

## Вывоз ОЯТ из Сербии. Проблемы, решения, уроки

С.В.Комаров, А.А. Иващенко, А.А. Самсонов, С.В. Амосов  
(ООО НПФ «Сосны», РФ)  
Джон Келли, Пабло Адельфанг, Эд Бредли, Шандор Тожер  
(МАГАТЭ, Австрия)  
Радоица Пешич, Обрад Шотич  
(Винча, Сербия)

В 50-х годах прошлого века на площадке Института ядерных наук «Винча», расположенной вблизи Белграда, столицы Сербии, по советскому проекту был построен исследовательский тяжеловодный ядерный реактор РА. Реактор остановлен в середине 80-х, сербское правительство не намеревалось дальше его эксплуатировать, и было принято решение о полном выводе объекта из эксплуатации. Но на пути к «зеленой лужайке» первой и одной из самых сложных проблем является удаление отработавшего топлива.



Рис. 1. Реактор РА

Топливные элементы типа ТВР-С для реактора РА поставлялись Советским Союзом, всего было поставлено более 13 тысяч ТВС. ТВР-С представляют собой небольшие цилиндрические блочки, конструкционным материалом которых является алюминий. В первый период работы реактора использовалось НОУ-топливо, позднее реактор был переведен на ВОУ-топливо. Все топливо, накопленное за 25 лет работы реактора, хранилось на площадке, ранее вывозов отработавших тепловыделяющих сборок (ОТВС) не выполнялось.

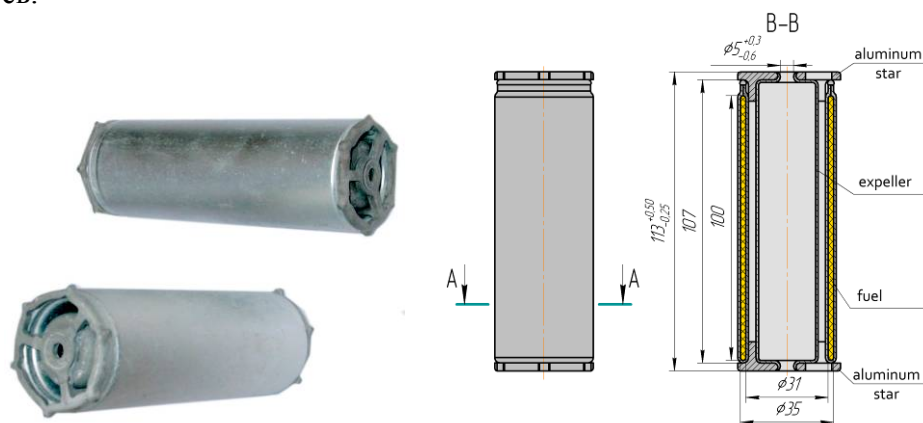
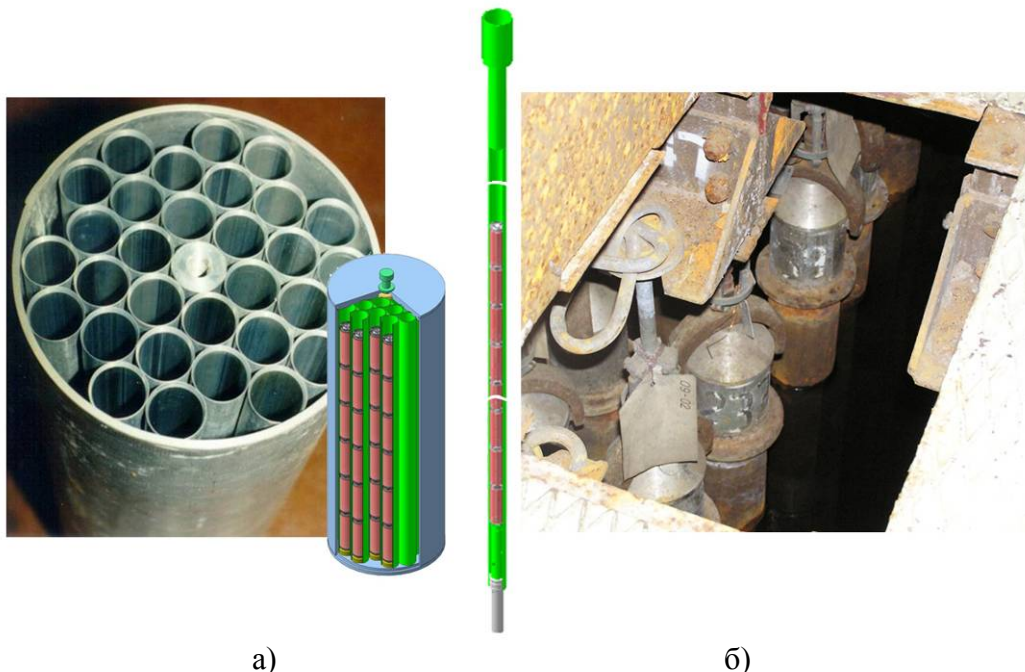


