

Хранение и захоронение отходов. Актуальной является минимизация отходов. Количество отвержденных отходов будет сокращаться за счет оптимизации переработки, включая выделение широкой номенклатуры нуклидов при фракционировании отходов при переработке топлива, развития гибкой технологии включения отходов в матрицы и разработки матриц разного назначения. Для фракционированных долгоживущих радионуклидов необходимо использовать особо стойкие матрицы, близкие по свойствам к природным минералам. Одновременно следует разрабатывать технологию окончательного удаления отходов, включая трансмутацию и захоронение при условии радиационно-миграционной эквивалентности.

Как говорилось, на пути развития атомной отрасли страны имеются препятствия не только технического, но и законодательного характера. Законодательство по использованию атомной энергии и радиационной безопасности стало создаваться только в 90-е годы. Оно является неполным, и уже сейчас видна необходимость его изменений и дополнений.

В течение 1998 — 2000 гг. проделана большая работа по корректировке законодательной базы. В настоящее время Государственная дума должна приступить в первом чтении к рассмотрению пакета из четырех законов, новых и дополнительных — законы «О лизинге», «Об атомной энергии», «Об охране окружающей природной среды», «О радиационно-реабилитационных мероприятиях». Принятие этих документов позволит создать не только надежную основу для развития всего комплекса замыкания ядерного топливного цикла, но и решить экологические проблемы. Кампания по дискредитации Минатома интенсивно развернулась в связи с инициативой расширения участия в мировом рынке обращения с отработавшим топливом. Необходима активная наступательная позиция в объяснении экологической значимости системы обращения с топливом для страны в целом и ее отдельных регионов, в разъяснении безопасности и экологической целесообразности создаваемой наукоемкой системы, ее необходимости для поддержания научно-технического потенциала страны и устойчивости.

Не следует сегодня выходить за рамки международных стандартов по обращению с отработавшим топливом, продуктами его регенерации и отходами. Необходимо только понимать, что сроки их возврата определяются в межправительственных соглашениях, так как вопросы окончательного захоронения радиоактивных отходов не решены в мире, что и является идеологической основой для негативного отношения к их невозврату в страны-поставщики.

ДЛИТЕЛЬНОЕ ХРАНЕНИЕ И ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ ОТРАБОТАВШЕГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА

*Козлов Ю.В., Сафутин В.Д., Тихонов Н.С., Токаренко А.И., Спичев В.В.
(ВНИПИЭТ)*

Хранение отработавшего ядерного топлива. По первоначально принятым решениям в отношении топливного цикла не предусматривалось длительное хранение отработавшего ядерного топлива. Однако из-за отсутствия вывоза отработавшего топлива РБМК с АЭС и задержкой строительства завода РТ-2 для переработки топлива ВВЭР-1000 длительность мокрого хранения топлива РБМК достигла уже 27 лет, ВВЭР-1000 — около 20. Опыт и выполненные исследования подтверждают надежность этого метода при хранении на срок 30 лет, однако дальнейшее продление срока требует обоснования.

Мокрые хранилища на АЭС с РБМК будут заполнены в 2004—2008 гг., хранилище топлива ВВЭР-1000 на Горно-химическом комбинате даже с учетом реконструкции и повышения вместимости с 6 тыс. т (по урану) до 9 тыс. т может быть заполнено между 2011 и 2015 гг.

Необходим переход к сухому хранению, имеющему преимущества по сравнению с мокрым: улучшение условий, обеспечивающих целостность ТВЭЛОВ, невозможность протечек радиоактивной воды, упрощение обслуживания, особенно при охлаждении естественной конвекцией, уменьшение доли электрооборудования, сокращение количества радиоактивных отходов, снижение дозы облучения эксплуатационного персонала. При сухой технологии легче осуществить модульный принцип ввода хранилища в эксплуатацию, уменьшаются сроки строительства, эксплуатационные затраты, упрощается процедура снятия с эксплуатации.

В России нет опыта длительного сухого хранения отработавшего топлива. По данным зарубежного опыта отработавшее топливо энергетических реакторов после мокрого хранения рекомендуется хранить в инертной атмосфере при 380—410 °С. ВНИИНМ для отечественного топлива после 5-летнего охлаждения ТВС в бассейне предварительно рекомендует 330 °С и инертную атмосферу. Обоснование безопасного длительного хранения и определение предельных сроков требуют дальнейшего экспериментально-расчетного подтверждения. В рамках программы обоснования сроков сухого хранения, подготовленной рабочей группой экспертов Ассоциации "Технологии и материалы атомной науки и техники", сформулированы первоочередные работы в этом направлении.

В настоящее время рассматриваются три варианта сухих хранилищ: железобетонный массив, металлобетонный контейнер и хранилище скважинного типа.

К проекту каждого сухого хранилища предъявляются следующие требования:

сохранность отработавшего топлива в течение не менее 50 лет;

возможность извлечения пеналов с отработавшим топливом для обследования, в том числе по выполнению гарантий МАГАТЭ;

возможность в случае необходимости отправки отработавшего топлива за пределы площадки хранилища в любой момент времени;

исключение возможности воздействия атмосферного воздуха на конструкционные материалы ТВС пеналов;

долговечность строительных конструкций в течение не менее чем 100 лет;

пассивный способ отвода тепла;

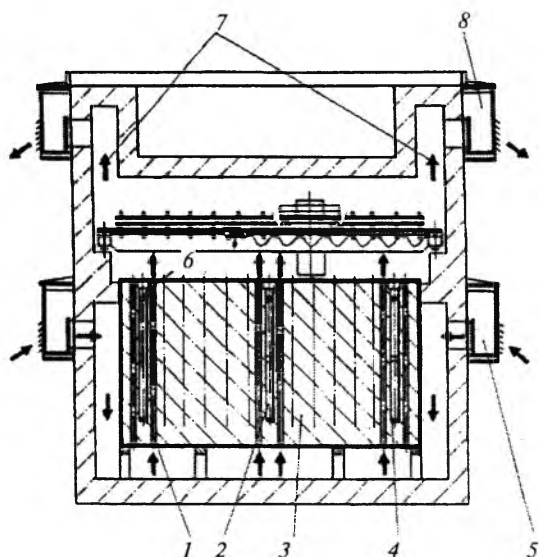
возможность очистки от загрязнений поверхностей теплоотвода в процессе эксплуатации;

устойчивость к внешним воздействиям (падению самолета, воздушной ударной волне, летящим предметам, землетрясению, урагану, смерчу);

возможность удобной и быстрой идентификации источника появления радиоактивных загрязнений;

контроль в процессе хранения;

минимальные затраты на сооружение.



