

ТРАНСПОРТНЫЕ УПАКОВОЧНЫЕ КОМПЛЕКТЫ ДЛЯ БЕЗОПАСНОГО ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ И ХРАНЕНИЯ ОТРАБОТАВШЕГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Д. А. Лисин, С. Ф. Долбищев, Л. Н. Кожжаев, А. И. Бочин, Е. В. Блохина, М. В. Тюрин, П. В. Кладов

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

На повестку дня выдвинута приоритетная задача по решению проблемы хранения и вывоза на переработку отработавшего ядерного топлива (ОЯТ) на основе транспортных упаковочных комплектов (ТУК), отвечающих современным требованиям по безопасности и по своим характеристикам не уступающим аналогичным разработкам ведущих зарубежных фирм.

Обновление существующего парка ТУК для транспортирования ОЯТ признано одной из приоритетных задач (Приказ № 238 от 22.05.03 Минатома России), во исполнение которой разработан Проект «Программы обращения с отработавшими тепловыделяющими сборками ядерных реакторов при их транспортировании на период с 2003 г. до 2015 г. (ПРОЯТ-2002)».

Целью работы является решение научно-конструкторских задач в области разработки ТУК для отработавших тепловыделяющих сборок (ОТВС) атомных энергетических установок ВВЭР-1000/1200, ВВЭР-440, БН-800 и РБМК-1000, а также вспомогательного оборудования для обращения с этими ТУК.

Все большее количество стран – и развитых, и развивающихся – сегодня приходят к необходимости начала освоения мирного атома. Сегодня в мире обозначилась тенденция, получившая название «ядерный ренессанс». Самые сдержанные прогнозы говорят о том, что в перспективе 2030 года на планете будет эксплуатироваться до 500 энергоблоков (сейчас их насчитывается более 435).

По состоянию на 31.12.2009 г. (источник МАГАТЭ), больше всего атомных электростанций (АЭС) (63 АЭС, 104 энергоблока) эксплуатируется в США. На втором месте идет Франция (58 энергоблоков), на третьем – Япония (54 блока в эксплуатации). В России эксплуатируется 10 АЭС (32 энергоблока).

Федеральная целевая программа «Развитие атомного энергопромышленного комплекса на 2007–2010 годы и на перспективу до 2015 года» ориентирована на дальнейшее развитие атомной энергетики на базе энергоблоков с реакторами типа ВВЭР, РБМК и БН.

ОЯТ ВВЭР-1000 представляет собой тепловыделяющие сборки (ТВС) в виде активной конструкции из 312 тепловыделяющих элементов (ТВЭЛ), закрепленных в каркасе. Обычно в энергетических реакторах используются ТВЭЛ в виде стержней, где топливо в виде прессованных таблеток двуокиси урана заключено в оболочку из стали или цирконие-

вого сплава. В отличие от мировых аналогов, базирующихся на прямоугольной форме, отечественные ТВС имеют шестигранное сечение.

В настоящее время проводится интенсивная работа по улучшению топливоиспользования. ТВС нового поколения для реакторов ВВЭР-1000/1200, согласно проектным данным, имеют большее начальное обогащение топлива по урану-235 – 5,1 % и большую глубину выгорания – до 70 ГВт·сут/тU.

Существующий парк ТУК не рассчитан на перевозку ОТВС с такими параметрами.

Глубина выгорания топлива определяется как отношение количества израсходованного ядерного топлива к общему количеству первоначально загруженного топливного материала, выраженное в процентах, или как отношение количества выработанной энергии к количеству загруженного топлива.

Тонна естественного урана содержит около 7 кг ^{235}U . Глубина выгорания 3500 МВт·сут/т соответствует делению 3,5 кг атомов. Однако не все продукты деления происходят от ^{235}U , ведь в реакторе накапливается ^{239}Pu , который также участвует в делении. Поэтому часть продуктов деления получается из плутония, и ^{235}U расходуется меньше, чем получается продуктов деления. Чем выше допустимая глубина выгорания, тем больше длительность кампании реактора и тем экономичнее ядерная энергетическая установка с заданным топливом. Однако большие глубины выгорания предполагают обогащенный уран, который намного дороже естественного.

