

- проанализирована динамика разгона реактора при внезапных скачках реактивности с любым заданным законом зависимости скачка реактивности от времени;
- динамика перехода с одного уровня мощности на другой;
- рассчитана кинетика глушения реактора с учетом конечного времени падения стержней СУЗ и соответствующего закона ввода отрицательной реактивности.

Точность численных решений оценена на примере разгона и глушения холодного реактора без температурных обратных связей в одноклассовом приближении.

Кроме того, подключение к данному блоку подпрограмм, определяющих изменение реактивности реактора вследствие изменения концентрации борной кислоты или отравления реактора ксеноном и самарием, позволит количественно исследовать кинетику реактора при многофакторном изменении его реактивности.

Библиографический список:

1. Семенов В.К. Кинетика и регулирование ядерных реакторов. – Иваново, ИГЭУ, 2009.
2. Кирьянов Д.В. Mathcad 13 в подлиннике. – СПб.: БХВ – Петербург, 2005.

КАНАШОВ Б.А. , БОГАТОВ П.В. , ДОРОФЕЕВ А.Н. , ПЕРЕПЕЛКИН С.О. ,
САМСОНОВ А.А.

ООО НПФ «Сосны», г. Димитровград, Россия

ОПЫТ РЕАЛИЗАЦИИ ПИЛОТНОГО ПРОЕКТА ПО ПЕРЕВОЗКЕ И ПЕРЕРАБОТКЕ ОПЫТНОЙ ПАРТИИ НЕКОНДИЦИОННЫХ ОТВС РЕАКТОРА РБМК-1000 НА ФГУП «ПО «МАЯК»

В 2011 году по инициативе ГК «Росатом» и при участии ОАО «Концерн Росэнергоатом» был реализован пилотный проект по перевозке и переработке опытной партии некондиционных ОТВС реактора РБМК-1000 с Ленинградской АЭС на ФГУП «ПО «Маяк». Цель проекта заключалась в практическом подтверждении возможности безопасной перевозки некондиционных (в первую очередь, негерметичных) ОТВС и целесообразности их переработки, а также в поиске согласованных технологий грузоотправителя и грузополучателя при обращении с ОЯТ.

В течение длительного времени среди специалистов существовало достаточно устойчивое мнение о том, что переработка ОЯТ РБМК нецелесообразна. И на то были серьезные основания: исходное обогащение топлива по урану-235 имело низкие значения (максимум 2%), а цены на уран были невысоки, при этом другие источники урана покрывали текущие потребности в нем. С тех пор ситуация изменилась: в настоящее время используется топливо с обогащением по урану-235 до 2,8%, а цены на уран возросли в несколько раз. Чтобы предоставить необходимые данные для разрешения спора о целесообразности переработки ОЯТ РБМК и подтвердить

принципиальную возможность перевозки и переработки, 14 января 2011 г. по инициативе ГК «Росатом» руководство ОАО «Концерн Росэнергоатом» приняло решение о реализации пилотного проекта по вывозу пучков твэлов (ПТ) некондиционных ОТВС с энергоблока №2 Ленинградской АЭС на ФГУП «ПО «Маяк».

Кроме того, существовала еще одна серьезная причина, по которой был предпринят данный проект. В отличие от кондиционного ОЯТ РБМК, которое в соответствии с концепцией ГК «Росатом» должно быть переведено в режим длительного «сухого» хранения (контейнерного или шахтного), судьба некондиционного ОЯТ РБМК до сих пор законодательно не определена. Чтобы принять решение относительно перевозки и переработки некондиционного ОЯТ РБМК на регулярной основе, требовалось представить достаточно веские основания.

С практической точки зрения для реализации пилотного проекта необходимо было решить несколько технических задач:

- выбор ОТВС для опытной партии;
- выбор контейнера и разработка компонентов упаковки для перевозки опытной партии некондиционных (в первую очередь, негерметичных) ОТВС;
- разработка технологии и оборудования для разделки ОТВС и загрузки ПТ в контейнер на Ленинградской АЭС;
- разработка технологии и оборудования для обращения с ПТ на ФГУП «ПО «Маяк».