Р и с. 1. Принципиальная схема сухого хранилища отработавшего ядерного топлива: 1 — тяговая труба; 2 — пенал; 3 — массив; 4 — гнезда хранения; 5 — воздухозаборное устройство; 6 — пробка; 7 — направление циркуляции воздуха; 8 — воздухосбросное устройство

Сухое хранилище типа железобетонного массива (рис.1) в наибольшей мере удовлетворяет указанным требованиям. Хранение топлива предусматривается в специальных гнездах-шахтах диаметром 700 мм, в которых в два яруса размещаются герметичные пеналы со сборками. Диаметр пеналов 630 мм, высота 4000 мм (для топлива РБМК) или 5000 мм (ВВЭР-1000). В пенале разме-

шается 31 пучок твэлов РБМК или 3 ТВС ВВЭР-1000. В массиве между шахтами имеются тяговые трубы, через которые циркулирует охлаждающий воздух и отводится тепло. Охлаждающий атмосферный воздух поступает через воздухозаборные устройства в боковых стенах хранилища и далее в помещение под железобетонным массивом, выполняющее функции распределительного коллектора. Нагретый в тяговых трубах воздух поднимается в зал хранилища и далее выходит в окружающую среду через воздухооборные устройства, расположенные на крыше.

Отделение хранения, рассчитанное на прием отработавшего топлива АЭС России и Украины (рис. 2), состоит из восьми одинаковых отсеков. Размер каждого 32х48х13,7 м с 1305 вертикальными гнездами. Хранилище может быть построено в виде отдельных модулей.

Этот вариант представляет собой надежный, экологически предсказуемый и безопасный способ хранения, при котором обеспечивается многобарьерная защита окружающей среды, необходимая долговечность сооружения, возможность восприятия всех видов внешних воздействий природного и техногенного происхождения, безопасность и удобство работы персонала.

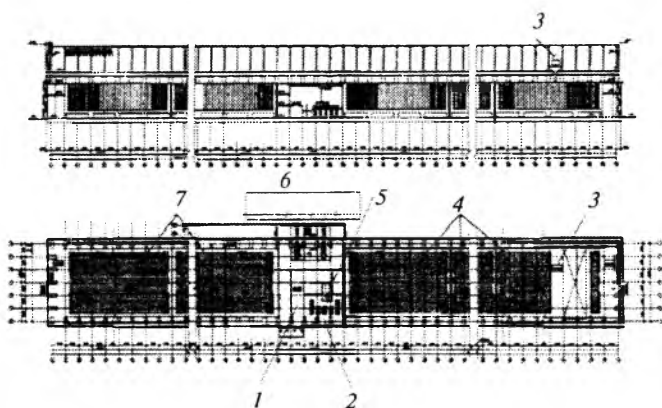
В железобетонном массиве предусмотрена система выявления разгерметизирующегося пенала и в случае аварии очистка сбрасываемого в атмосферу воздуха. Система основана на отборе проб воздуха из гнезд хранения пеналов.

Преимуществом этого типа хранилища является также высокая плотность размещения топлива (2,2 т/м²), недостатком — необходимость значительных начальных капиталовложений.

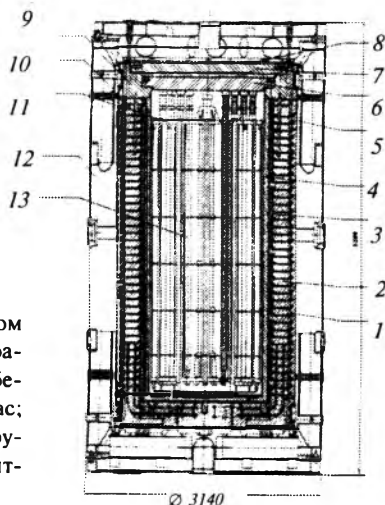
Хранилище на базе металлобетонного контейнера (рис. 3) — более дешевое сооружение по сравнению с железобетонным массивом. В нем отсутствует отделение перегрузки топлива из контейнеров в пеналы для хранения. Однако существующая конструкция контейнера не обеспечивает мировой уровень герметичности при хранении (10^{-7} — 10^{-8} м³·Па/с). Недостатком также является значительная стоимость контейнеров, в результате чего общие капитальные затраты превышают затраты на размещение в массиве почти в 2 раза.

