекты исследуемого твэла на основании анализа полученных результатов в сравнении с библиотекой эталонных дефектов оцениваются размеры и идентифицируются типы повреждения оболочки твэла и координаты дефектов.

Библиотека эталонных дефектов формируется на основе дефектограмм оболочек с заданными дефектами, сопоставлении аномального поведения сигнала ВТО на реальных твэлах с результатами последующих первичных и материаловедческих исследований. Первоначально для определения каналов отстройки от различных дефектов на всех каналах, реализованных в дефектоскопах, получают диаграммы распределения сигнала ВТО, измеренные при протяжке образца-имитатора с известными типами дефектов. При стробировании сигнала используется максимальное количество каналов $k=256$.

В качестве имитаторов дефектов оболочки используются отрезки оболочечных труб 6,9х0,4 мм с заданными дефектами: внутренними магнитными вставками различной длины; сквозными отверстиями различного диаметра (минимальный размер 0,3 мм); наружными и внутренними поперечными и продольными рисками.

Анализируя амплитуду сигнала отклика, измеряемую в k временных точках, реакция в которых различна в зависимости от вида дефекта, перебирая точки и зная расположение и характер дефектов на эталонных образцах (имитаторах дефектов), выявляют номера каналов настройки с максимальным и минимальным откликами на данный тип дефекта. В дальнейшем при исследовании облученных твэлов полученные образы используются для расшифровки диаграмм распределения амплитуды вихретокового отклика по длине твэлов.

Дефектограммы, полученные при сканировании имитаторов дефектов оболочки, представлены на рис. 5, 6. Имитаторы изготовлены из аустенитной стали ЧС-68 х.д. и из ферритно-мартенситной стали ЭП-823. В качестве магнитных вставок использованы отрезки оболочки из стали ЭП-823 длиной 5 мм.

Из рис. 5 видно, что отстройка от магнитной фазы практически полностью осуществляется на 79–80 стробах. Сигналы отклика от магнитной вставки значительно превышает сигналы от механических дефектов. Сигналы от механических дефектов отстраиваются примерно на 56 стробе. На последующих и предыдущих

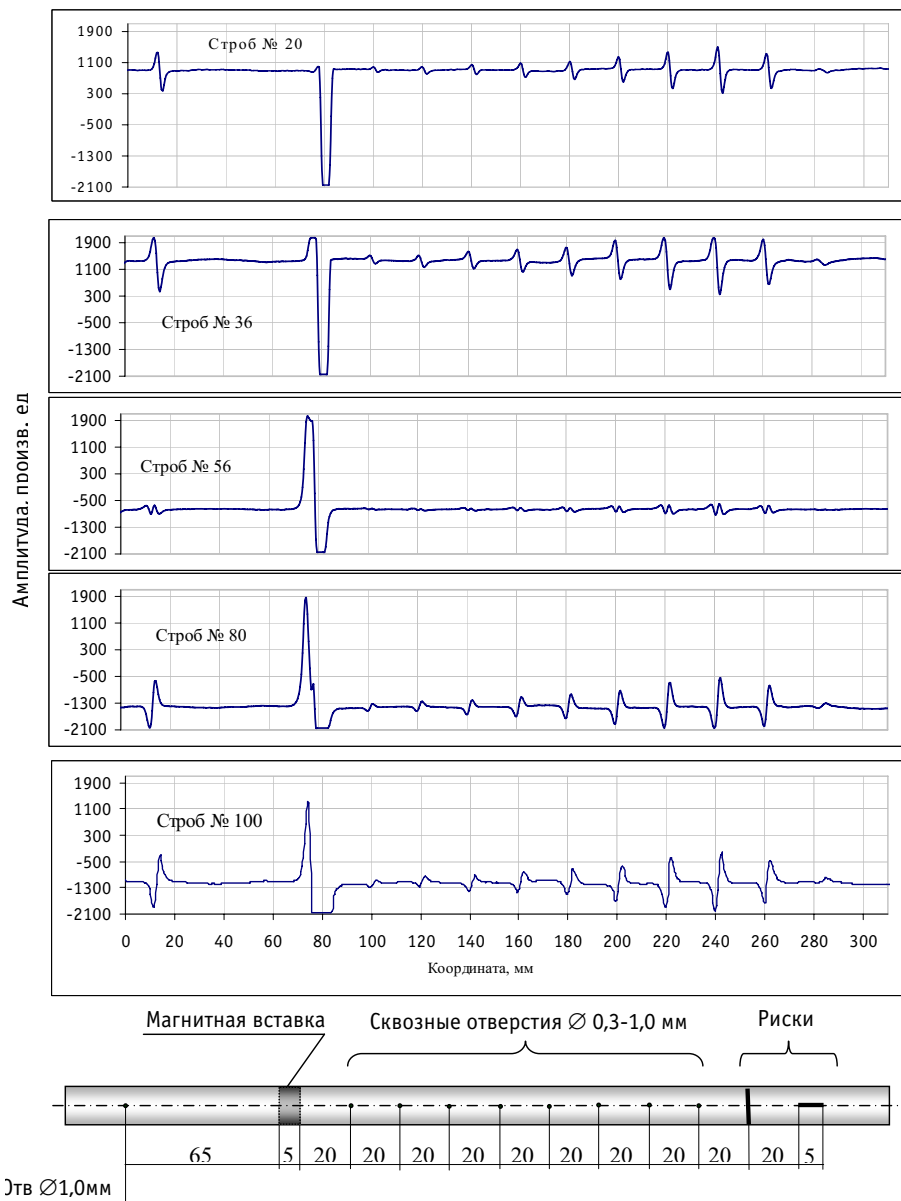


Рис. 5. Дефектограммы имитатора оболочки, изготовленной из стали ЧС-68 х.д.