Транспортирование ОТВС нового поколения для ВВЭР-1000/1200 в ТУК-13 из-за возрастания нейтронной активности ОЯТ и тепловой нагрузки потребует увеличения срока выдержки ОТВС перед транспортированием до 8–12 лет. Уменьшится вместимость ТУК, что значительно увеличит число и стоимость перевозок. Такой путь решения проблемы вывоза ОЯТ является тупиковым.

Возникла необходимость создания новых ТУК, отвечающих современным требованиям международных правил безопасности при транспортировании радиоактивных материалов.

Согласно техническому заданию ОАО «Головной институт "ВНИПИЭТ"» разработана техническая документация на ТУК для безопасного транспортирования железнодорожным транспортом в габаритах подвижного состава 02-ВМ ГОСТ 9238-83 двадцати ОТВС реактора ВВЭР-1000/1200 с начальным обо-

гашением топлива по U-235 не менее 5 %, глубиной выгорания до 70 ГВт·сут/тU и остаточным тепловыделением одной ОТВС – 2 кВт с учетом соответствующей транспортно-технологической цепочки обращения с ТУК типа ТУК-13. Срок службы ТУК-137 составляет 50 лет.

На рис. 1 представлен общий вид транспортного упаковочного комплекта ТУК-137, содержащий:

- металлический корпус, включающий днище, опору и концентрично закрепленные на днище цилиндрические обечайки с установленным на них основанием. Полость между обечайками заполнена вставкой из металла высокой плотности и теплопроводности относительно материала обечаек. Вставка закреплена между обечайками диском, подкрепленным кольцом и продольными пластинами;

- внутреннюю и наружную крышки, установленные одна над другой на основании. На внутренней крышке установлено устройство поджима;

- нейтронную защиту, установленную на наружных поверхностях внутренней крышки, днища и цилиндрической обечайке;

- ребра V-образной формы с высокой теплопроводностью, пропущенные через слой нейтронной защиты, расположенной на цилиндрической обечайке, расположенные вдоль корпуса на длине, соответствующей длине внутренней полости контейнера. Ребра установлены основанием на цилиндрической обечайке и закреплены на ней сваркой;

- демпферы, установленные на опоре и наружной крышке;

- кантовочные и опорные цапфы, установленные на корпусе:

- чехол (рис. 2), выполненный из 20 шестигранных труб, предназначенных для размещения в них ОТВС, диска нижнего, центральной трубы, четырех промежуточных поясов, диска верхнего и устройства нажимного. Шестигранные трубы расположены в