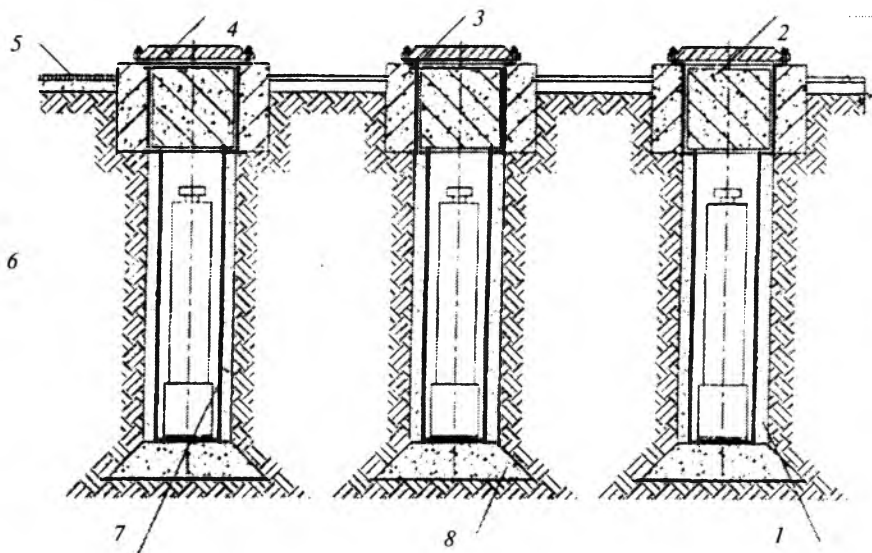
Скважинный вариант (сухие колодцы, пробуренные в земле, облицованные бетоном и нержавеющей сталью) (рис. 4) представляется перспективным, хотя и наименее проработанным. По этому варианту радиационная защита обеспечивается окружающим слоем грунта и крышкой с герметичной прокладкой. Остаточное

Р и с. 3. Транспортный упаковочный комплект с контейнером двухцелевого назначения для хранения и транспортирования отработавшего топлива РБМК-1000: 1 — наружная обечайка; 2, 10 — бетон; 3 — силовой стакан; 4 — внутренний стакан; 5 — армокаркас; 6 — внутренняя крышка; 7 — наружная крышка; 8 — герметизирующий лист; 9 — комингс; 11 — чехол для ампул; 12 — защитно-демпфирующий кожух; 13 — ампула с пучком твэлов



Р и с. 2. Хранилище отработавшего ядерного топлива в виде железобетонного массива: 1 — склад порожних пеналов; 2 — отделение удаления твердых отходов; 3 — перегрузочная машина; 4 — отсеки хранения; 5 — система контроля герметичности пеналов; 6 — отделение приемки; 7 — отсеки хранения





Р и с. 4. Скважинный вариант сухого хранилища: 1 — глинистый раствор; 2 — бетонная пробка в стальной обойме; 3 — железобетонный оголовок; 4 — чугунная крышка; 5 — дорожное покрытие; 6 — песчаный грунт; 7 — стальная труба; 8 — бетонное основание

тепло рассеивается в атмосферу через грунт. Металлические трубы диаметром 820 мм, толщиной стенок 8 мм, длиной 8 м с приваренным днищем диаметром 900, толщиной 10 мм устанавливаются в пробуренные скважины диаметром 1000 мм. Над трубой устанавливается бетонное основание размером 2х2 м и толщиной 1,5 м. В гнездо бетонного основания, облицованное нержавеющей сталью, устанавливается бетонная защитная пробка, которая закрывает трубы, загруженные пенами с отработавшим топливом.

По этому варианту сохраняется отделение перегрузки, составляющее значительную долю капитальных затрат на сооружение. Большая площадь шахтного поля ~ 60 га даже при шаге 5х10 м вызовет неудобства и повышенные эксплуатационные затраты при обслуживании. Необходимы обоснование температурного режима хранения, шага размещения скважин, организации технологического контроля, антикоррозионных мероприятий и др., которые могут повлиять на стоимость хранения.

Транспортирование, безопасность. Нормы и правила безопасности при транспортировании отработавшего ядерного топлива (соответствие стандартам МАГАТЭ). Безопасность перевозок ядерных делящихся материалов обеспечивается системой государственного регулирования, основанной на действующих законах и правилах, обязательном лицензировании предприятий, осуществляющих отправку и приемку радиоактивных веществ и ядерных материалов, и перевозчиков; системе предупреждения аварий, сопровождении и охране транспортных средств и грузов, системе учета и контроля, системе безопасности на самих транспортных средствах.

Главный нормативный документ, регламентирующий безопасность перевозки ядерных материалов железнодорожным, автомобильным и морским транспортом, — Основные правила безопасности и физической защиты при перевозке ядерных материалов (ОПБЗ-83). Эти правила распространяются на перевозку ядерных материалов.

Конкретные условия определяются федеральными правилами перевозки опасных грузов, действующими на каждом виде транспорта. Требования правил в целом соответствуют документам ООН по перевозке опасных грузов и соответствующим правилам международных транспортных организаций (конвенция АДР, кодекс ИМО, правила ВОПОГ, ДОПОГ и др.).

Требования по физической защите грузов ядерных материалов при перевозках определяются Правилами по физической защите ядерных материалов, ядерных установок и пунктов хранения, которые разработаны на основании Конвенции по физической защите ядерных материалов (ИНФЦИРК/274) и Рекомендаций МАГАТЭ по физической защите ядерных материалов (ИНФЦИРК/225).

Упаковки по железной дороге перевозят в специальных вагонах-контейнерах. Вагоны-контейнеры формируются в эшелон, в состав которого входят также вагоны с сопровождающим персоналом и охраной и вагоны прикрытия. Эшелон движется по особому графику, под постоянным контролем транспортных органов на маршруте.

Имеется опыт хранения и перевозки отработавшего топлива транспортных ЯЭУ на специальных технических судах флота и транспортирования партии упаковок с отработавшим топливом исследовательского реактора из порта Дудинка в порт Мурманск на грузовом судне класса 2.

Таким образом, условия перевозок ядерных материалов в России соответствуют стандартам МАГАТЭ.

Основные требования к упаковочным комплектам и упаковкам. Основными отечественными нормативными документами, регламентирующими требования к конструкции упаковочных комплектов и упаковок для перевозки отработавшего ядерного топлива, кроме ОПБЗ-83, являются:

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

ГОСТ 26013-83. Комплекты упаковочные транспортные с отработавшими тепловыделяющими сборками ядерных реакторов. Общие технические требования;

Правила ядерной безопасности при транспортировании отработавшего ядерного топлива (ПБЯ-06-08-77) и др.