Кроме того, необходимо было решить научные задачи, связанные с обоснованием безопасности обращения с некондиционным ОЯТ и получить соответствующие разрешительные документы. В течение 2011 года эти задачи были успешно решены, и в период 15–19 ноября 2011 г. была осуществлена перевозка опытной партии некондиционных ОТВС РБМК Ленинградской АЭС, а в конце этого же месяца – ее переработка на ФГУП «ПО «Маяк».

Выбор ОТВС опытной партии

К некондиционному ОЯТ реакторов РБМК относятся ОТВС, непригодные для длительного «сухого» хранения. В своем большинстве, некондиционное ОЯТ РБМК – это досрочно выгруженные и не достигшие проектного выгорания ОТВС, содержащие достаточно высокий процент урана-235. К этому же типу относятся ОТВС, получившие повреждения в процессе транспортно-технологических операций после извлечения из АЗ. Однако для пилотного проекта был выбран наихудший тип некондиционных ОТВС – негерметичные. Все ОТВС, отобранные для опытной партии, были выгружены из АЗ по критерию негерметичности. Кроме того, по результатам настоящих тестов активность ^{137}Cs в воде пенала превышала 10^{-4} Ки/л, что свидетельствовало о наличии контакта топливных таблеток с водой и, соответственно, наличии воды под оболочкой хотя бы одного твэла.

Конструкция отобранных ОТВС – штатная, с закреплением твэлов в ПТ в концевых решетках на концах ОТВС.

Во всех отобранных ОТВС обогащение топлива по урану-235 составило 2,4% – наиболее типичное значение обогащения для большинства ТВС РБМК-1000. Выгорание топлива находилось в пределах от 7,8 до 20,5 МВт·сут/кгU, т.е. меньше, чем проектное (21,8 МВт·сут/кгU) для выбранного исходного обогащения. Время выдержки (13,8–16,5 лет) выбиралось из соображений радиационной безопасности.

Количество ОТВС (8 ОТВС, 16 ПТ) выбиралось, исходя из необходимости обеспечить однократную загрузку аппарата-растворителя на перерабатывающем заводе ФГУП «ПО «Маяк».

С целью подготовки исходных данных для обоснования безопасности перевозки и анализа целесообразности дальнейшего использования регенерированного урана из ОЯТ РБМК-1000 были выполнены расчеты нуклидного состава и активности источников альфа-, бета- и гамма- и нейтронного излучения, включая вклад нейтронов за счет (α, n) и (γ, n)-реакций. Особое внимание уделялось четным изотомам ^{232}U и ^{236}U , которые оказывают влияние на качество регенерата.

Выбор контейнера и разработка компонентов упаковки

Для пилотного проекта было бы логичным выбрать контейнер и транспортно-технологическую схему, которые можно было бы использовать в дальнейшем для регулярных перевозок некондиционного ОЯТ РБМК, например, выбрать ТУК-109 с подготовкой ОТВС в отделении разделки хранилища ОЯТ. Однако на момент реализации пилотного проекта:

- ни на одной АЭС с реакторами РБМК отделения разделки не были пущены в эксплуатацию. Даже в случае запуска отделения разделки, оно должно было, в первую очередь, выполнять свою основную функцию освобождения ХОЯТ от кондиционных ОТВС;

- транспортно-технологическая структура ФГУП «ПО «Маяк» была не приспособлена для обращения с современными ТУК типа ТУК-109.

Поэтому для пилотного проекта был выбран вариант, предусматривающий использование хорошо зарекомендовавшего себя ТУК-11 с чехлом 12 и разделку ОТВС в защитной камере 2-го энергоблока Ленинградской АЭС. Дополнительным аргументом в пользу ТУК-11 стало достаточное их количество (семь ТУК-11 и 14 чехлов 12) и отлаженная технология обращения с ними на ФГУП «ПО «Маяк».

