

ПЕРВЫЙ ОПЫТ РАЗРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕВОЗКИ И ПЕРЕРАБОТКИ ЖИДКОГО ОЯТ

Дерганов Д.В., Иващенко А.А., Комаров С.В., Самсонов А.А. (ООО НПФ «Сосны», Россия),
Салихбаев У.С., Максумов Н.Р. (ИЯФ АН РУ), Кирилова Т.А. (АО «Фотон», Узбекистан),
Тайак М. (INL, США)

АННОТАЦИЯ

Несмотря на то, что в России и за рубежом действуют растворные реакторы, работающие на жидком ядерном топливе, до настоящего времени не существовало технологии обращения с облученным топливом этого типа при его подготовке к перевозке и переработке.

В докладе описаны особенности работ по подготовке к вывозу жидкого ОЯТ реактора ИИН-3М АО «Фотон» (г.Ташкент, Узбекистан) в Российскую Федерацию.

Особое внимание уделено вопросам обеспечения безопасности выполнения работ с жидким ОЯТ.

ВВЕДЕНИЕ

В черте города Ташкента – столице Узбекистана с 1975 года действует радиационно-технологический комплекс (РТК), который эксплуатирует акционерное общество «Фотон». В состав комплекса входят две гамма-установки с источниками Co-60 и исследовательский реактор (ИР) ИИН-3М, в котором используется жидкое ядерное топливо – водный раствор уранил-сульфата с обогащением 90% по урану-235.

В целях повышения ядерной и радиационной безопасности населения Ташкента и снижения угрозы распространения ядерных материалов Правительство Республики Узбекистан приняло решение о выводе объектов РТК из эксплуатации.

Согласно рекомендациям МАГАТЭ, работы по выводу из эксплуатации ядерных объектов должны начинаться только после удаления с площадки ядерного топлива и других источников излучения

Работы по вывозу ВОУ-топлива входят в программу возврата топлива исследовательских реакторов (RRRFR), инициированную Министерством энергетики США, МАГАТЭ и Россией. В ходе этой Программы уже выполнены десятки перевозок «свежего» и облученного топлива в страну происхождения – Россию, где топливо было переработано и использовано для нужд атомной энергетики.

Узбекистан также входит в число стран, присоединившихся к Программе RRRFR. В 2004 году из Института ядерной физики Академии наук Республики Узбекистан было вывезено необлученное ВОУ-топливо реактора ВВР-СМ. В 2006 году была выполнена первая в истории Программы RRRFR перевозка облученного топлива с этого реактора. Позднее, в 2012 году, были выполнены две перевозки ОЯТ ИР из Узбекистана с использованием воздушного транспорта в контейнерах ТУК-19.

Гомогенные реакторы российского происхождения, работающие на водном растворе уранилсульфата UO_2SO_4 , представлены в таблице 1. Во всех реакторах используется раствор уранил-сульфата с обогащением 90% по ^{235}U . На реакторе «Аргус» в Курчатовском институте в настоящее время проводятся работы по конверсии с целью перевода реактора на использование низкообогащенного урана.

Таблица 1 – Растворные реакторы российского происхождения

Принадлежность ИР	Название/тип установки	Объем раствора, л	Состояние установки
Курчатовский институт	Гидра	22,8	действующая
Курчатовский институт	Аргус	22	действующая
АО «Фотон»	ИИН-3М	23	действующая
НИИП	ИИН-3М	22,4	выведена из эксплуатации
ВНИИТФ	ИГРИК	54	действующая
ВНИИЭФ	ВИР-2М	104,6	действующая

Помимо перечисленных, существуют реакторы, в которых использованы другие типы растворов:

- во ВНИИТФ действует реакторная установка «Ягуар», работающая на растворе $UO_2SO_4 + H_2O + CdSO_4$;
- в Курчатовском институте выведена из эксплуатации реакторная установка «Ромашка», работавшая на растворе $UC_2 + H_2O$, топливо которой в настоящее время слито и находится в капсулах.

Несмотря на наличие в России реакторов, использующих жидкое ядерное топливо, технологии перевозки жидкого облученного ядерного топлива (ЖОЯТ) до сих пор не существовало, кроме того, оно не входило в номенклатуру топлива, которое перерабатывает ФГУП «ПО «Маяк». В связи с этим, Правительство Узбекистана выдвинуло самые серьезные требования по обеспечению безопасности работ при извлечении топлива из реактора, его временном хранении, загрузке в транспортный контейнер.