Помимо установленных правилами и стандартами норм и количественных критериев, при разработке упаковочных комплектов принимаются во внимание и такие важные для безопасности параметры, как температура оболочек ТВЭЛов и температура элементов системы герметизации.

Оценка облучения населения и персонала при транспортировании отработавшего ядерного топлива. Оценка риска при транспортировании. При транспортировании отработавшего ядерного топлива неизбежно воздействие излучения на персонал, принимающий участие в перевозке и работах, связанных с перевозкой, а также на население по маршруту перевозки. Современная система ограничения дозовых нагрузок обеспечивает безопасность для персонала и населения. Вместе с тем остаются актуальными исследования, направленные на оценку возможного облучения персонала и населения и риска транспортирования.

Оценки коллективной дозы облучения населения за счет прямого излучения от проходящих поездов с упаковками и излучения радиоактивных веществ в результате допустимых утечек из упаковок в нормальных условиях показывают, что коллективная доза облучения населения невелика, не превышает коллективную дозу облучения, формируемую, например, за 10 перелетов Москва—Сочи, совершаемых самолетом со 100 пассажирами на борту. Мощность дозы излучения в местах пребывания персонала может составлять от 0,1 до 2 мбэр/ч, т.е. персонал за один рейс, длящийся 5 сут, может получить дозу от 12 до 240 мбэр. Коллективная доза облучения при проектной аварии с транспортным упаковочным контейнером составит $2,9 \cdot 10^{-2}$ чел·бэр.

В некоторых реальных ситуациях условия аварии могут превысить проектные. События такого рода крайне маловероятны, принятие их параметров в качестве проектных в предписываемом правилами детерминистском подходе к обоснованию безопасности приведет к существенному ограничению вместимости упаковок и ухудшению экономических показателей транспортирования.

При расчетном анализе радиационный риск, связанный с транспортированием радиоактивных веществ, разделяется на следующие категории: обусловленный нормальными условиями транспортирования, являющийся следствием аварии, на которую рассчитана (проектная авария) и не рассчитана упаковка (запроектная авария). При оценке риска проводится детальный анализ маршрута следования транспорта с ядерными материалами с определением вероятности аварийных ситуаций и степени их тяжести на каждом виде транспорта.

Сбор и анализ этой информации проводится ВНИПИЭТом во взаимодействии с предприятиями министерств транспорта и путей сообщения.

Риск населения от деятельности, связанной с транспортированием отработавшего топлива железнодорожным транспортом как при нормальных условиях, так и аварийных ситуациях, не превышает $2 \cdot 10^{-3}$ чел./год, индивидуальный риск населения, проживающего в зоне потенциального радиационного воздействия, не превышает $1 \cdot 10^{-9}$ 1/год, что значительно ниже риска от природных явлений и привычных видов человеческой деятельности (пользование транспортными средствами, просмотр телевизионных передач, рыбная ловля и др.).

Организация работ по предупреждению аварий и ликвидации их последствий. До настоящего времени в России не было аварий и серьезных инцидентов при транспортировании ядерных материалов и, в частности, отработавшего топлива. Для оперативного принятия мер на случай транспортных аварий при перевозке ядерных материалов предприятиями, участвующими в перевозке, и государственными органами разрабатываются планы предупреждения аварий и ликвидации их возможных последствий. План доводится до федеральных и региональных органов власти, кроме того, грузоотправители и перевозчики имеют собственные планы действий и процедуры готовности на случай аварии, а также аварийные карточки на каждый вид груза.

Для реализации противоаварийных планов создана система региональных аварийно-технических центров Минатома РФ, осуществляющих постоянный контроль за перевозками ядерных материалов по подведомственной им территории и оперативное реагирование в случае аварии. Такие центры имеют в своем составе персонал, прошедший подготовку по действиям в случае аварии, они оснащены соответствующим оборудованием и техническими средствами. Специальные аварийные бригады имеются также на крупных предприятиях ядерного топливного цикла. В случае необходимости к ликвидации последствий аварии могут быть привлечены силы и средства Министерства по чрезвычайным ситуациям.

В рамках действующей в Минатоме России системы контроля безопасности предприятий и организаций в целях обеспечения единой технической политики создан Ситуационно-кризисный центр, который разрабатывает проект комплексной отраслевой системы связи, учитывающий как используемые в настоящее время виды и средства связи, так и технические требования к системе связи, включая систему контроля безопасности транспортировки ядерных материалов, основанную на спутниковой системе слежения за транспортными средствами с оповещением в случае аварии.

Первичное определение степени опасности радиационной аварии и выполнение первоочередных работ проводится сопровождающим груз лицом в соответствии с аварийной карточкой на перевозку радиоактивного материала.

Требования и практика обоснования безопасности, лицензирования и сертификации упаковок. Законодательством России, действующими федеральными нормами по транспортированию отработавшего топлива и нормативной документацией Федерального надзора России по ядерной и радиационной безопасности (Госатомнадзор России) установлены основные положения по безопасности при обращении с ядерными материалами. Одним из главных требований является обязательное лицензирование деятельности предприятий, выполняющих как проектно-конструкторские работы, так и работы по изготовлению, строительству, монтажу и эксплуатации объектов и оборудования.

Для непосредственного выполнения перевозок транспортные компании (перевозчики) должны получить лицензию Госатомнадзора России, дающую право осуществлять перевозки по территории России, а также иметь сертификаты-разрешения на конструкцию упаковок и перевозку, которые выдаются государственным компетентным органом — Министерством Российской Федерации по атомной энергии. Порядок получения разрешений на перевозки определен Временным положением о порядке выдачи сертификатов-разрешений ПВСР-92 с дополнениями 1, 2 и 3.