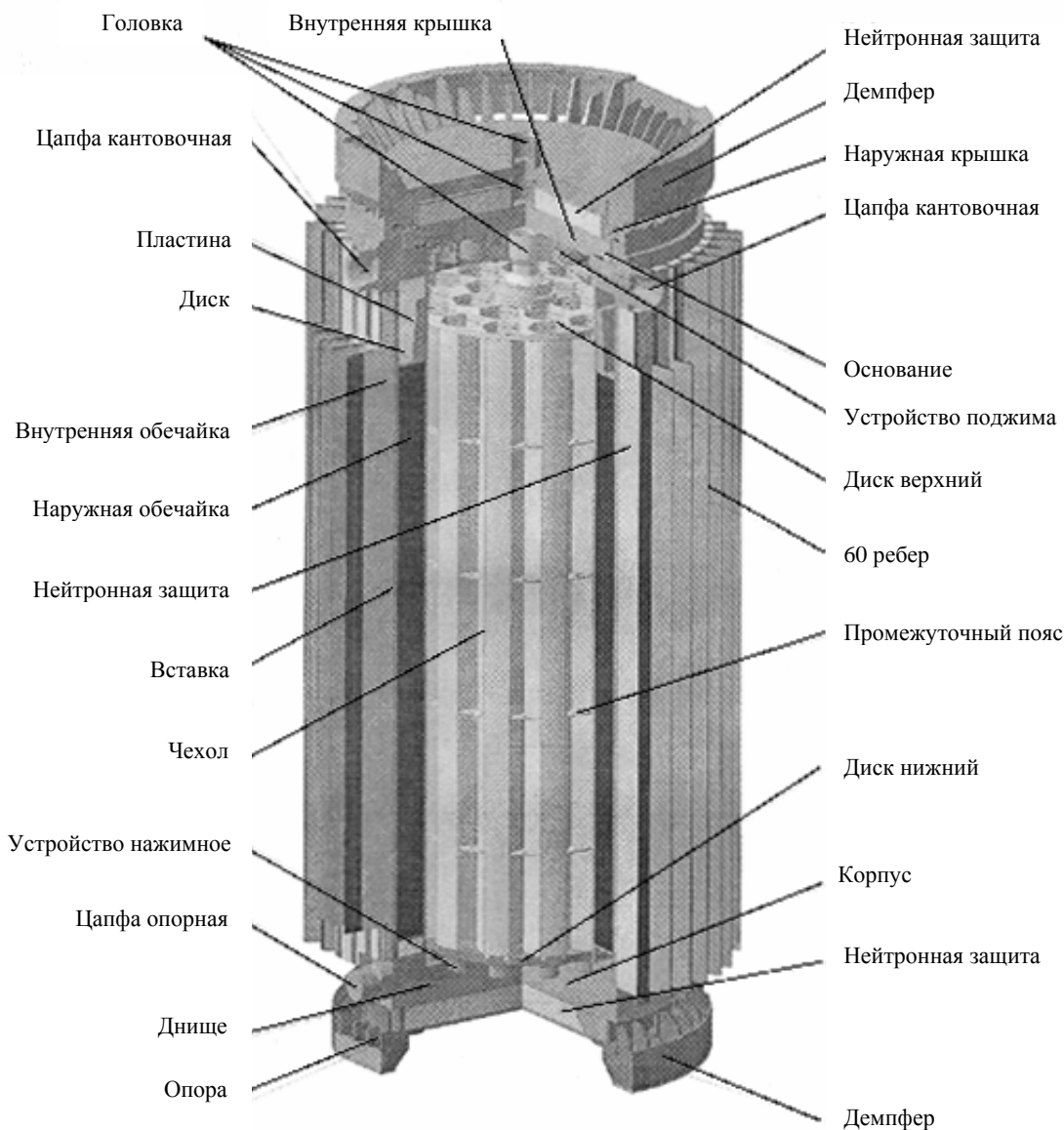


Рис. 1. Тук-137. Общий вид

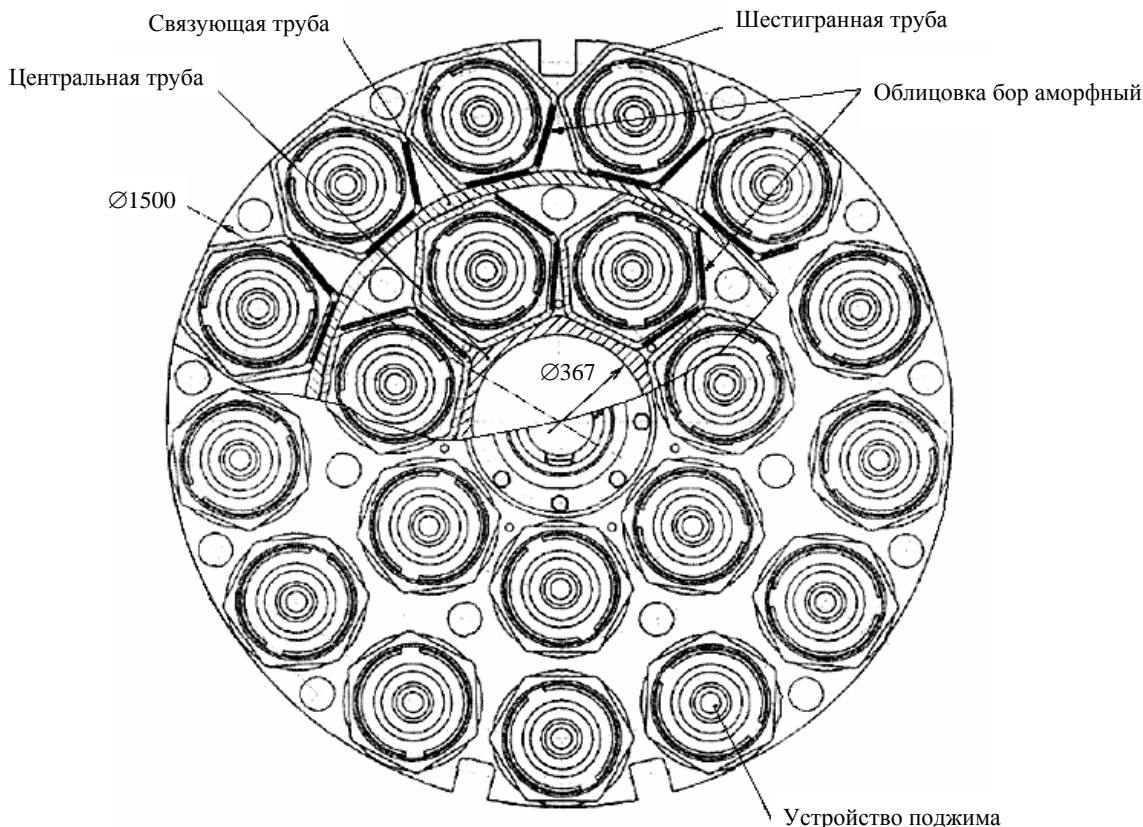


Рис. 2. Конструкция чехла

два кольцевых ряда. В каждом ряду шестигранные трубы сопрягаются друг с другом ребрами: в первом ряду размещается 7 труб, во втором – 13. С наружной стороны необходимой грани шестигранных труб на требуемой длине облицованы накладками радиационной защиты, содержащими аморфный бор.

Выполнение чехла по вышеуказанной схеме расположения шестигранных труб обеспечивает оптимальные габариты упаковки (наружный диаметр чехла – не более 1500 мм). Поверхности шестигранных труб, поверхности центральной трубы и поясов обращены гранями друг к другу, что улучшает условия отвода тепла от ОТВС. Материал чехла – алюминиевый сплав АМгб.

Накладки радиационной защиты представляют собой полые герметичные пластины, заполненные аморфным бором. Выбор данного материала обусловлен тем, что бор занимает одно из первых мест среди химических элементов по величине захвата тепловых нейтронов, которые служат возбудителями и распространителями цепной ядерной реакции.

На нижнем диске чехла установлены двадцать нажимных устройств, которые служат для поджатия и демпфирования ОТВС при транспортировке. При транспортировании ОТВС контейнер с чехлом находится в горизонтальном положении. ОТВС опираются на подпружиненные диски нажимных устройств и устройств поджима. Такая схема расположения ОТВС исключает возможность самопроизвольного их перемещения в ячейке и удары при транспортировании,

что исключает риск повреждения ОТВС при нормальных условиях транспортирования.

Разработанная конструкция чехла не имеет аналогов при перевозке ОТВС реакторов типа ВВЭР-1000 с массой топлива от 490 до 525 кг диоксида урана (обогащение до 5 %), глубиной выгорания до 70 ГВт·сут/тU и остаточным тепловыделением одной ОТВС – 2КВт.