стробах сигнал растет с разной полярностью. Сигналы откликов от наружной риски и сквозного отверстия слабо различимы между собой по величине на различных стробах. Каналы отстройки от них отличаются на 2–3 номера (отстройка от риски начинается на 54 стробе, а от отверстия – на 56). Для массового оперативного контроля твэлов с аустенитными оболочками, как наиболее показательные, выбираются стробы с номерами, близкими к следующим: строб № 20 – максимальный сигнал отклика от магнитной фазы, сигналы от механических дефектов достаточно хорошо выявляются; строб № 36 – максимальный сигнал отклика от механических дефектов; строб № 56 – отстройка сигналов откликов от механических дефектов; строб № 80 – минимальный сигнал отклика от магнитной фазы – начало смены полярности сигнала; строб № 100 – максимальный сигнал отклика от

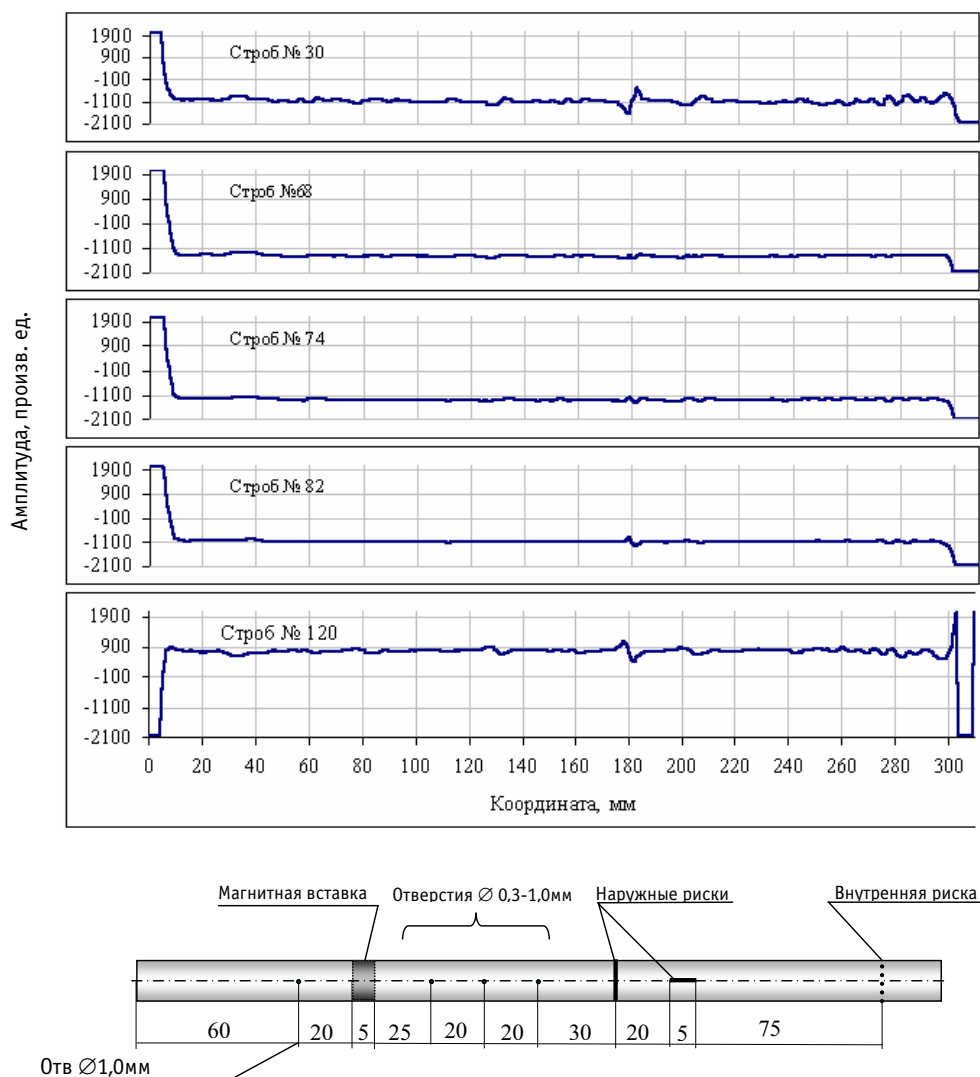


Рис. 6. Дефектограммы имитатора, изготовленного из магнитной стали ЭП-823

всех типов дефектов с условной положительной полярностью.

Вследствие ферромагнитного состояния материала оболочки дефекты имитатора, изготовленного из стали ЭП-823, слабо выявляются на магнитном фоне (рис. 6). Магнитная вставка практически незаметна. Однако четко отслеживаются местоположения поперечной кольцевой риски и отверстия диаметром 0,5 мм. Отверстия меньшего диаметра не видны. На строках 28–32 проявляются все определяемые дефекты. Отстройка на строках от кольцевой наружной и внутренней риски происходит на строках 65–67. Для стробов 70–74 наблюдается минимальный отклик от продольной риски. На строке 79 можно различить минимум отклика от магнитной вставки (фактически утолщение стенки, в силу идентичности материалов вставки и оболочки). При этом смена полярности сигналов откликов от дефектов происходит при стробировании с номерами выше 120-го.

Возможности вихретоковой дефектоскопии отработавших твэлов БН-600 по контролю состояния оболочек и топлива подробно описаны в [2]. Здесь представлены новые результаты, полученные на модернизированном дефектоскопе.