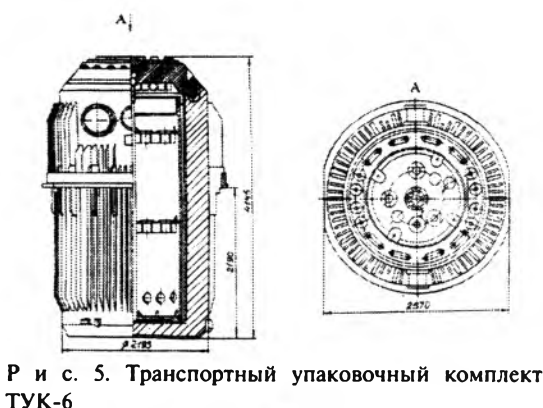
Надзор за безопасностью перевозок и согласование сертификатов-разрешений выполняет Федеральный надзор России по ядерной и радиационной безопасности и Министерство здравоохранения России.

Работа над новыми российскими правилами была начата еще в 1988 г., однако по различным причинам приостанавливалась, затем снова возобновлялась и до сих пор не завершена. В 1996 г. рабочей группой из представителей заинтересованных предприятий, федераль-

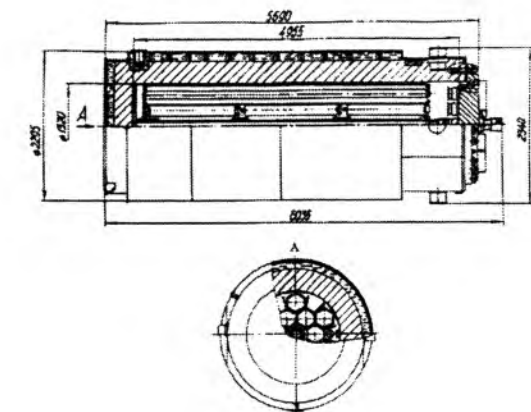
ных регулирующих и исполнительных органов под руководством Госатомнадзора России разработана согласованная редакция Правил безопасной перевозки радиоактивных материалов ПБТРМ-97. После введения правил предполагалось, что все ведомственные правила и нормы, в первую очередь, правила перевозок опасных грузов будут приведены с ними в соответствие. В январе 1997 г. проект правил был передан в Госатомнадзор для принятия и введения в действие. Однако до сих пор решение о введении правил не принято и в XXI век Россия войдет со старыми правилами.

Отсутствие современных федеральных правил безопасной перевозки радиоактивных материалов недопустимо, так как ведет к снижению безопасности перевозок. В настоящее время Госатомнадзор России доработал проект указанных правил и разослал их на согласование.

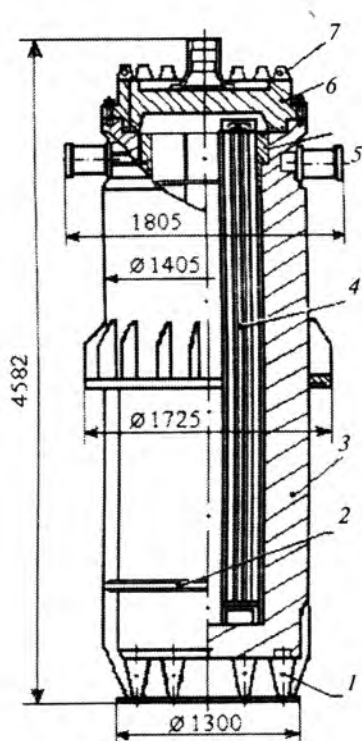
Конструкции упаковочных комплектов и транспортных средств для отработавшего ядерного топлива. Опыт эксплуатации. Отработавшее топливо транспортируют в стране уже в течение 25 лет. На смену первым отечественным вагонам-контейнерам ТК-НВ и ТК-АМБ, которые создавались до разработки национальной нормативно-технической документации и без учета мирового опыта, в конце 70-х — начале 80-х гг. появились новые вагоны-контейнеры: ТК-6, ТК-10, ТК-11 для отработавшего топлива ВВЭР-440,-1000, РБМК соответственно. В связи с отказом от переработки топлива РБМК вагоны-контейнеры ТК-11 стали использовать для перевозки на завод РТ-1 топлива БН-350 и -600. Для топлива ВВЭР-1000 в середине 80-х гг. создан более совершенный вагон-контейнер ТК-13, вагон-контейнер ТК-10 снят с производства. Эскизы основных типов контейнеров, эксплуатирующихся в настоящее время, приведены на рис. 5—7.



Р и с. 5. Транспортный упаковочный комплект ТУК-6



Р и с. 6. Транспортный упаковочный комплект ТУК-13В (ТУК-13/1В)



Р и с. 7. Транспортный упаковочный комплект ТУК-18: 1 — опора—конусный амортизатор; 2 — кольцо-амортизатор; 3 — корпус; 4 — чехол для отработавших ТВС; 5 — выемная часть; 6 — крышка; 7 — амортизирующее ребро

Согласно концепции, принятой в самом начале развития работ по транспортированию отработавшего топлива, предусматривается использование специальных вагонов, предназначенных только для одного конкретного типа контейнера. При таком подходе вагон и контейнер образуют единый комплекс — вагон-контейнер. Вагоны-контейнеры принадлежат заводам, которые обеспечивают постоянный контроль за их состоянием, проводят регулярное техническое обслуживание, ремонт согласно разработанным программам обеспечения качества транспортирования отработавшего топлива.

Для перевозки отработавшего топлива разработаны и изготовлены 16 вагонов-контейнеров ТК-6. В настоящее время один контейнер выведен из эксплуатации вследствие значительного числа дефектов в корпусе. ТК-6 относится к контейнерам первого поколения. Его безопасность не была обеспечена в полной мере конструкцией, недостатки конструкции компенсируются в процессе эксплуатации реализацией организационно-технических мероприятий.