Внутренняя цилиндрическая обечайка, днище и общее основание выполнены из коррозионно-стойкой стали, а внешняя цилиндрическая обечайка – из низколегированной стали. Выполнение внутренней обечайки, днища и основания корпуса из коррозионно-стойкой стали не требует использования антикоррозионного покрытия. Вставка из металла высокой плотности и теплопроводности выполнена из меди.

Вставка закреплена между обечайками диском, подкрепленным кольцом и пластинами, что исключает ее продольные перемещения.

Вставка выполнена из отдельных блоков, закрепленных от продольного перемещения с помощью колец, при этом зазор между блоками и наружной обечайкой заполнен порошковым наполнителем из того же материала, что и блоки. Данный вариант исполнения вставки расширяет технологические возможности изготовления корпуса контейнера.

Заполнение зазора между обечайками внутренней цилиндрической оболочки вставкой из металла высокой теплопроводности и плотности, например, медью, позволяет обеспечить:

– высокую теплопроводность оболочки (теплопроводность меди в 10–20 раз выше, чем у стали);

– эффективную защиту от гамма-излучения при существенно меньшей суммарной толщине оболочки по сравнению с монолитной стальной оболочкой (как гамма-защита медь по отношению к стали эффективней \approx в 1,5 раза).

Ребра представляют собой двухслойную конструкцию V-образной формы, внутренний слой выполнен из меди, наружный – из коррозионно-стойкой стали. Установка продольных ребер V-образной формы из материала высокой теплопроводности позволяет эффективно отвести тепло от цилиндрической оболочки и путем конвекции и излучения рассеять его в окружающей среде.