Однако следует подчеркнуть, что какой бы контейнер не был выбран, основной проблемой при транспортировании некондиционного ОЯТ является обеспечение пожаро-взрывобезопасности упаковки, содержащей негерметичное неосушенное топливо, длительное время находившееся в воде. Если проблема осушения герметичного топлива в настоящее время решена, то удаление воды из негерметичных твэлов по-прежнему является сложной технической задачей.

В связи с изложенным было принято решение о перевозке ПТ некондиционных ОТВС в герметичных тонкостенных ампулах, конструкция которых позволяла бы перерабатывать ПТ на радиохимическом заводе вместе с ампулой. К ампуле также предъявлялись требования по прочности в нормальных и аварийных условиях при транспортировании и обращении на АЭС и ФГУП «ПО «Маяк». На рис. 1 представлена конструкция ампулы для перевозки ПТ некондиционных ОТВС РБМК в ТУК-11.

Разработанная ампула предназначена как для транспортирования ПТ некондиционных ОТВС РБМК в составе транспортного упаковочного комплекта ТУК-11, так и для временного технологического хранения в бассейне-хранилище ФГУП ПО «Маяк». Конструкция ампулы разработана в соответствии с требованиями НП-053-04 [1], НП-001-97 (ОПБ - 88/97) [2], НП-016-05 (ОПБ ОЯТЦ) [3]. Класс безопасности ампулы по НП-001-97 – 3Н, по НП-016-05 – 3Н.

Расчеты и проведенные в ГНЦ НИИАР эксперименты показали, что пожаро- и взрывоопасная концентрация водорода не образуется в объеме герметичных ампул (при их заполнении воздухом при атмосферном давлении без продувки инертными газами) в течение как минимум 9 месяцев при условии размещения в ампуле одного негерметичного твэла, заполненного водой, и в течение 5 месяцев, если в ампуле находятся два негерметичных твэла. В объеме ТУК-11 пожаро- и взрывоопасная концентрация кислорода и водорода не образуется при любом времени нахождения в нем ОЯТ.

Ампулы с ПТ в процессе транспортирования размещались в модернизированном чехле 12, содержащем специальные вкладыши, которые обеспечивали дополнительную прочность конструкции упаковки и снижали вероятность повреждения ампул в процессе транспортирования. Для обеспечения радиационной безопасности в процессе установки крышки на контейнер на территории АЭС и снятия крышки с контейнера на ФГУП «ПО «Маяк» использовалась внутренняя перегрузочная плита, которая являлась частью упаковки. При разработке упаковки наибольшие проблемы создавало ограниченное пространство внутри контейнера. Поэтому, в частности, грибок внутренней перегрузочной плиты при установке крышки контейнера «утапливался» в корпус плиты, а при снятии крышки – выдвигался. Конструкция упаковки ТУК-11Р-2 представлена на рис. 2.