Перед ООО НПФ «Сосны» стоял ряд сложных задач: необходимо было разработать специальное оборудование для слива ЖОЯТ из реактора в емкости временного хранения, а также оборудование для его перегрузки в транспортные пеналы и загрузки транспортных пеналов в контейнер SKODA VPVR/M. Кроме того, потребовалось разработать специальное оборудование для того, чтобы принять пеналы с ЖОЯТ на ФГУП «ПО «Маяк». Необходимо было продумать технологию и обосновать безопасность выгрузки, переработки ЖОЯТ на ФГУП «ПО «Маяк» и обращения с продуктами переработки.

Ранее ввоз жидкого облученного ядерного топлива в Россию никогда не осуществлялся. Это потребовало заключения нового Межправительственного соглашения между Узбекистаном и Россией, в котором был определен нормативно-правовой порядок одновременного ввоза ЖОЯТ реактора ИИН-3М. В соглашении установлено, что «ввоз облученного ядерного топлива в Российскую Федерацию из Республики Узбекистан осуществляется в порядке и на условиях ввоза в Российскую Федерацию из иностранных государств облученных тепловыделяющих сборок (ОТВС) ядерных реакторов для целей временного технологического хранения с последующей переработкой и оставлением радиоактивных отходов, образовавшихся в процессе переработки, на территории Российской Федерации, установленных законодательством Российской Федерации».

В рамках работ по подготовке вывоза и переработки жидкого ОЯТ реактора ИИН-3М АО «Фотон» в Россию выполнены:

- разработка, изготовление и испытания оборудования для слива жидкого ОЯТ из реактора в емкости временного хранения;
- слив жидкого ОЯТ из реактора в емкости временного хранения и аттестация ОЯТ;
- разработка, изготовление и испытания оборудования для перегрузки жидкого ОЯТ в транспортные пеналы;
- разработка, изготовление и испытания в UJV Rez (Чехия) и на площадке реактора ИИН-3М оборудования для загрузки транспортных пеналов с ЖОЯТ в ТУК SKODA VPVR/M;
- разработка, изготовление и испытания оборудования для приемки жидкого ОЯТ на ФГУП «ПО «Маяк»;
- научно-исследовательские работы для определения и корректировки технологических процессов переработки, разработка обоснования безопасности и лицензирование ФГУП «ПО «Маяк» для приемки и переработки жидкого ОЯТ.

На всех стадиях проекта особое внимание было уделено вопросам обеспечения безопасности выполнения работ с ЖОЯТ.

1. Оборудование для временного хранения ЖОЯТ

После остановки реактора жидкое ОЯТ хранилось в корпусе реактора (около 23 л), а, кроме того, в емкостях, размещенных в сейфе изотопохранилища (около 1 л).

Для выгрузки раствора уранил-сульфата из реактора и его временного хранения был специально разработан и изготовлен комплекс оборудования, предназначенный для выполнения следующих задач:

- порционная выгрузка топлива из корпуса реакторной установки в шесть емкостей временного хранения с одновременным измерением объема выгружаемого топлива;
- временное хранение топлива перед транспортированием на переработку;
- порционная выгрузка топлива из емкостей временного хранения в пеналы для транспортирования.

Оборудование комплекса обеспечивает ядерную безопасность, защиту персонала от ионизирующего излучения, а также исключает несанкционированный доступ к раствору уранил-сульфата при его временном хранении.

При разработке комплекса оборудования было проведено тщательное обоснование безопасности разработанного оборудования, включая анализ радиационной и ядерной безопасности, пожаро- и взрывобезопасности (по накоплению водорода), рассмотрены возможные аварийные ситуации. Получено заключение по ядерной безопасности экспертов ФГУП «ГНЦ РФ-ФЭИ», а также экспертная оценка регулирующего органа Узбекистана ГИ «Саноатгеоконттехназорат», подтверждающая соответствие документации действующим в республике нормам и правилам.