Вагоны-контейнеры ТК-6 в зависимости от года изготовления находятся в эксплуатации от 13 до 21 года. Эксплуатационный срок службы для них определен заводом-изготовителем в 30 лет, и вывод из эксплуатации будет осуществляться в 2008 — 2015 гг. Количества вагонов-контейнеров ТК-6 при нынешних объемах перевозок и с учетом постоянного их вывода из эксплуатации достаточно для вывоза отработавшего топлива до 2010 — 2012 гг. Из табл. 1 следует, что потребность вывоза отработавшего топлива после завершения срока эксплуатации вагонов-контейнеров ТК-6 сохраняется у 60 % эксплуатирующихся в настоящее время энергоблоков, в том числе и у российских (Кольская АЭС).

Таблица 1. АЭС с ВВЭР-440

АЭС	Номер блока	Год пуска	Год остановки	Год вывода из эксплуатации
«Козлодуй» (Болгария)	1	1974	2004	2009
	2	1975	2005	2010
	3	1981	2011	2016
	4	1982	2012	2017
«Ясловске-Богуннице» (Словакия)	1	1978	2008	2013
	2	1980	2010	2015
	3	1984	2014	2019
	4	1985	2015	2020
«Моховце» (Словакия)	1	1998	2028	2033
«Дукованы» (Чехия)	1	1985	2015	2020
	2	1986	2016	2021
	3	1986	2016	2021
	4	1987	2017	2022
«Пакш» (Венгрия)	1	1983	2013	2018
	2	1984	2014	2019
«Ловиса» (Финляндия)	1	1979	2009	2014
	2	1983	2013	2018
Нововоронежская (Россия)	3	1972	2002	2005
	4	1973	2003	2006
Кольская (Россия)	1	1973	2003	2006
	2	1975	2005	2008
	3	1981	2011	2014
	4	1984	2014	2017
Ровенская (Украина)	1	1979	2009	2012
	2	1980	2010	2013

Транспортные упаковочные комплекты первого поколения ТУК-6, -10В, -11БН разработаны в соответствии с отечественной нормативной документацией, базирующейся на рекомендациях МАГАТЭ, изложенных в правилах безопасной перевозки радиоактивных веществ. Все они относятся к типу В(М), поскольку без принятия дополнительных организационных и технических мер их эксплуатация не может осуществляться в диапазоне темпера-

туры воздуха $-50 - +38^{\circ}\text{C}$, установленной нормативной документацией. К таким организационно-техническим мерам относятся контроль параметров упаковки (давление, температура), использование механических средств для охлаждения или повышения температуры с помощью системы отопления. Однако находясь в эксплуатации по 15 — 20 лет, эти упаковочные комплекты обеспечили безопасное транспортирование отработавшего топлива в необходимом объеме. Основные характеристики упаковочных комплектов представлены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2. Транспортные средства для отработавшего ядерного топлива

Тип вагона-контейнера и упаковки	Назначение	Годы создания	Число	Принадлежность	Срок эксплуатации	Вместимость упаковки, ТВС
ТК-6	Для перевозки топлива ВВЭР-440, -365, ВК-50 на ПО "Маяк"	1978—1985	15	ПО "Маяк"	30	По 30 ВВЭР-440, -365, 18 ВК-50
ТК-10 с упаковкой ТУК-10В или ТУК-10В-1	Для перевозки отработавшего топлива ВВЭР-1000 серийных реакторов и Нововоронежской АЭС	1984—1986	7	Горно-химический комбинат	20	6 ВВЭР-1000
ТК-11 с упаковкой ТУК-11БН	Для перевозки отработавшего топлива БН-350, -600 на ПО "Маяк"	1983—1987	7	ПО "Маяк"	20	28 БН-350, 35 БН-600
ТК-13 с упаковкой ТУК-13 или ТУК 13/1В	Для перевозки отработавшего топлива серийных ВВЭР-1000 на Горно-химический комбинат	1987—1991	12	Горно-химический комбинат	20	12 ВВЭР-1000
ТК-5 с упаковкой ТУК-19	Для перевозки отработавшего топлива исследовательских реакторов на ПО "Маяк"	1990	2 вагона с 16 контейнерами, 1 вагон с 4 контейнерами	ПО "Маяк", СФ НИКИЭТа	20	4—16 в зависимости от типа ТВС
ТК-ВГ-18 с упаковками ТУК-18	Для перевозки отработавшего топлива транспортных реакторов на ПО "Маяк"	1988—1989	4 вагона по 3 контейнера. 40 оборотных контейнеров	ПО "Маяк"	25	21—49 в зависимости от типа
ТК-ВГ-18 с упаковками ТУК-32	Для перевозки отработавшего топлива на исследование и ПО "Маяк"	1994	1 вагон с 3 контейнерами	ГНЦ РФ—НИИАР	25	3—5 транспортных реакторов, 12 СМ-2 или 21 МИР
ТК-8 с упаковкой ВТУК-8	Для внутристанционной перевозки отработавшего топлива РБМК-1000	1963, 1986, 1995	7, в том числе 1 2 3 1	Ленинградская АЭС Курская АЭС Смоленская АЭС Чернобыльская АЭС	-	9 или 16 РБМК-1000
ТК-НВ с ВТУК	Для внутристанционной перевозки на Нововоронежской АЭС с ВВЭР-440, -365	1963—1965	2	Нововоронежская АЭС	-	30 ВВЭР-440, -365
Железнодорожная тележка с ВТУК Кастор ВВЭР-1000	Для внутристанционной перевозки на Нововоронежской АЭС с ВВЭР-1000	1983	1	То же	25	12 ВВЭР-1000

Необходимость создания нового упаковочного комплекта обуславливается техническими и экономическими соображениями. Конструкция вагона-контейнера ТК-6 морально устарела. Увеличение платы за перевозки ставит вопрос о необходимости сокращения рей-

сов за счет применения контейнеров увеличенной вместимости. Таким образом, создание в ближайшем будущем нового упаковочного комплекта для перевозки отработавшего топлива ВВЭР-440, отвечающего современным требованиям безопасности и имеющего большую вместимость по сравнению с ТК-6, является актуальным.