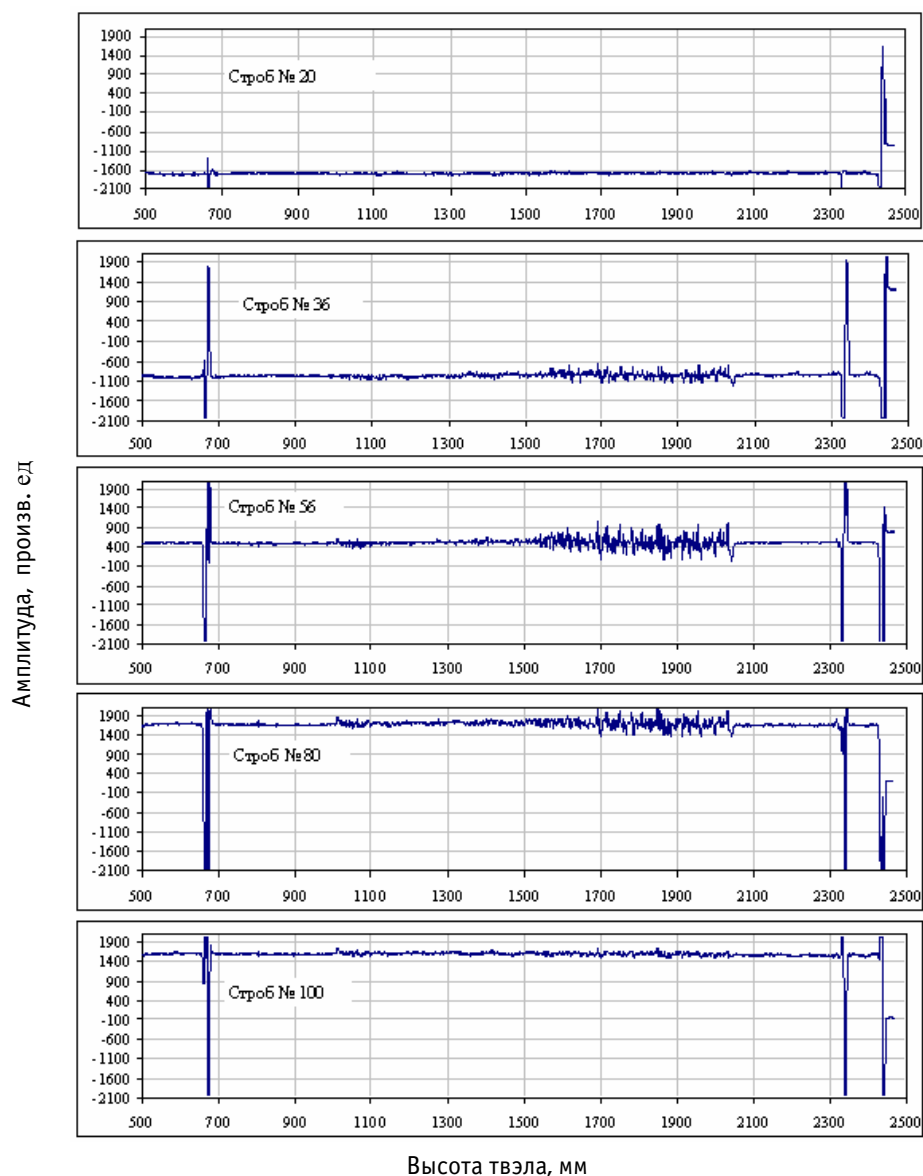


Рис. 7. Дефектограммы одного из твэлов с оболочкой из стали ЧС-68 х.д.

Типичные дефектограммы твэла с аустенитной оболочкой, для которого не обнаружено отклонений от нормального состояния, приведены на рис. 7. На них четко выявляются разделительный стаканчик между газовой полостью и нижним экраном, фиксатор верхнего экрана и верхней заглушки. Нижняя заглушка находится в мертвой зоне дефектоскопа (в захвате твэла). Выявляются и границы активной зоны с торцевыми экранами. Неравномерность сигнала отклика на участке активной зоны наиболее ярко выражена на стробах 54–58. Такое поведение обусловлено совместным влиянием распухания оболочки и топлива, коррозионным взаимодействием материала оболочки с продуктами деления топлива. Не исключен вклад и от магнитных включений, образование которых возможно в материале оболочек под облучением в результате эволюции структурного состояния.

Расшифровка дефектограмм твэлов с оболочками из ферритно-мартенситных сталей более затруднительна. На дефектограммах на высоком магнитном фоне