Комплекс оборудования выгрузки и временного хранения ЖОЯТ спроектирован для размещения в реакторном зале главного корпуса реакторной установки ИИН-3М АО «Фотон» (рис. 1). Комплекс был испытан на производственной площадке ООО НПФ «Сосны», поставлен в АО «Фотон» в октябре 2013 года, смонтирован и после обучения персонала введен в эксплуатацию в январе 2014 года.



Рис. 1. Комплекс оборудования для выгрузки и временного хранения ЖОЯТ в процессе монтажа в реакторном зале

2. Слив ЖОЯТ из реактора и проведение аттестации

После многократных проверок оборудования и тренировок персонала слив раствора уранил-сульфата из активной зоны реактора и измерение его объема были выполнены с помощью комплекса оборудования выгрузки и временного хранения в сентябре 2014 года по специально разработанной процедуре. Извлеченное топливо было размещено в емкостях временного хранения (рис. 2).

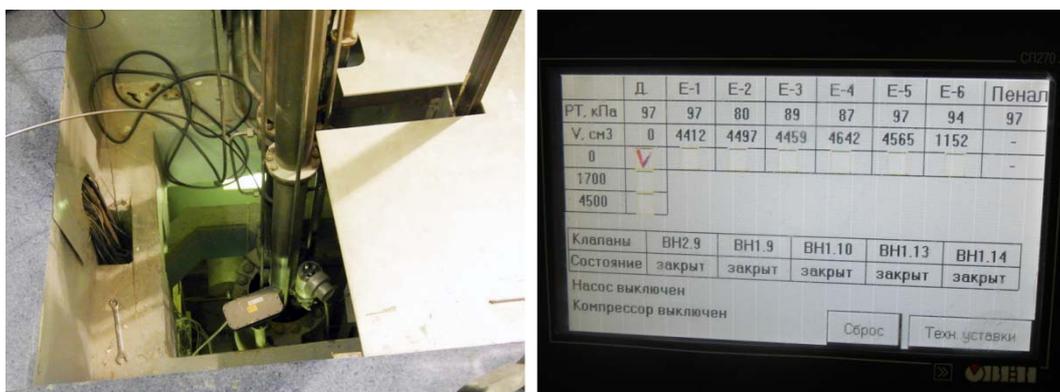


Рис. 2. Реактор ИИН-3М. Показания на пульте управления установки во время слива ЖОЯТ из реактора

Дозы облучения персонала при выполнении данных операций были существенно ниже допустимых значений.

Также в ходе аттестации с помощью мерного стакана был измерен объем проб «свежего» и облученного топлива, находящихся в изотопохранилище (рис.3).



Рис. 3. Измерение объема проб топлива, находящихся в изотопохранилище

Результаты аттестации топлива были зафиксированы в отчете и в дальнейшем использованы при заключении внешнеторгового контракта на вывоз ЖОЯТ из Узбекистана в Российскую Федерацию.

3. Оборудование для загрузки ЖОЯТ в контейнер SKODA VPVR/M и воздушной перевозки

Транспортно-технологическая схема перевозки жидкого ОЯТ из Узбекистана в Россию основана на мультимодальном принципе:

- на площадке реактора ИИН-3М производится загрузка пеналов с жидким ОЯТ в ТУК SKODA VPVR/M, загрузка ТУК SKODA VPVR/M в ISO-контейнер, погрузка ISO-контейнера с ТУК SKODA VPVR/M на автотранспорт и доставка груза автотранспортом в аэропорт г. Ташкент;
- в аэропорту производится формирование ТУК-145/С из контейнера SKODA VPVR/M и защитно-демпфирующего кожуха (специальный автотранспорт принадлежит ФГУП «ПО «Маяк» и доставляется вместе с защитно-демпфирующим кожухом воздушным транспортом в аэропорт заблаговременно), загрузка автомобиля с ТУК-145/С в самолет и доставка груза на территорию Российской Федерации;
- выгрузка автотранспорта с ТУК-145/С из самолета в аэропорту г. Екатеринбург, перевозка ТУК-145/С автомобильным транспортом до г. Озерск и приемка ТУК-145/С с жидким ОЯТ на ФГУП «ПО «Маяк».