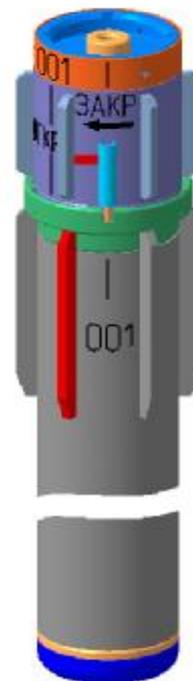


Рисунок 1. Ампула для перевозки негерметичных ОТВС реактора РБМК

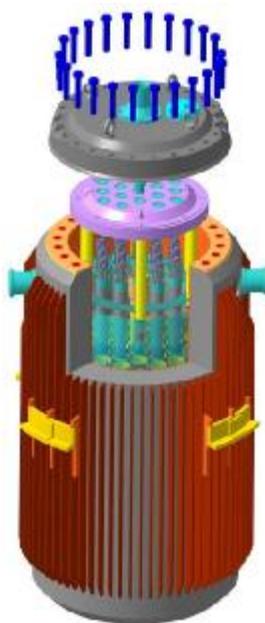
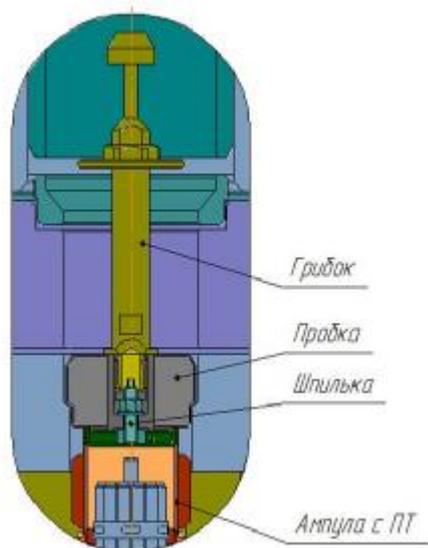


Рисунок 2. Упаковка ТУК-11Р-2
для перевозки негерметичных
ОТВС реактора РБМК

Результаты численных расчетов, выполненных в РФЯЦ-ВНИИЭФ, по определению напряженно-деформированного состояния и оценке прочности транспортного упаковочного комплекта ТУК-11Р-2, загруженного 16-ю ампулами с ПТ некондиционных ОТВС РБМК-1000, при воздействии механических нагрузок, моделирующих нормальные и аварийные условия перевозки, показали, что упаковка удовлетворяет всем требованиям российских правил НП-053-04.

Технология разделки ОТВС



Разделка ОТВС на пучки твэлов производилась с помощью фрезерного станка в защитной камере энергоблока 2 Ленинградской АЭС. Там же производилась загрузка ПТ в ампулы и герметизация ампул специальной крышкой. Для обеспечения радиационной безопасности в процессе перемещения и загрузки ампулы с ПТ в контейнер на крышку ампулы устанавливались защитная пробка и грибок (рис. 3), верхняя часть которого совместима с захватными механизмами, используемыми в реакторном зале энергоблока.

Рисунок 3. Ампула с ПТ в сборе
с защитной пробкой и грибком

Технология загрузки ампул с ПТ в ТУК-11Р-2 на АЭС

Из всех возможных способов загрузки ОЯТ в ТУК-11 была выбрана технология с использованием перегрузочного контейнера. В качестве перегрузочного контейнера использовалось транспортное устройство (ТрУ), которое применяется для перемещения ОТВС в пределах реакторного зала энергоблока. В процессе подготовки к загрузке ампул с ПТ в ТУК-11 были решены следующие задачи:

- разработка перецепочного узла для стыковки ТрУ с пробкой защитной камеры и выгрузки ампулы с ПТ из защитной камеры в ТрУ (рис.4);
- разработка переходного узла и наружной перегрузочной плиты для стыковки ТрУ с ТУК-11Р-2 и перегрузки ампулы с ПТ из ТрУ в контейнер (рис.5).

Разработанные компоненты упаковки для перевозки опытной партии ПТ ОТВС РБМК в ТУК-11 и вспомогательное оборудование удовлетворяют требованиям российских правил НП-070-06 [4] и относятся к группе 3 оборудования. По ПНАЭГ-7-008-89 [5] компоненты упаковки для перевозки опытной партии ПТ ОТВС РБМК в ТУК-11 и вспомогательное оборудование относятся к группе оборудования С.