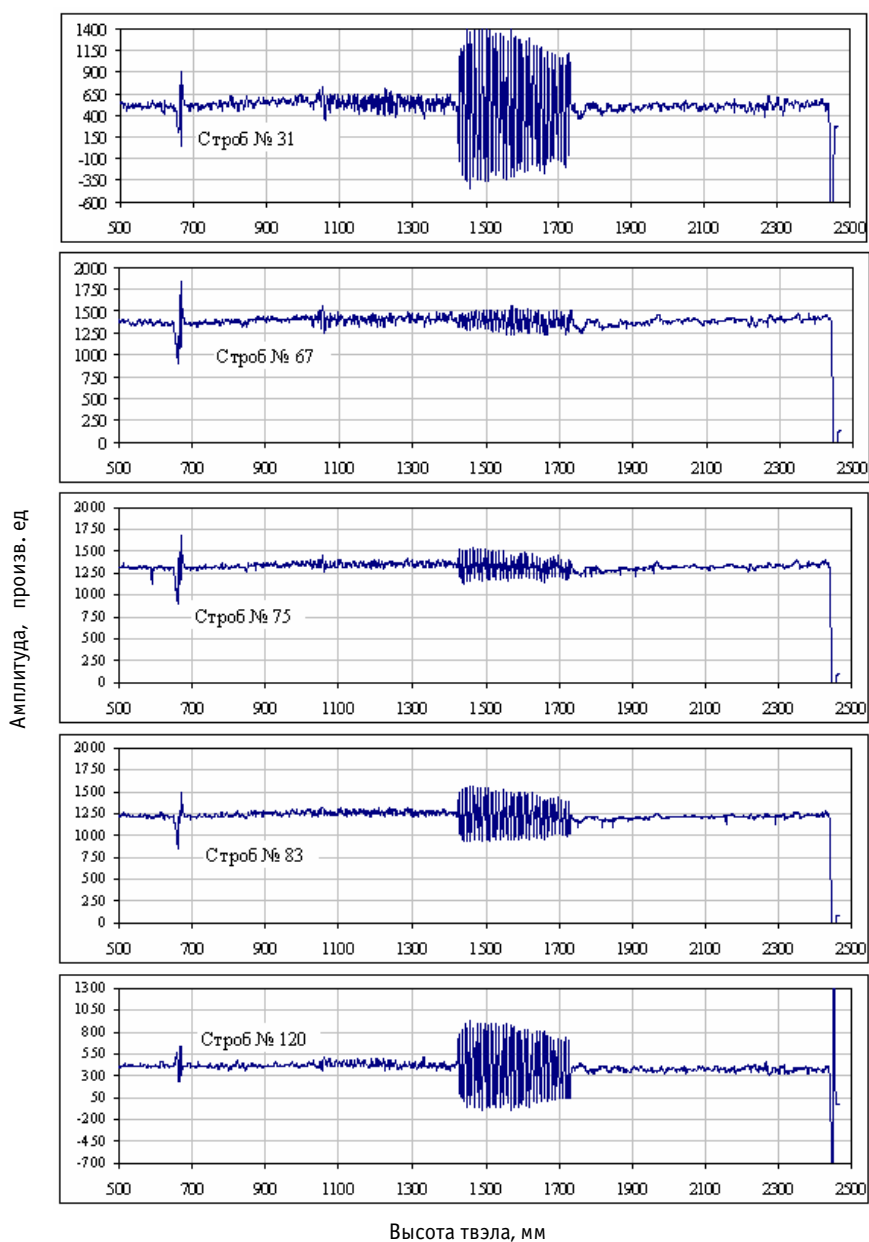


Рис. 8. Дефектограмма одного из твэлов с оболочкой из стали ЭП-450

отчетливо видны разделительный стаканчик и верхняя заглушка (рис. 8). Для некоторых угловых твэлов одной из ЭТВС с периферийным рядом твэлов из магнитной стали ЭП-450 наблюдалась мощная неравномерность распределения сигнала ВТО на нижнем участке активной зоны (рис. 8). Анализ этого участка в большом масштабе показал отчетливый период гармоничного распределения сигнала отклика, соответствующий высоте топливной втулки. Наблюдаемый эффект обусловлен жестким контактом топлива с нераспухающей оболочкой, наличие которого показано позднее материаловедческими методами.

Метод импульсной вихретоковой дефектоскопии в применении к контролю состояния облученных твэлов имеет несомненное преимущество перед остальными неразрушающими методами в силу своей чувствительности и информативности

ти. Он незаменим при массовом поиске дефектов оболочки, магнитных фазовых выделений, разрывов топливных сердечников, массопереноса топлива и локальных мест его плавления. При этом в силу качественного характера этого метода и некоторой субъективности при интерпретации данных требуется грамотное сопоставление с результатами других методов исследований. Отдельной задачей применения этого метода неразрушающего контроля состояния облученных твэлов является создание библиотеки виртуальных образов дефектов оболочек и топливных сердечников, подтвержденных материаловедческими исследованиями.

Измерение электрического сопротивления оболочек твэлов. Для электропотенциалометрии твэлов в настоящее время используется последняя модификация измерительной установки разработки ИРМ, созданная при техническом и финансовом содействии Белоярской АЭС. Идентичная установка «Поиск-3А» используется в «горячем» корпусе ИРМ. В основу положен электропотенциальный метод по ГОСТ 18353-79 [4], который основан на прямом пропускании тока через контролируемый участок, измерении разности потенциала на определяемом участке и регистрации искажения электромагнитного поля, обусловленного обтеканием дефекта током. В основном, разность потенциалов зависит от трех факторов: удельной электрической проводимости, геометрических размеров и наличия несплошностей в материале (поверхностных трещин, инородных включений и т.д.). В процессе работы установки определяется электросопротивление контролируемых участков по длине твэла, производится регистрация и обработка полученных данных.

Электросопротивление определяется методом вольтметра-амперметра: через твэл пропускается электрический ток и измеряются разности потенциалов на эталонном сопротивлении и на сопротивлении контролируемого участка оболочки, включенных последовательно с источником тока. Сопротивление контролируемого участка вычисляется согласно закону Ома для участка цепи. Наличие дефекта изменяет проводящее сечение трубы, в промежутке между измерительными (потенциальными) электродами он приводит к изменению величины электросопротивления. Структурная схема установки представлена на рис. 9.

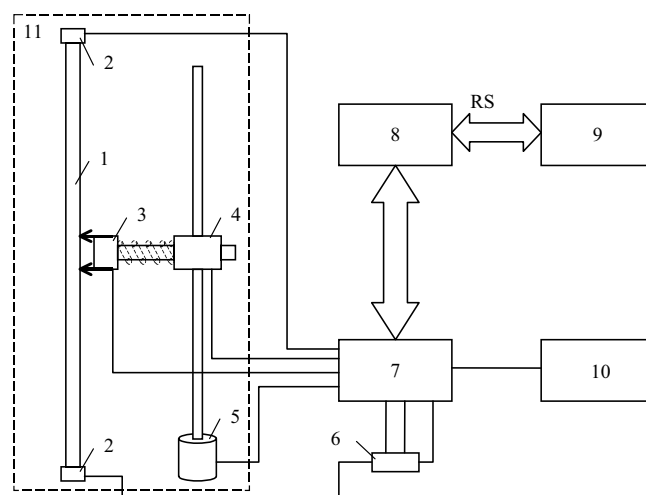


Рис. 9. Структурная схема установки «Поиск-3А»: 1 – твэл; 2 – узел крепления трубы, токовые зажимы; 3 – измерительный датчик; 4 – узел поджима датчика, электромагнит; 5 – электродвигатель; 6 – катушка эталонного сопротивления безреактивная R310, $R_3 = 0,001 \text{ Ом}$; 7 – коммутатор; 8 – блок модулей ADAM; 9 – IBM PC совместимый персональный компьютер; 10 – источник питания; 11 – измерительное устройство

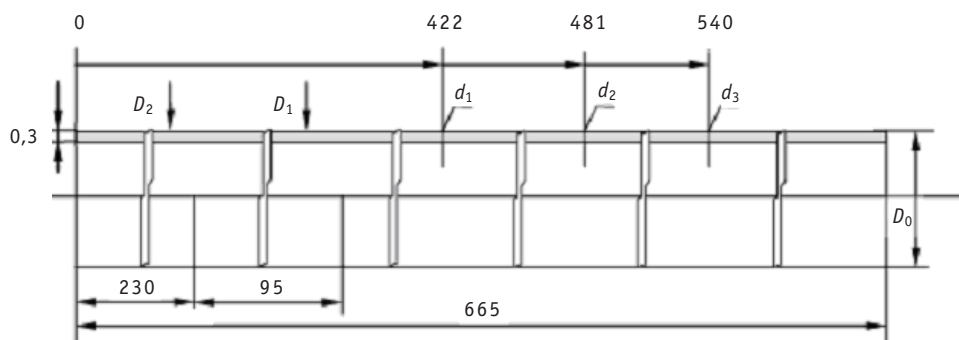


Рис. 10. Эскиз стандартного образца: D_0 – исходный участок ($6,90 \pm 0,01$ мм); D_1 – утоненный участок 1 ($6,89 \pm 0,01$ мм); D_2 – утоненный участок 2 ($6,87 \pm 0,02$ мм); d_1 – сквозное отверстие 1 ($0,59 \pm 0,01$ мм); d_2 – сквозное отверстие 2 ($0,85 \pm 0,02$ мм); d_3 – сквозное отверстие 3 ($1,00 \pm 0,01$ мм)