Рис. 4. Загрузка ТУК-145/С в самолет АН-124-100 на автомобиле

Для обеспечения перевозки были разработаны два сертификата-разрешения: сертификат на конструкцию и перевозку упаковки SKODA VPVR/M № RUS/3205/B(U)F-96Т для обеспечения перевозки автомобильным транспортом по территории Узбекистана и сертификат на конструкцию упаковки и перевозку упаковки ТУК-145/С № RUS/3197/B(U)F-96Т(Rev.1) для обеспечения воздушной перевозки и перевозки автомобильным транспортом по территории Российской Федерации.

Для обеспечения безопасности размещения жидкого ОЯТ в упаковке во время перевозки был разработан специальный пенал. Пенал состоит из корпуса и крышки (рис. 5). Корпус пенала представляет собой герметичный сосуд цилиндрической формы, детали которого соединены между собой с помощью сварных соединений. В верхней части внутренней полости корпуса установлена свинцовая защитная пробка, которая защищает персонал от ионизирующего излучения жидкого ОЯТ в вертикальном направлении, во время установки/снятия крышки, подключения пенала к системам заполнения или слива жидкого ОЯТ и контроля герметичности. В горловине пенала установлены два штуцера: топливный и газовый. Газовый штуцер предназначен для вакуумирования пенала при заполнении его жидким ОЯТ, замены в нем газовой среды и контроля герметичности пенала после заполнения топливом. Газовый штуцер представляет собой быстроразъемное соединение с запорным клапаном, установленный в газовом патрубке. Патрубок проходит через свинцовую защиту и соединяет газовый штуцер с внутренней полостью пенала.

Проведенный расчет по оценке состояния конструкции пенала, загруженного жидким ОЯТ, при аварийном механическом воздействии, вызванном вертикальным осевым падением пенала дном на жесткое основание с высоты 1,7 м (максимально возможная высота падения пенала при загрузке пеналов в ТУК), позволил сделать вывод, что при этом сохраняется целостность и герметичность пенала, что, в свою очередь, исключает выход жидкого ОЯТ из пенала.

Для перевозки пеналов с ЖОЯТ было решено использовать ТУК-145/С, ранее применявшийся для перевозки ОЯТ ИР из Вьетнама и Венгрии воздушным транспортом. Для данной перевозки в конструкцию ТУК была добавлена система специальных полиэтиленовых демпферов четырех типов (рис. 6), которые устанавливаются в свободные ячейки чехла контейнера SKODA VPVR/M, а также сверху и снизу каждого пенала, обеспечивая дополнительную динамическую защиту опасного радиоактивного содержимого упаковки.

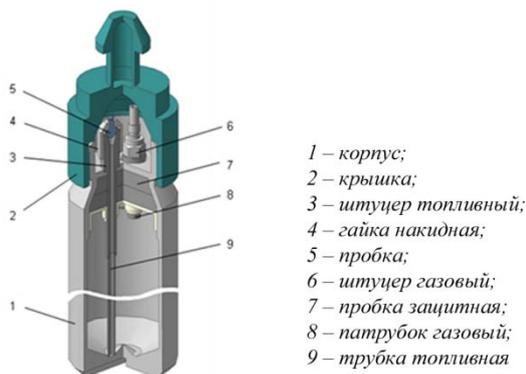


Рис. 5. Транспортный пенал

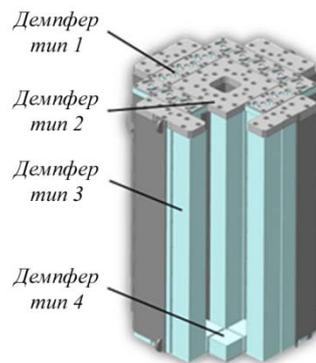


Рис. 6. Чехол ТУК SKODA VPVR/M с установленными демпферами

Для обоснования выбранной конструкции была проведена серия численных расчетов по анализу процессов взаимодействия упаковки ТУК-145/С, загруженной пеналами с жидким ОЯТ, с жесткой преградой при столкновении со скоростью 90 м/с. Установлено, что во всех рассмотренных случаях столкновений (осевом, боковом и угловом) пеналы с жидким ОЯТ, находящиеся внутри контейнера SKODA VPVR/M, сохраняют свою целостность и герметичность, что исключает выход жидкого ОЯТ из пеналов и попадания его в полость контейнера SKODA VPVR/M в случае авиационной аварии.

Ядерная безопасность конструкции и перевозки подтверждена заключениями ОЯБ ФГУП «ГНЦ РФ-ФЭИ» №14-033 и №13-152, соответственно.