Транспортирование отработавшего топлива ВВЭР-1000 осуществляется с 1986 г. в вагонах-контейнерах ТК-10,-13 и транспортных упаковочных комплектах ТУК-10В,-13В. В эксплуатации находится 7 вагонов-контейнеров ТК-10 и 12 вагонов-контейнеров ТК-13. По состоянию на начало 2000 г. в хранилище Горно-химического комбината вывезено около 5600 отработавших ТВС (более 2300 т урана), в том числе с АЭС Украины около 2460 (более 1000 т урана).

В настоящее время потребность в транспортных средствах удовлетворена. Более того, при необходимости с вводом в эксплуатацию новых энергоблоков ВВЭР-1000 объем перевозок может быть увеличен.

Вместе с тем можно отметить, что транспортные средства создавались в 1983 – 1991 гг. и срок их службы, составляющий 20 лет, истекает в 2011 г., тогда как вывод из эксплуатации энергоблоков будет происходить в период ориентировочно с 2010 по 2030 г. В связи с этим потребуются замена парка транспортных средств новым. Но более существенно с точки зрения экономики в первую очередь, что эти конструкции морально устаревают, вместимость неоптимальна. Использование контейнеров повышенной вместимости позволило бы снизить затраты на перевозки за счет сокращения числа рейсов.

Отработавшее топливо быстрых реакторов транспортируется в вагонах-контейнерах ТК-11. В эксплуатации находится семь вагонов, которыми на ПО «Маяк» было перевезено 137,5 т отработавшего топлива БН-600 и 42 т БН-350. Число вагонов-контейнеров и срок их службы позволяют осуществлять вывоз топлива БН-600 почти до срока его вывода из эксплуатации (БН-600 эксплуатируется с 1980 г.).

Для перевозок отработавшего топлива исследовательских реакторов используются два типа упаковочных комплектов: ТУК-19 для ВВР-К, ВВР-Ц, ВВР-2, ВВР-С, ВВР-М, ИРТ, ИВВ, МР, СМ-2, ТУК-32 для СМ-2 и МИР.

Упаковочные комплекты ТУК-19,-32 в полной мере отвечают требованиям ОПБЗ-83 и Правил безопасной перевозки радиоактивных веществ МАГАТЭ 1985 г. и классифицируются как упаковки типа В(U) класса 1 ядерной безопасности.

Кроме того, по заказу РНЦ «Курчатовский институт» АО «Ижорские заводы» заканчивает изготовление разработанного ВНИПИЭТом упаковочного комплекта ТУК-23 с комплексом технологического оборудования, обеспечивающим загрузку отработавшего топлива в ТУК-23 из горячих камер. ТУК-23 предназначен для перевозок образцов отработавшего топлива РБМК и ВВЭР, а также транспортных реакторов на исследование в РНЦ «Курчатовский институт».

На АЭС с РБМК-1000 в настоящее время осуществляются регулярные внутриобъектовые перевозки отработавших ТВС из приреакторных хранилищ энергоблоков в отдельно стоящее станционное хранилище в вагоне-контейнере ТК-8 с использованием внутриобъектового транспортного упаковочного комплекта ВТУК-8. ВТУК-8 и вагон-контейнер представляют единый транспортный комплекс, и все операции по загрузке ТВС выполняются без снятия с вагона.

Перевозки топлива РБМК-1000 в промежуточное хранилище успешно осуществляют с 1980 г. Однако срок службы вагонов-контейнеров ТК-8 на Ленинградской и Курской АЭС превышает 40 лет, в связи с чем диагностируется состояние всех его узлов и механизмов и оценивается остаточный ресурс в целях продления срока службы.

В настоящее время в окончательной стадии разработки находится металлобетонный контейнер, предназначенный для долговременного хранения и транспортирования отработавшего топлива.

Отработавшее топливо транспортных установок (подводных лодок и ледоколов) с 1994 г. перевозится в вагонах-контейнерах ТК-ВГ-18 и транспортных радиационно-защитных упако-

вочных комплектах нового поколения ТУК-18 по временным транспортно-технологическим схемам.

В настоящее время в эксплуатации находится четыре вагона-контейнера ТК-ВГ-18 и 52 защитных контейнера ТУК-18. Предусмотрено во второй половине 2000 г. ввести в эксплуатацию еще четыре вагона-контейнера ТК-ВГ-18А.

Транспортно-технологические схемы работоспособны, функционально надежны и обеспечивают безопасное с точки зрения ядерной, радиационной и общепромышленной безопасности проведение работ. За более чем 7-летний период эксплуатации было выполнено около 36 рейсов без каких-либо серьезных происшествий, связанных с нарушением условий безопасности для персонала, населения или природной среды.

В настоящее время потребность в транспортных средствах для вывоза топлива транспортных установок удовлетворена. С введением в эксплуатацию второго эшелона объем перевозок может быть увеличен.