Установка работает в автоматическом режиме – под управлением программного комплекса, созданного на основе стандартного пакета GeniDAQ фирмы Advantech. Для периодического тестирования функционирования установки используется стандартный образец предприятия (СОП), изготовленный в ИРМ из трубы с диаметром $6,9 \times 0,3$ мм и длиной 665 мм из стали типа X16H15. СОП содержит искусственные дефекты в виде двух участков утонений, выполненных электролитическим способом, и трех сквозных отверстий различных диаметров (рис. 10). В качестве средства измерений геометрических размеров СОП применялся оптический микроскоп ИМЦ-100 \times 50 с погрешность измерения ± 3 мкм. Контрольный график изменения электросопротивления по длине СОП, полученный с помощью измерительного датчика с расстоянием между контактами $9,54 \pm 0,01$ мм, представлен на рис. 11. При измерениях электросопротивления на дефектах СОП используются положения измерительного датчика, расположенные непосредственно над сквозными отверстиями. Кроме датчика с базой $9,54 \pm 0,01$ мм для более грубых измерений используется датчик с большей базой $20,10 \pm 0,01$ мм. Типичная зависимость изменения электрического сопротивления по длине оболочки герметичного твэла, для которого не обнаружено существенных дефектов оболочки, представлена на рис. 12.

Гамма-спектрометрия. Установка для высокоактивных гамма-спектрометрических измерений (рис. 13) состоит из устройства для перемещения элемента – излучателя, коллимационной системы; счетного спектрометрического тракта. Исследуемый элемент на расстоянии 200 мм вертикально располагается перед входным окном коллиматора-ограничителя, представляющего собой отверстие диаметром 23 мм, просверленное в стене «горячей» камеры толщиной 1100 мм, на выходе которого размещен дополнительный регулируемый коллиматор. Регулируемый

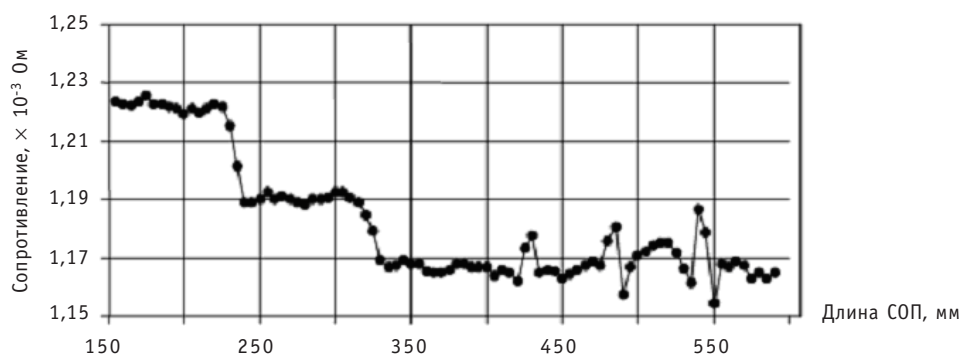


Рис. 11. Изменение электросопротивления в зависимости от длины СОП

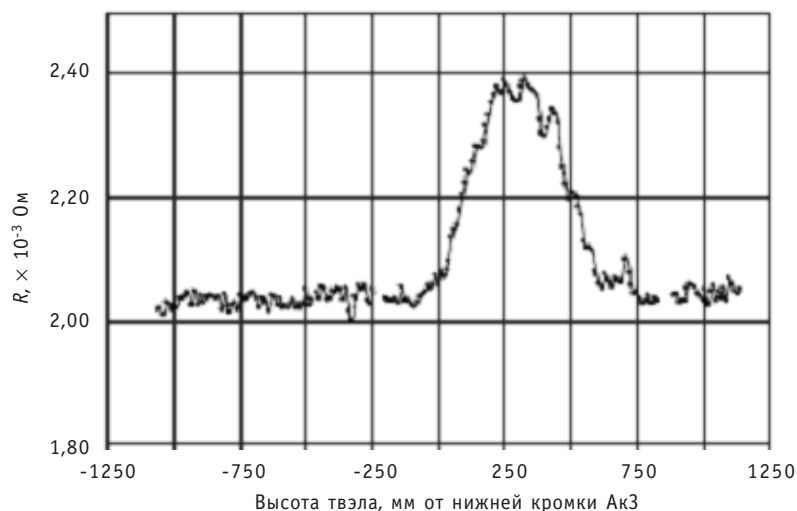


Рис. 12. Типичное изменение электросопротивления оболочки твэла в зависимости от высоты активной зоны

коллиматор состоит из двух стальных пластин (длина вдоль пучка 305 мм, ширина – 50 мм, высота – 30 мм), установленных одна над другой с регулируемой высотой щели, которая определяется оптимальной загрузкой аппаратуры при максимальной разрешающей способности. При измерении малых активностей дополнительный коллиматор дистанционно удаляется с пучка гамма-излучения.

Расстояние от выхода пучка из дополнительного коллиматора составляет 2400 мм. Общее расстояние от исследуемого элемента до детектора – 4005 мм. Такое расстояние выбрано в целях уменьшения «паразитного» фона. При исследовании элементы перемещаются перед входным окном коллиматора-ограничителя крапом «горячей» камеры с постоянной скоростью 0,25 м/мин либо с помощью ТОМ в непрерывном или дискретном режиме

В настоящее время измерения проводятся на спектрометре, скомплектованном на базе ПК, и цифрового анализатора DSA-2000. Используется коаксиальный детектор GC1518-7600SL с особо чистым германием, который имеет по паспорту характеристики: разрешение 0,75 кэВ по $E=122$ кэВ (Co-57); разрешение 1,62 кэВ по $E=1333$ кэВ (Co-60); абсолютная эффективность – 17,5.