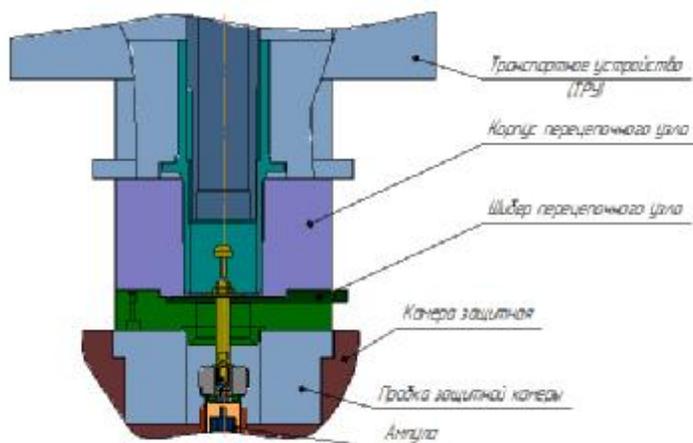


Рисунок 4. Перецепочный узел для стыковки ТрУ с пробкой защитной камеры

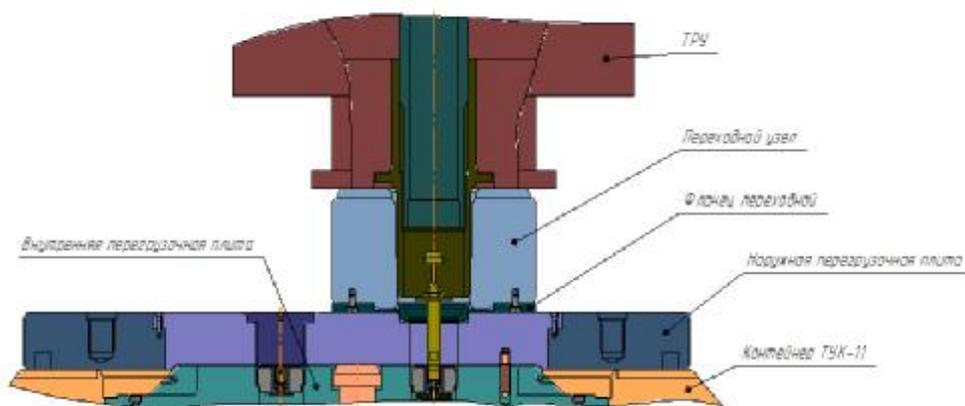


Рисунок 5. Переходной узел и наружная перегрузочная плита для стыковки ТрУ с ТУК-11Р-2

Технология обращения с ампулами с ПТ на ФГУП «ПО «Маяк»

Приемка контейнера ТУК-11Р-2 на ФГУП «ПО «Маяк» осуществлялась по штатной схеме. Вагон-контейнер ТК-11 по железнодорожным путям доставлялся в здание приемки ОЯТ, где вагон подключался к системам энергоснабжения. После раскрытия створок крыши ТК-11 и снятия крышки контейнера извлекалась внутренняя перегрузочная плита и чехол с ампулами перемещался в бассейн-хранилище.

Поскольку ампулы были герметичными, исключалась утечка ПД в воду бассейна-хранилища из негерметичных твэлов. Необходимо отметить, что суммарные темпы выхода ПД из всех негерметичных твэлов в наихудшем случае составляли не более 25% от производительности системы очистки воды бассейна-хранилища, и с этой точки зрения ампулы с ПТ могли быть и негерметичными. Тем не менее, конструкция ампул была выбрана герметичной, поскольку правила перевозки для нормальных условий и аварийных ситуаций однозначно требуют наличия в процессе транспортирования двух барьеров безопасности.

Для передачи чехла с ампулами с ПТ в защитную камеру и для извлечения их из чехла был разработан специальный инструмент (переходники, захваты и т.п.), адаптированный к штатному оборудованию защитной камеры. После выполнения указанных операций ампула с ПТ помещалась на ложемент агрегата резки, который разделял ампулы на фрагменты, пригодные для дальнейшей переработки ОЯТ по технологии, аналогичной технологии переработки ОЯТ реакторов ВВЭР.