Ребра пропущены через слой нейтронной защиты, расположенной на цилиндрической обечайке. В зоне нейтронной защиты стенки ребер перфорированы пазами, расположенными в продольных рядах со смещением паза одного ряда по отношению к пазу другого ряда и тем самым исключая сквозной проход нейтронов.

Выступающие за облицовку нейтронной защиты ребра выполняют также роль демпфирующих элементов, гасящих импульсы внешних динамических нагрузок, воздействующих на контейнер, в случае возникновения нештатных ситуаций.

Ребра в виде панелей устанавливаются на наружную обечайку корпуса и закрепляются на нем при помощи сварки. Панели состоят из обечайки, на которой основанием установлены и закреплены ребра V-образной формы, скрепленные между собой пластинами, панели соединены между собой облицовкой нейтронной защиты. Количество ребер в панели зависит от ее ширины. Нейтронная защита размещена во внутренних полостях ребер и в полостях между панелями и облицовкой нейтронной защиты. Данный вариант исполнения упрощает технологию изготовления контейнера.

Облицовка нейтронной защиты выполнена из коррозионно-стойкой стали, что исключает необходимость использования антикоррозионного покрытия.

Нейтронная защита выполнена из силикоанового каучука КЛ-1505 ТУ38.103684-89.

Размещение на опоре и наружной крышке с помощью крепежных элементов демпферов обеспечивает защиту контейнера от воздействия внешних динамических нагрузок, воздействующих на контейнер в случае возникновения нештатных ситуаций.

Демпферы состоят из разновысотных косынок, связанных между собой обечайкой и торцовым кольцом. Демпферы могут быть изготовлены из коррозионно-стойкой стали, например, стали 12Х18Н10Т, что не требует использования антикоррозионного покрытия.

Герметизация каждой крышки с сопрягаемыми поверхностями основания произведена с помощью двух уплотнительных элементов, установленных в кольцевых концентрично расположенных на соответствующих поверхностях крышек канавках, и яв-

ляется двухконтурной, при этом появляется возможность контроля герметичности, обеспечиваемой каждым уплотнительным элементом, путем проверки герметичности полости между уплотнительными элементами соответствующей крышки, для чего из упомянутой полости выводится канал для подключения установки для проверки герметичности. Каждая крышка имеет узел для дистанционного соединения с грузоподъемным устройством.

Массогабаритные характеристики ТУК-137 приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Массогабаритные характеристики ТУК-137

Наименование параметра	Значение параметра
Длина (высота) ТУК, мм	6165
Наружный диаметр ТУК, мм	2770
Проходной диаметр загрузочного отверстия, мм	1510
Масса корзины, кг	4455
Масса корзины с 20 ОТВС, т	19
Масса силовой (внутренней) крышки с устройством поджима ОТВС, кг	3790
Масса наружной крышки, кг	3136
Масса контейнера с корзиной, т	110
Масса загруженного 20 ОТВС ТУК, т (масса одной ОТВС \approx 730 кг)	не более 125

В процессе проектирования ТУК-137 произведены следующие расчеты:

- радиационной и ядерной безопасности;
- тепловой;
- прочностный;
- оценочный утечек радиоактивного содержимого.

Расчет радиационной безопасности для ТУК-137 проводился методом Монте-Карло по программному комплексу С-95.

Согласно нормам НП-053-04 максимальная мощность эффективной дозы (МЭД) в нормальных условиях эксплуатации на поверхности ТУК-137 не превышает 2 мЗв/ч, в условиях исключительного использования – 10 мЗв/ч.

Расчет ядерной безопасности проводился по программному комплексу С-95 с нейтронными константами библиотеки ENDF-BVI.

Нормы НП-053-04 по ядерной безопасности для ТУК-137 с 20 ОТВС ВВЭР-1000 выполняются.

Расчеты теплового состояния ТУК проводились с использованием программного комплекса АЖАХ разработки КБ-1 ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ».

Основные результаты тепловых расчетов представлены в табл. 2.

Для расчетов прочности при аварийных падениях и при нагреве контейнера разработан ряд компьютерных моделей. Для расчетов динамического деформирования компьютерная модель включает все основные силовые элементы конструкции: обечайки, крышки, демпферы, наиболее ответственные сварные швы, фланцы, крепежные элементы.