В полностью интегрированном многоканальном анализаторе DSA-2000 объединены все системы для высококачественного набора спектров: цифровой сиг-

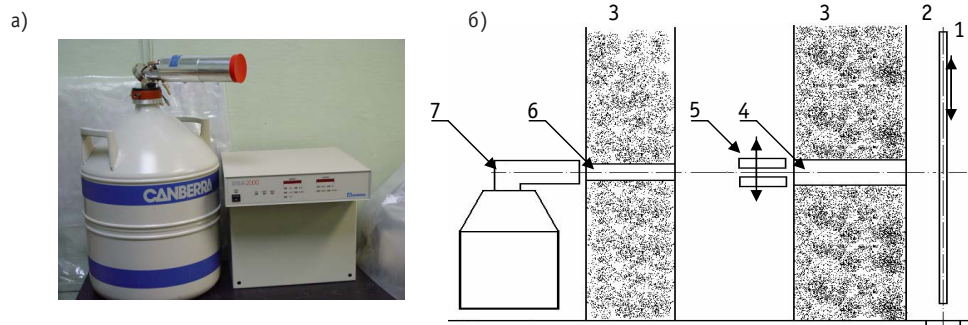


Рис. 13. Внешний вид гамма-спектрометра DSA2000 (а) и схема установки гамма-сканирования элементов реакторных сборок (б): 1 – механизм вертикального перемещения; 2 – излучающий элемент; 3 – защитные бетонные стены; 4, 6 – коллиматоры-ограничители; 5 – регулируемый коллиматор; 7 – детектор

нальный процессор, источник высокого напряжения, цифровой стабилизатор, память многоканального анализатора амплитуды. Для задач, связанных с изучением зависимости интенсивности излучения от времени или от координаты сканирования, в DSA-2000 предусмотрен режим многоканального счета. В этом режиме дополнительно используется шестивходовый многоканальный анализатор Multiport II в стандарте NIM. Управление работой цифрового анализатора DSA-2000 производится с помощью программы «Genie 2000» и ее модификаций, которые содержат полный набор программных средств для набора и обработки спектров.

При измерениях основной вклад в формирование фонового спектра гамма-излучения вносят такие р/а нуклиды как Mn-54, Co-60, Cs-137 – продукты активации компонентов конструкционных материалов и деления топлива. Фоновое излучение при проведении измерений определяется, в основном, наличием в защитной камере топливных и других элементов реакторных сборок, отходов от их разделки, которые не представлялось возможным удалить из камеры.

Подробно методики гамма-спектрометрического контроля приведены в [2]. Кратко напомним их возможности.

Стандартная процедура проверки на герметичность твэлов заключается в анализе результатов измерений относительной активности криптона-85 в газовой полости всех твэлов сборки. Твэлы с отсутствием криптона-85 в ГП или с пониженной его активностью по отношению к усредненной по сборке относятся к подозреваемым на негерметичность. По содержанию изотопа цезия-134 в газовой полости можно судить о содержании в ней ксенона-133, который к моменту проведения измерений распадается. Методика расчета относительного выхода ксенона из топлива представлена в работе [2], основные результаты расчетов газовыделения для штатного топлива (диоксид урана) и для смешанного уран-плутониевого оксидного топлива приведены в [3].

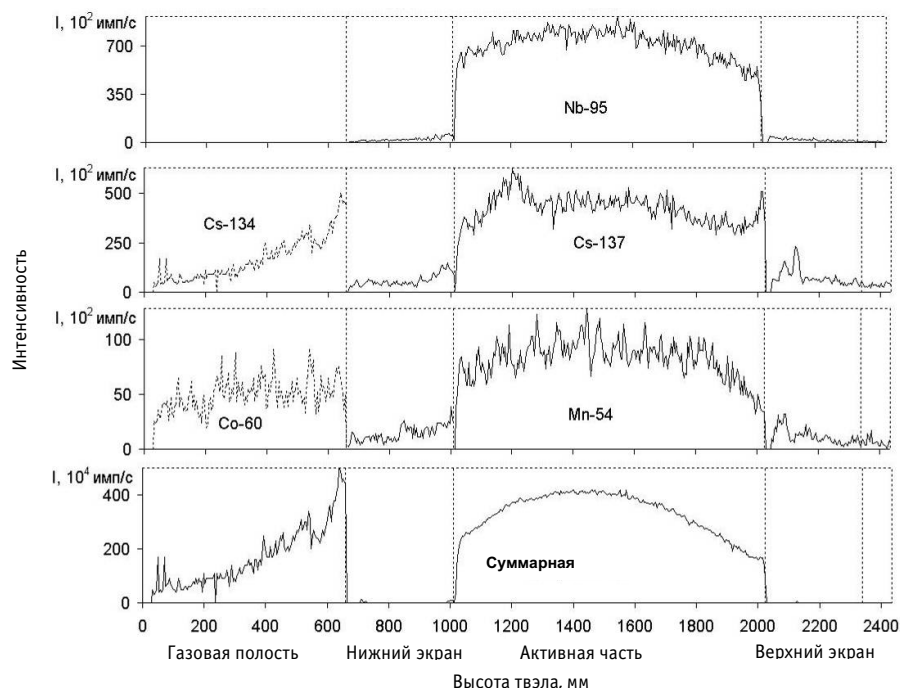


Рис. 14. Типичное распределение интенсивности гамма-излучения по высоте штатного твэла активной зоны БН-600

Форма распределения активности р/а нуклидов по длине твэлов представлена на рис. 14. Она обусловлена профилем нейтронного поля; состоянием топливно-го сердечника; составом облученных и делящихся материалов; условиями облучения, определяющими распределение летучих продуктов деления. На основе анализа вкладов различных нуклидов в интегральную интенсивность гамма-излучения делаются обоснованные выводы о состоянии топливных сердечников. По локальным минимумам аксиальных распределений активности циркония-95, ниобия-95, рутения-106 выявляются координаты несплошностей топливных сердечников. Присутствие в распределениях пиков активности рутения-106 может свидетельствовать о степени массопереноса топлива и/или о локальном плавлении топливной композиции.

Исследование высотных распределений легкомигрирующих коррозионно-активных продуктов деления цезия-137, цезия-134 позволяет определять местоположение возможных зон коррозионного взаимодействия по координатам пиков их активности. Однако необходимо помнить, что в твэлах с таблеточным топливом из диоксида урана или с таблеточным МОКС-топливом из-за их расхолаживания пики активности нуклида цезия-137 наблюдаются, как правило, на границе активной зоны с экранами; встречаются пики и в разных частях активной части. В целом активность цезия возрастает к нижнему концу АкЗ и к нижней части газовой полости. В твэлах с несплошностями топливного столба в местах разрывов наблюдается скопление цезия-137, цезия-134.