Рис. 2. Топливные элементы типа ТВР-С

Штатно предусмотренный способ хранения отработавшего ядерного топлива (ОЯТ) для площадки реактора RA – размещение в бассейне реакторных каналов в стальных чехлах. Чехлы подвешиваются на специальных металлоконструкциях.

Но в некоторый момент все штатные места для хранения ОЯТ оказались заполнены, и сербским инженерам пришлось решать проблему уплотнения хранилища. Были разработаны и изготовлены алюминиевые бочки оригинальной конструкции, в которые была перегружена большая часть наиболее старого ОЯТ.

Хранилище ОЯТ представляет собой пристрой к зданию реактора, в котором расположены четыре бассейна с водой. Система бассейнов соединена с перегрузочной камерой реактора транспортным каналом. К концу эксплуатации реактора практически все штатные места в хранилище были заняты реакторными каналами с ОТВС, а немногочисленные свободные места на дне бассейнов – алюминиевыми бочками с топливом.



**Рис. 3. Алюминиевые бочки (а) и реакторные каналы (б)**

Хранение топлива осуществлялось в обычной водопроводной воде, никакой подготовки воды не выполнялось. Высокое содержание хлорид-ионов, сульфат-ионов, высокая проводимость воды привели к коррозионному повреждению ОЯТ. Кроме того, вследствие инцидентов при работе реактора некоторые ТВР-С имели повреждение уже при выгрузке из реактора. Вследствие этого, с каждым годом хранения активность воды увеличивалась. Высокоактивные продукты деления, поступавшие в воду из негерметичного топлива, представляли угрозу для работавших в этом помещении людей, а также, в перспективе, и для окружающей среды. С каждым днем ситуация становилась все опаснее, и именно поэтому вывоз топлива являлся срочной и приоритетной задачей.



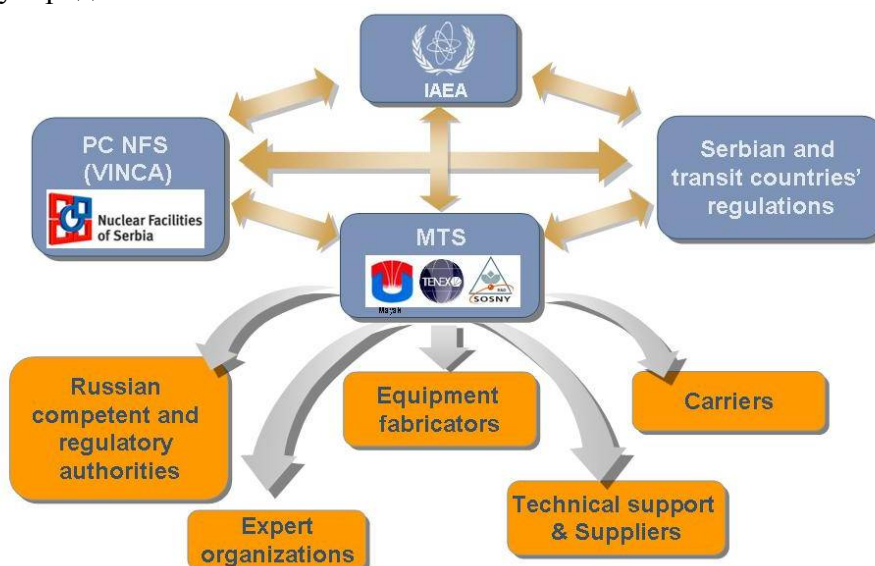
**Рис. 4. Вода бассейна выдержки и поврежденные ОТВС**

Сербия была включена в программу репатриации топлива – возврата его в страну происхождения – Россию. Сербское правительство не имело ни средств, ни опыта организации подобных проектов, поэтому заказчиком вывоза ОЯТ выступило МАГАТЭ, аккумулировавшее средства доноров и объявившее международный тендер. Основные финансовые средства для реализации данного проекта были предоставлены Департаментом энергетики США, Евросоюзом, Россией и Чехией.