Результаты тепловых расчетов ТУК-137

Максимальные температуры в характерных точках ТУК, °С				
условия	ТВЭЛ	внешняя прокладка	внутренняя прокладка	внешняя поверхность
Автономно	293, 1	55,3	63,8	82,7
В вагоне	298,4	57,9	64,4	82,2
В пожаре	357,3	379,9	175,7	

Проведены расчеты пяти различных вариантов падения контейнера ТУК-К с высоты $H = 9$ м на жесткую преграду: 1) осевое падение на днище ($\varphi = 0^\circ$); 2) осевое падение на крышку ($\varphi = 180^\circ$); 3) угловое падение через центр масс на днище ($\varphi = 20^\circ$); 4) угловое падение через центр масс на крышку ($\varphi = 160^\circ$); 5) боковое падение ($\varphi = 90^\circ$).

Результаты расчетов показывают, что работоспособность демпферов в целом сохраняется, все силовые сварные швы сохраняют прочность, при этом герметичность конструкции сохраняется.

При проведении расчета допустимых уровней утечек радиоактивного содержимого параметры и технические решения систем технологического и эксплуатационного назначения (устройства, обеспечивающие подачу/удаление воды, осушку внутренней полости, контроль герметичности уплотнений без вскрытия контейнера, вакуумирование и заполнение полости инертным газом, измерение температуры внутри контейнера) взяты с известных технических решений (ТУК-13).

Результаты расчета утечек для нормальных и аварийных условий перевозки приведены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты расчета утечек радиоактивного содержимого ТУК-137

Радионуклид	Потери радиоактивного содержимого, Бк	
	За 1 час	За 1 неделю
Криптон-85	$2,544 \cdot 10^5$	$1,861 \cdot 10^{10}$
Тритий	$1,365 \cdot 10^4$	$9,99 \cdot 10^8$
Цезий-134	$4,871 \cdot 10^3$	$2,523 \cdot 10^7$
Цезий-137	$7,991 \cdot 10^3$	$4,139 \cdot 10^7$
Сумма по всем радионуклидам	$2,809 \cdot 10^5$	$1,968 \cdot 10^{10}$

Потери радиоактивного содержимого из ТУК, которые могут иметь место в нормальных и аварийных условиях перевозки, меньше допустимых значений. Это указывает на достаточность конструктивных решений по обеспечению соответствия ТУК-137 требованиям «Правил НП-053-04» по герметичности.

Основные технические характеристики ТУК-137 приведены в табл. 4.

Технические характеристики ТУК-137

Наименование параметра	Значение параметра
Тип упаковки	B(U)
Вместимость чехла, количество загружаемых ОТВС, шт.	20
Мощность остаточного энерговыделения, кВт	не более 40
Температура оболочек ТВЭЛов при транспортировании, °С	не более 300
Мощность эквивалентной дозы излучения при нормальных условиях эксплуатации, мЗв/ч (мбэр/ч): 1) на боковой поверхности ТУК на расстоянии 2 м от боковой поверхности ТУК; 2) на поверхности днища на расстоянии 2 м от днища; 3) на поверхности наружной крышки на расстоянии 2 м от поверхности наружной крышки	0,36 (36) 0,1 (10) 0,92 (92) 0,19 (19) 0,23 (23) 0,04(4)
Температура легкодоступной поверхности ТУК: 1) автономно с учетом инсоляции; 2) при транспортировании в вагоне, °С	81,0(78) 84,8 (84,4)
Теплоноситель в контейнере	инертный газ (гелий)
Нейтронная защита	силоксановый каучук КЛ-1505
Коэффициент перегрузки в аварийных ситуациях: – на контейнер; – на корзину с ОТВС	40–130 50–140

Согласно техническому заданию ОАО «Головной институт "ВНИПИЭТ"» разрабатывается техническая документация на ТУК для безопасного транспортирования железнодорожным транспортом тепловыделяющих сборок первого, второго и третьего поколений, поставляемых на АЭС для эксплуатации в реакторах ВВЭР-440. Глубина выгорания топлива не более 62,4 ГВт·сут/тU, начальное обогащение топлива по урану-235 (номинальное) не более 4,87 масс. %. Время выдержки ОТВС до загрузки их в ТУК должно быть не менее 5 лет.