По куполообразному распределению активности слабомигрирующих продуктов деления (Nb-95, Zr-95) по длине активной зоны твэлов с помощью эталонных образцов с погрешностью ± 1 мм определяется длина топливных сердечников.

Коэффициенты неравномерности энерговыделения (K_z) и флюенса ($K_z^{\text{фл}}$) по высоте i -го твэла оцениваются по аксиальным распределениям интенсивности гамма-излучения р/а нуклидов циркония-95 (или рутения-106) и марганца-54 с поправкой на распад. Радиальные коэффициенты неравномерности энерговыделения и флюенса по ячейке активной зоне, в которой находилась во время эксплуатации исследуемая ОТВС, наиболее корректно рассчитываются с учетом всех 127-ми определенных коэффициентов K_z^i как отношение максимального к среднему. Экспериментальные коэффициенты неравномерности энерговыделения и флюенса сопоставляются расчетным параметрам, закладываемым в расчетные коды программ определения условий облучения реакторных сборок. Результаты анализа, проведенного по данным, полученным для ряда ТВС, прошедших контроль работоспособности, представлены в табл. 2. Максимальная неопределенность основных параметров эксплуатации с учетом экспериментальных погрешностей и неопределенности в выборе расчетных методик составляет $\sim 2\%$.

Измерения параметров внутритвэльного газа. Измеряемые параметры давления газа и свободного объема в отработавших твэлах необходимы для прогнозирования степени газовыделения из топлива с ростом выгорания, оценки напряжений, возникающих в оболочке при эксплуатации твэлов под действием давления внутритвэльного газа. По результатам определения параметров газа делается окончательное заключение о герметичности твэлов.

Для этого до настоящего времени используется установка прокола оболочек твэлов простой конструкции, описанной в работе [2], в которой приведена и методика расчета параметров внутритвэльного газа. Основные результаты многолетнего контроля количества газа под оболочкой в зависимости от выгорания топлива в твэлах представлены в [3]. Элементарные оценки величин напряжений оболочки за счет давления в газовой полости, проведенные в модели тонкостенной

Таблица 2

Результаты верификации расчетных кодов

Заводские номера ТВС	Экспериментальные параметры		Расчетные по «УРАН»		Расчетные по «ГЕФЕСТ»		Суммарная погрешность, %	
	K_z	K_r	K_z	K_r	K_z	K_r	K_z	K_r
20 26 2646 94	1,25±0,02	1,024±0,008	1,23	1,056	1,23	1,069	1,3	1,4
18 17 3220 95	1,28±0,01	1,05±0,01	1,26	1,014	1,26	1,01	0,6	1,0
18 17 3295 96	1,21±0,01	1,03±0,01	1,26	1,08	1,22	1,06	3,2	2,1
26 17 3163 96	1,20±0,03	1,06±0,03	1,26	1,01	1,24	1,03	2,5	3,4
18 17 3021 95	1,12±0,003	1,009±0,008	1,26	1,007	1,26	1,003	0,2	0,9
18 17 3367 96	1,12±0,003	1,033±0,008	1,26	1,007	1,23	1,005	2,4	0,8
19 21 3454 97	1,20±0,02	1,03±0,02	1,27	1,04	1,27	1,03	1,3	2,1
Средние значения							1,6	1,7
Стандартные отклонения							1,1	0,9
Стандартные ошибки							0,4	0,4

трубки с заглушенными концами [5] с помощью аппроксимации по закону Шарля, показывают, что для достигнутых максимальных параметров эксплуатации твэлов в стационарных условиях, характерных для активной зоны БН-600 последней модернизации, максимальные напряжения оболочки твэлов не превышают ~50–110 МПа при температурах ~ 700–1700°C.

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Планируемые работы по дальнейшей модернизации оборудования «горячей» камеры БН-600 непосредственно связаны с целями, которые определены для Белоярской АЭС на современном этапе развития.

1. Продление срока эксплуатации энергоблока №3 и связанное с этим повышение ресурсных характеристик реакторных сборок для обеспечения безопасности и экономической эффективности работы реактора БН-600.

2. Обеспечение первой загрузки активной зоны реактора БН-800, которая во многом зависит от доработки конструкционных материалов, топлива и поглотителя реакторных сборок, способных обеспечить приемлемые параметры эксплуатации нового энергоблока №4.

3. Создание и оснащение оборудованием защитной камеры строящегося энергоблока №4 с реактором БН-800.

В связи с этими целями целесообразно выделить задачи развития методов контроля работоспособности реакторных сборок и модернизации оборудования «горячей» камеры БН-600:

- расширение объема и повышение надежности контроля работоспособности ТВС и РО СУЗ после эксплуатации в реакторе БН-600, проводимого в «горячей» камере БН-600 по программам НИОКР по повышению выгорания топлива в реакторе БН-600 и в обеспечение первой загрузки активной зоны реактора БН-800;
- создание прототипов технологического оборудования и оборудования для проведения послеексплуатационного контроля работоспособности реакторных сборок в защитной камере энергоблока №4 Белоярской АЭС с реактором БН-800;
- подготовка кадров для эксплуатации защитной камеры БН-800.

В соответствии с задачами намечены основные направления работ.

1. Замена изношенных деталей и узлов оборудования для разделки реакторных сборок (физически устаревшего оборудования) с целью продления ресурса работоспособности оборудования горячей камеры БН-600.

2. Создание оборудования для разделки реакторных сборок, комплектации твэлов и утилизации ВТРО с целью его использования в горячей камере БН-600 при проведении работ, необходимых для обоснования работоспособности реакторных сборок БН-800 и при выводе из эксплуатации реактора БН-600.

3. Модернизация исследовательского оборудования с целью проведения послеексплуатационного контроля работоспособности реакторных сборок в обоснование работоспособности активных зон реакторов БН-600 и БН-800.

Литература

1. Правила ядерной безопасности реакторных установок атомных станций. НП-08-07. – С.36.
2. Козманов Е.А., Огородов А.Н., Чуев В.В. Методическое обеспечение первичных послереакторных исследований элементов активной зоны реактора БН-600/ Исследование конструкционных материалов элементов активной зоны быстрых натриевых реакторов: Сб. науч. трудов. – Екатеринбург: УрО РАН, 1994. – С.3-47.
3. Чуев В.В., Росляков В.Ф., Мальцев В.В. Особенности поведения конструкционных материалов в спектре нейтронов быстрого реактора большой мощности// Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2005. – № 1. – С. 113-126.
4. ГОСТ 18353-79. «Контроль неразрушающий. Классификация видов и методов».
5. Уолтер А., Рейнольдс А. Ванькова А.А., Яровицина В.В. Реакторы-размножители на быстрых нейтронах/Пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 623 с.