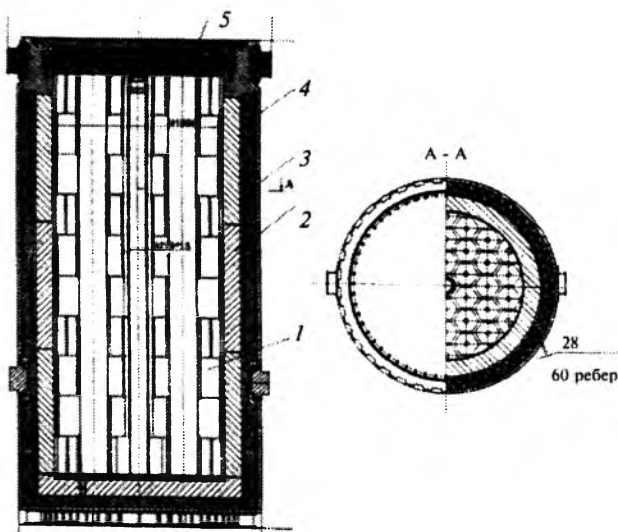
Перспективные разработки. В настоящее время в России ведутся работы по созданию новых упаковочных комплектов. Учитывая мировую тенденцию, эти упаковочные комплекты разрабатываются как двухцелевые, т.е. обеспечивают возможность длительного хранения отработавшего топлива в них до 50 лет и транспортирования в любой момент времени в течение этого периода. Конструкции ТУК-101 для ВВЭР-1000 и ТУК-102 для ВВЭР-440 (рис. 8) базируются на одних и тех же принципах, различия определяются только размерами. Эти принципы заключаются в использовании цельностальных корпусов из низколегированной стали, твердой нейтронной защиты на основе силоксанового каучука, двух крышек для герметизации полости контейнера, бористой стали для безопасности, в конструкции чехла для ТВС алюминиевых теплопроводов для интенсификации отвода тепла от твэлов к корпусу контейнера, оребрения корпуса для интенсификации отвода тепла от корпуса в окружающую среду, торцевых съемных амортизаторов для снижения динамических нагрузок на элементы упаковочного контейнера ТВС в аварийных условиях.

Вместимость по топливу увеличена до максимально возможной, при которой обеспечивается размещение на железнодорожных транспортерах. Вместимость ТУК-101 — 30 ТВС, ТУК-102 — 84 ТВС. ТУК-101 включает защитный контейнер, чехол и демпферы, установленные с торцов.

В основу нового упаковочного комплекта ТУК-104 с контейнером двойного назначения для отработавшего топлива РБМК-1000 положена идея использования металлобетонного контейнера. Отработавшие ТВС предварительно разделяют в горячей камере на два пучка твэлов, установленных в индивидуальные металлические ампулы.

В состав ТУК-104 входят упаковочный комплект хранения, защитно-демпирующий кожух. Упаковочный комплект хранения предназначен для длительного (до 50 лет) хранения топлива. Он состоит из металлобетонного контейнера и съемного чехла с ампулами. Вместимость чехла 114 ампул, содержащих пучки твэлов.

Защитно-демпирующий кожух предназначен для снижения механических нагрузок, действующих в условиях проектной аварии на металлобетонный контейнер и топливо до



Р и с. 8. Транспортный упаковочный комплект ТУК-101 без амортизаторов: 1 — чехол; 2,3 — корпус внутренний и наружный; 4 — нейтронная защита; 5 — первичная крышка

уровня, обеспечивающего сохранение герметичности и радиационных характеристик комплекта в нормируемых пределах.

Основное отличие нового упаковочного комплекта ТУК-108 (рис. 9) для транспортных ЯЭУ от ТУК-18 заключается в использовании металлобетонного контейнера, герметизируемого двумя крышками (два барьера герметичности). Вместимость ТУК-108 в зависимости от вида топлива составляет пять или семь чехлов с ТВС.

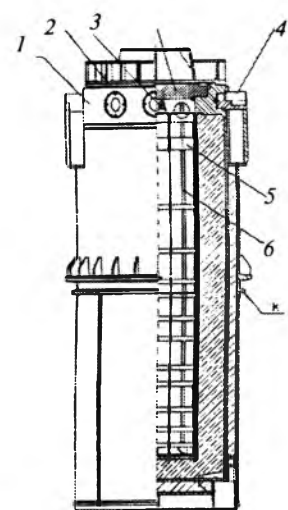


Рис. 9. Упаковочный комплект ТУК-МКБ-ВМФ: 1 — корпус; 2,3 — наружная и внутренняя крышка; 4 — цапфа; 5 — дистанционная решетка; 6 — дренажная труба; К — опорная поверхность

Проблемы, которые предстоит решать для безопасного хранения и транспортирования отработавшего топлива, можно объединить в пять блоков:

совершенствование системы государственного регулирования в данной области, разработка нормативно-технической документации для безопасного сухого хранения отработавшего топлива, ввод в действие современных правил безопасного транспортирования, доработка и утверждение концепции по обращению с отработавшим топливом в России;

завершение комплекса работ по созданию инфраструктуры, обеспечивающей обращение с отработавшим топливом при утилизации и перезарядке атомных подводных лодок, реконструкция зд. 801А на ПО «Маяк», создание сухих хранилищ для топлива РБМК и др.;

продление срока безопасной эксплуатации контейнеров для транспортирования отработавшего топлива ВВЭР-440, -1000, создание нового парка унифицированных контейнеров повышенной вместимости;

завершение работы по сертификации металлобетонных контейнеров для транспортирования и хранения отработавшего топлива РБМК и транспортных установок;

выполнение комплекса научно-исследовательских работ в обеспечение перечисленных направлений, в частности, обоснование предельного срока безопасного мокрого хранения и определение и обоснование оптимальных условий и предельных сроков сухого хранения.

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ОТРАБОТАВШЕГО ТОПЛИВА

Поляков А.С., Захаркин Б.С., Смелов В.С., Волк В.И., Мухин И.В. (ГНЦ РФ—ВНИИНМ им. А.А. Бочвара), Сафутин В.Д., Завадский М.И., Серов А.В. (ВНИПИЭТ), Бычков А.В. (ГНЦ РФ—НИИАР), Зильберман Б.Я. (НПО «Радиевый институт» им. В.Г. Хлопина)

Реализация концепции замкнутого ядерного цикла началась с пуском в эксплуатацию завода РТ-1 в 1976 г.

Накопление отработавшего ядерного топлива в России и мире требует неотложных решений по его утилизации: обоснованию объемов, направляемых на переработку и контролируемое хранение; обеспечению экономической эффективности и экологической безопасности переработки с рециклом урана и плутония; внедрению фракционирования и трансмутации актиноидов и долгоживущих продуктов деления, в перспективе обеспечивающих экологическую безопасность — радиационно-миграционную эквивалентность отходов как накопленных ранее, так и образующихся при эксплуатации АЭС.