Массогабаритные и технические характеристики ТУК ВВЭР-440 представлены в табл. 5 и 6 соответственно.

Согласно техническому заданию ОАО «Головной институт "ВНИПИЭТ"» разрабатывается техническая документация на ТУК для безопасного транспортирования железнодорожным транспортом 144 ампул (72 ОТВС) с ОЯТ реактора РБМК-1000 с начальным обогащением топлива по U-235 до 3,0 масс. %, глубиной выгорания до 37 ГВт·сут/тU и максимальным тепловыделением 0,054 кВт.

ОЯТ активной зоны РБМК-1000 представляет собой ТВС круглого сечения диаметром 79 мм. Общая длина ТВС РБМК составляет 10 м с топливной частью 7 м, масса ТВС – около 185 кг. ТВС РБМК – безчехловая ТВС.

Таблица 5

Массогабаритные характеристики ТУК-440/36

Наименование параметра	Значение параметра
Длина (высота) ТУК, мм	4858
Наружный диаметр ТУК, мм	2410
Проходной диаметр загрузочного отверстия, мм	1240
Масса корзины с 36 ОТВС, т	12
Масса силовой (внутренней) крышки с устройством поджима ОТВС, кг	2580
Масса наружной крышки, кг	2500
Масса загруженного 36 ОТВС ТУК, т (масса одной ОТВС \approx 220 кг)	не более 82

Таблица 6

Технические характеристики ТУК-440/36

Наименование параметра	Значение параметра
Тип упаковки	В(У)
Вместимость чехла, количество ОТВС, шт.	36
Глубина выгорания ОЯТ, ГВт-сут/тU	62,4
Обогащение по U-235, %	4,87
Выдержка на АЭС, лет	5
Теплоноситель в контейнере	инертный газ (гелий)
Охлаждение контейнера	естественное
Нейтронная защита	силоксановый каучук КЛ-1505

Пучок ТВЭЛов состоит из 18 ТВЭЛов. ТВЭЛы конструктивно представляют собой трубки из сплава циркония, заполненные таблетками спеченного диоксида урана с оксидом эрбия, герметизированные заглушками посредством сварки. Применение ТВЭЛов с оксидом эрбия, интегрированным в топливо, позволило улучшить энергораспределение по реактору, повысить безопасность и технико-экономические характеристики активных зон реакторов РБМК.

Согласно техническому заданию Головного института «ВНИПИЭТ» разрабатывается техническая документация на ТУК для безопасного транспортирования железнодорожным транспортом 54 ОТВС без пеналов или 36 пеналов с ОТВС (урановые ОТВС и ОТВС с МОКС-топливом) реактора БН-800. Максимальное (локальное) выгорание топлива 9,2 % т. а.

ОЯТ активной зоны БН-800 представляет собой ТВС шестигранного сечения (размер «под ключ» не более 104 мм), внутри которых установлен пучок ТВЭЛов, состоящий из 127 элементов. ТВЭЛы снаряжены топливными таблетками из диоксида урана, обогащенного ураном-235 в центральной части, и таблетками из обедненного диоксида урана в торцевых частях. ТВС зоны воспроизводства по конструк-

тивному оформлению и внешним размерам идентична ТВС активной зоны и отличается от ТВС активной зоны количеством (37 шт.) и конструкцией тепловыделяющих элементов. ТВЭЛы зоны воспроизводства снаряжены таблетками из обедненного диоксида урана.

Массогабаритные и технические характеристики унифицированного ТУК реакторов РБМК-1000 и БН-800 представлены в табл. 7.

Таблица 7

Массогабаритные характеристики ТУК реакторов РБМК-1000 и БН-800

Наименование параметра	Значение параметра
Длина (высота) ТУК, мм	5500
Наружный диаметр ТУК, мм	2680
Проходной диаметр загрузочного отверстия, мм	1500
Высота внутренней полости, мм	4200
Масса силовой (внутренней) крышки, кг	3400
Масса наружной крышки, кг	3500
Масса контейнера (с подставкой), т	не более 82
Высота подставки, мм	285
Масса загруженного ТУК РБМК-1000 (БН-800), т	не более 95

Разработка ТУК производится на основе унифицированного подхода к проектированию и изготовлению, что является обоснованным, так как требования к техническим характеристикам всех ТУК практически идентичны.