Поступил в редакцию 30.03.2009

УДК 621.311.25: 621.039

Visualization of the Database on the Off-Normal Operation of Beloyarsk NPP Power Unit 3/P.P. Govorov, I.M. Krysanterev, A.M. Tuchkov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 4 pages, 3 illustrations. – References, 1 title.

The article briefly presents the code called «BN-600 archive» which allows one to quickly and clearly obtain the information on the off-normal operation of Beloyarsk NPP power unit 3 throughout its operating period.

УДК 621.311.25: 621.039

Gidropress Development Centres Experience of Working in the Field of the Extension of the BN-600 NPP Steam Generator Lifetime and Tasks of the Development of the Steam Generators for New Fast Reactor Power Units/V.V. Denisov, M.D. Lyakisheva, V.I. Karsonov, N.B. Trunov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 8 pages, 4 illustrations.

The article presents the work of the Gidropress development centre both on the evaluation of the residual lifetime and lifetime extension of the BN-600 power unit PGN-200M steam generators. The strength of the metal structures is justified, the recommendations are given on the seismic resistance improvement. The imperfection of the standing regulatory base is noted, the measures to correct this situation are highlighted. The positive operating experience from the BN-600 steam generators as well as the results of research into condition of the SG critical components accumulated a lot of running hours enable to confidently change over to the new generation of the large steam generators, thus considerably improving the technical and economic characteristics for the perspective designs of the fast reactor power units.

УДК 621.311.25: 621.039

Analysis of the Dynamics of Hydrogen Ingress to Secondary Sodium after the Replacement of the Steam Generator Stages of the BN-600 Power Unit/Yu.V. Nosov, G.N. Tsygankov, A.I. Karpenko, A.A. Kuznetsov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 10 pages, 4 illustrations. – References, 3 titles.

The article presents the methodology of the calculation of the rate of the ingress of hydrogen into secondary sodium of the BN-600 power unit. The sources and the mechanism of the hydrogen ingress after the replacement of a lot of the PGN-200M steam generator stages within the scope of work on the power unit operation lifetime extension are defined.

УДК 621.311.25: 621.039

13. Development of the System of the Digital Recording of the BN-600 Reactor Secondary Sodium Pump Speed/M.T. Telichko, P.P. Govorov, I.S. Pomortsev; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 5 pages, 4 illustrations.

The article considers a digital system of the recording of the BN-600 power unit secondary sodium pump speed which complements the standard one.

УДК 621.039.542

Verification of the Operability of the Reactor Sub-Assemblies after Operation in the BN-600 Cores. The Second Modification of the Equipment of the Hot Cell/M.V. Bakanov, A.V. Nenakhov, V.V. Chuev, I.S. Dudnichenko, O.N. Lelikov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 20 pages, 2 tables, 14 illustrations. – References, 5 titles.

The current state of the methodological support to the post irradiation verification of the operability of the reactor sub-assemblies and their components implemented in accordance with the requirements of the regulations related to the nuclear safety of the nuclear plant reactors. The methodology of the verification is based on the experience of those mass primary post irradiation examinations of the condition of the sub-assemblies after operation in the

reactor BN-600 that have been performed in the spent fuel cooling pond and in the hot laboratory of Beloyarsk NPP power unit 3. This paper presents the main results of the second modification of the process and experimental equipment of the hot cell of BN600 carried out after the year of 2000, and further perspectives of the development of the on-site verification complex are discussed.

УДК 621.039.542

Justification by Calculation of the Safe Post Irradiation Handling of the BN-600 Reactor Core Components/ V.V. Golovin, A.I. Karpenko, A.M. Tuchkov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 5 pages, 1 table, 3 illustrations. – References, 1 title.

The article shows the possibility of the practical application of the results of the simulation by calculation of the heat-up of the spent BN-600 reactor core components with various decay heat power values for planning and optimizing the conditions of the post irradiation handling of these components.

УДК 621.039

Prediction of the Professional Successfulness when Screening the Candidates for the Potential Executive Positions/A.V. Abdullaeva, N.N. Oshkanov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 6 pages, 2 tables, 12 illustrations. – References, 4 titles.

The paper analyzes the link of the psychodiagnostic criteria obtained when performing psychophysiological examinations with the indicator of success of activities to reveal the propensities of the employees of the company for managerial activities.

УДК 621.039.58

Concept of the Computer System of the Support to the Maintenance of the Equipment at the Nuclear Plant. Management and Safety/A.I. Karpenko, Yu.A. Makhaev; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 6 pages, 1 illustration. – References, 3 titles.

The paper presents main functional modules of the system of the support to the maintenance at a NPP.

УДК 621.039.58

Main Modules of the System of the Support to the Maintenance of the Equipment at the Nuclear Power Plant. Designation, Presentation, Implementation/A.I. Karpenko, Yu.A. Makhaev; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 6 pages, 3 illustrations.

The paper presents main functional modules of the system of the support to the maintenance at a NPP.

УДК 621.039.53

Structural Materials of the Russian Fast Reactor Cores. Current Situation and Perspectives/V.S. Ageev, Yu.P. Budanov, A.G. Ioltukhovskiy, M.V. Leonteva-Smirnova, N.M. Mitrofanova, A.V. Tselishchev, I.A. Shkaruba; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 9 pages, 4 tables, 7 illustrations. – References, 15 titles.

The article deals with the utilized and the perspective types and grades of the steels applied and planned to be applied as the fast reactor fuel cladding material. The features of the austenitic chromium-nickel and ferritic-martensitic steels are shown. To achieve the fuel burn-up levels higher than the achieved ones the austenitic steels can turn out to be useless because of their swelling. Actually «non-swelling» ferritic-martensitic chromium steels are considered to be more promising. In support to the achievement of the fuel pin damage dose of ~180 dpa the Russian Inorganic Material Research Centre develops the dispersion strengthened 12-% chromium steels using the methods of the powder metallurgy.