Для загрузки жидкого ОЯТ реакторной установки ИИН-3М в ТУК была разработана технология, предусматривающая:

- порционную загрузку водного раствора уранил-сульфата из емкостей временного хранения в транспортные пеналы;
- проверку герметичности транспортных пеналов и их массы;
- загрузку пеналов с ЖОЯТ в ТУК SKODA VPVR/M с помощью перегрузочного контейнера.

Для реализации технологии частично было применено оборудование, использованное ранее для загрузки ОТВС на площадке далатского исследовательского реактора во Вьетнаме, например, площадка обслуживания, перегрузочная плита с кондуктором и направляющими. Часть оборудования была разработана специально для этой перевозки, включая транспортные пеналы, перегрузочный контейнер, захваты, демпферы.

В октябре 2014 года в Чехии на предприятии UJV Ржеж были проведены испытания оборудования на совместимость с контейнером SKODA VPVR/M и с оборудованием, использованным при вывозе ОТВС из Вьетнама (рис.7).



Рис. 7. Проверка разработанного оборудования на совместимость с ТУК SKODA VPVR/M

После испытаний оборудование было отправлено в Узбекистан, куда в это же время была отправлена и вторая партия оборудования, разработанного ООО НПФ «Сосны», состоящая из пандусов, самоходной тележки, поста контроля герметичности, ёмкости буферной, устройства для взвешивания и транспортных пеналов. После того, как оборудование было смонтировано в реакторном зале, было проведено обучение персонала реактора с оформлением сертификатов. В марте 2015 года после проведения испытаний оборудование было введено в эксплуатацию.



Рис. 8. Испытания оборудования на площадке реактора ИИН-3М

Безопасность оборудования для загрузки жидкого ОЯТ в транспортный контейнер и его соответствие действующим в Республике Узбекистан нормам и правилам были подтверждены соответствующими анализами и экспертными заключениями.

4. Оборудование для приемки ЖОЯТ на ФГУП «ПО «Маяк»

Для того, чтобы на ФГУП «ПО «Маяк» можно было принять новый вид облученного топлива, в 2013 году была разработана транспортно-технологическая схема приемки, временного хранения и переработки жидкого ОЯТ; проведена оптимизация экстракционных параметров процесса выделения урана, разработаны мероприятия по компенсации воздействия коррозионно-активного раствора на оборудование и уточнены параметры получаемых радиоактивных отходов после переработки жидкого ОЯТ и технологии обращения с РАО.

Для реализации данной схемы было разработано специальное оборудование: захват и фиксатор для выгрузки ЖОЯТ из транспортного пенала и линия перекачки жидкого ОЯТ в технологический аппарат для переработки. В рамках обоснования безопасности разработанного оборудования были проведены расчеты прочности, пожаро- и взрывобезопасности, радиационной и ядерной безопасности. Ядерная безопасность была подтверждена ОЯБ ФГУП «ГНЦ РФ-ФЭИ», заключение № 14-036. После разработки технологических регламентов и инструкций для ФГУП «ПО «Маяк», а также экспертизы, выполненной специалистами ФБУ «НТЦ ЯРБ», было получено разрешение (лицензия) Ростехнадзора на приемку, временное хранение упаковки и переработку на ФГУП «ПО «Маяк» жидкого ОЯТ исследовательского реактора ИИН-3М АО «Фотон».

По конструкторской документации, разработанной ООО НПФ «Сосны», в течение 2014 года было изготовлено оборудование для приемки, временного хранения и обращения с ЖОЯТ на ФГУП «ПО «Маяк». Изготовленное и смонтированное оборудование после проведения заводских испытаний было введено в эксплуатацию.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В сентябре 2015 года на площадке реактора ИИН-3М были выполнены работы по загрузке пеналов с ЖОЯТ в транспортный контейнер. Первая партия облученного жидкого топлива воздушным транспортом перевезена на переработку на радиохимический завод ФГУП «ПО «Маяк».

Технологии, созданные при подготовке к вывозу и переработке жидкого ОЯТ из Узбекистана, могут быть использованы для обращения с ОЯТ российских растворных реакторов. Кроме того, разработанные технологии можно распространить и на перевозку для переработки на ФГУП «ПО «Маяк» других высокоактивных ураносодержащих жидкостей.