Заключение

Реализация «пилотного» проекта показала техническую осуществимость разделки негерметичных ОТВС РБМК в защитных сооружениях Ленинградской АЭС, вывоза в адаптированных контейнерах ТУК-11Р-2, возможность переработки ОЯТ РБМК по существующей технологической схеме ФГУП «ПО «Маяк» с получением конечного товарного продукта в виде 1%-ного плава уранилнитрата требуемого качества.

Библиографический список:

1. Правила безопасности при транспортировании радиоактивных материалов: НП-053-04. – Взамен ПБТРВ-73 и ОПБЗ-83: утв. Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору 04.10.2004: введ. 01.05.2005 – М., 2005. – 105 с.

2. Общие положения обеспечения безопасности атомных станций: ОПБ-88/97. НП-001-97 (ПНАЭ Г-01-011-97): утв. Госатомнадзором России 14.11.1997: введ. в д. с 01.07.98 – М., 1998. – 24 с.

3. Общие положения обеспечения безопасности объектов ядерного топливного цикла (ОПБ ОЯТЦ): НП-016-05. – Взамен НП-016-2000: утв. Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору 2.12.2005: введ. 01.05.2006. – М., 2006.

4. Правила устройства и безопасной эксплуатации оборудования и трубопроводов объектов ядерного топливного цикла: НП-070-06. – утв. Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору 05.09.2006: введ. 01.12.2006. – М., 2006.

5. Правила устройства и безопасной эксплуатации оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок: ПНАЭ Г-7-008-89 (с изменениями № 1 от 01.09.2000). – утв. Госатомнадзором России 01.01.1990: введ. 01.01.1990. – М., 2003.

ИВАШКИН А.И.

ООО НПФ «Сосны», г. Дмитровград, Россия

РАЗРАБОТКА УПАКОВКИ ТИПА С ДЛЯ ПЕРЕВОЗКИ ОЯТ ИР РАЗЛИЧНЫМИ ВИДАМИ ТРАНСПОРТА, ВКЛЮЧАЯ ВОЗДУШНЫЙ

В докладе приведены основные этапы разработки первого в своем классе транспортного упаковочного комплекта для перевозки облученного ядерного топлива исследовательских реакторов всеми видами транспорта, включая воздушный.

Создание транспортного упаковочного комплекта, предназначенного для воздушной перевозки облученного ядерного топлива исследовательских реакторов (ОЯТ ИР), обсуждалось специалистами отрасли с 2007 года. В сентябре 2009 года НПФ «Сосны» принялась за разработку первого транспортного упаковочного комплекта данного класса.

В соответствии с правилами TS-R-1 и НП-053-04, требования к упаковкам типа С более жесткие по сравнению с упаковками других классов, но самым серьезным испытанием, которое должна была выдержать упаковка, являлось соударение с жесткой преградой на скорости 90 м/с. В связи с этим перед специалистами НПФ «Сосны» встал вопрос: «Создавать новый транспортный упаковочный комплект или усилить уже имеющийся транспортный контейнер?». Решение данного вопроса было принято в пользу усиления существующего транспортного упаковочного комплекта SKODA VPVR/М динамической защитой. Роль динамической защиты состоит в гашении основной части энергии транспортного контейнера при ударе о преграду. Механизм гашения представляет собой переход кинетической энергии ударяющегося тела в потенциальную энергию пластического деформирования защитных элементов. При этом допускается неполное гашение энергии удара защитными элементами, но обязательно ее снижение до уровней, при которых транспортный контейнер сохраняет свою целостность и герметичность.

На первом этапе разработки принято концептуальное решение о создании разборной динамической защиты, внутри которой размещается ТУК SKODA VPVR/М. Кроме того, прорабатывалась возможность использования существующих 20-футовых ISO-контейнеров в качестве оболочки для динамической защиты или оболочки с фитингами ISO-контейнера. Эс-