Согласно концептуальным положениям в РФЯЦ-ВНИИЭФ разработано и согласовано с ГХК техническое задание. Разработан план-график со сроками выполнения работ. В настоящее время разработаны технический проект и конструкторская документация на ТУК-137, которая сопровождается проведением необходимых расчетов: на радиационную и ядерную безопасность, тепловой, прочностный и утечек радиоактивного содержимого (на герметичность).

Техническая документация на ТУК-137 согласовывается с техническими службами завода РФЯЦ-ВНИИЭФ.

ТУК-137 предназначен для безопасной перевозки 20 ОТВС реакторов ВВЭР-1000. Каждая ОТВС с массой топлива от 490 до 525 кг диоксида урана (обогащением до 5,1 %), глубиной выгорания до 70 ГВт-сут/тU, остаточным энерговыделением до 2 кВт, выдержка 6 лет (для выдержки 4 года может быть использован неполный вариант загрузки ТУК-137, например, 7 или 13 ОТВС). Транспортирование ТУК-137 предполагается производить в модифицированном вагоне-контейнере типа ТК-13.

По техническим и эксплуатационным характеристикам ТУК-137 в полном объеме отвечает требо-

ваниям «Правил безопасности при транспортировании радиоактивных материалов НП-053-04», предъявляемым к упаковкам типа В(U) с делящимися материалами, и требованиям «Правил безопасной перевозки радиоактивных материалов МАГАТЭ».

ТУК-137 может быть использован для транспортирования ОЯТ реакторов типа ВВЭР-1000 российских и зарубежных АЭС, построенных по российским проектам.

Срок службы ТУК-137 составляет 50 лет.

По совокупности основных технических характеристик ТУК-137 не имеет аналогов среди как отечественных, так и зарубежных ТУК, предназначенных для безопасного транспортирования ОТВС реакторов типа ВВЭР-1000.

Литература

1. Донской Е. Н., Ельцов В. А., Житник А. К. Метод Монте-Карло во ВНИИЭФ // Вопросы атомной науки и техники. Сер. Математическое моделирование физических процессов. Вып. 2. 1993. С. 61–64.

2. ГОСТ 9238-83. Габариты приближения строений и подвижного состава, железных дорог колеи 1520 (1524) мм.

3. ГОСТ 15150-69. Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды.

4. ГОСТ 22901-78. Комплекты упаковочные транспортные с отработавшими тепловыделяющими сборками ядерных реакторов. Типы и основные параметры.

5. ГОСТ 26013-83. Комплекты упаковочные транспортные для отработавших тепловыделяющих

сборок ядерных реакторов. Общие технические требования.

6. ГОСТ Р 51964-2022. Упаковки отработавшего ядерного топлива. Типы и основные параметры.

7. МАГАТЭ (редакция 2005 года) № ST-1. Правила безопасной перевозки радиоактивных материалов.

8. НП-031-01. Общие положения обеспечения безопасности атомных станций.

9. НП-053-04. Правила безопасности при транспортировании радиоактивных материалов.

10. НП-058-04. Безопасность при обращении с радиоактивными отходами. Общие положения.

11. НП-061-05. Правила безопасности при хранении и транспортировании ядерного топлива на объектах использования атомной энергии.

12. НРБ-99/2009 СанПиН 2.6.1 2523-09. Нормы радиационной безопасности.

13. ПН АЭГ-7-002-86. Нормы расчета на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок.

14. ПН АЭГ-7-009-89. Оборудование и трубопроводы атомных энергетических установок. Сварка и наплавка, основные положения.

15. ПН АЭГ-7-010-89. Оборудование и трубопроводы атомных энергетических установок. Сварные соединения и наплавки, правила контроля.

16. ПБЯ-06-08-77. Правила ядерной безопасности при транспортировании отработавшего ядерного топлива.

17. ПБЯ-06-09-09. Правила ядерной безопасности при хранении и транспортировании ядерно-опасных делящихся материалов.

18. РД-95-10550-2000. Упаковочные комплекты для перевозки и хранения отработавшего ядерного топлива с использованием двухцелевых контейнеров. Общие технические требования по безопасности.