Этот тендер выиграл консорциум российских организаций: ООО НПФ «Сосны» (компания, специализирующаяся на организации перевозок ОЯТ и имеющая опыт в подготовке ОЯТ к перевозке), ФГУП «ПО «Маяк» (грузополучатель ОЯТ, единственный переработчик ОЯТ в России), TENEX (на тот момент – организация, уполномоченная правительством заключать контракты на ввоз ОЯТ в Россию).

Контракт между российским консорциумом и МАГАТЭ был подписан в конце 2006 года. Основные условия контракта:

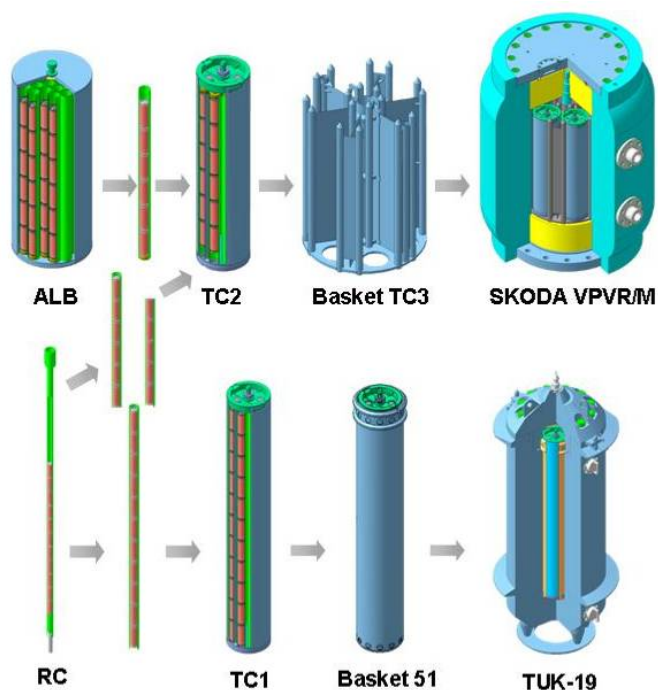
- вывоз ОЯТ за один рейс,
- вывоз до конца 2010 года,
- все практические работы на объекте должен выполнять сербский персонал,
- должны быть соблюдены все нормы, правила и законодательство Сербии, России и международные.



**Рис. 5. Схема взаимодействия организаций в сербском проекте**

После анализа всего парка доступных транспортных контейнеров для перевозки были выбраны ТУК-19 и SKODA VPVR/M. Для перевозки всего ОЯТ потребовалось по 16 контейнеров каждого типа.

Очевидно, что имеющаяся упаковка (реакторные каналы и алюминиевые бочки) не подходила для поставки ОЯТ в Россию как с точки зрения перевозки, так и по требованиям перерабатывающего завода. Поэтому была разработана и изготовлена новая упаковка высокой вместимости. Для загрузки ОЯТ в ТУК-19 – пенал ТС1, а для загрузки ОЯТ в SKODA VPVR/M – пенал ТС2 и корзина ТС3. Конструкция пеналов ТС1 и ТС2 унифицирована – они отличаются только длиной, что позволило использовать для обращения со всеми пеналами одинаковое оборудование.



**Рис. 6. Схема разделки и упаковки ТВР-С из алюминиевых бочек и реакторных каналов**

Специалисты ООО НПФ «Сосны» и привлеченные российские эксперты рассмотрели и обосновали все аспекты безопасности при обращении с новыми пенами. Основной проблемой оказалось обеспечение взрывопожаробезопасности. На окисленной поверхности ОЯТ находится большое количество связанной воды, удаление которой – практически невыполнимая задача. При помещении его в замкнутый объем за несколько месяцев может образоваться взрывоопасная концентрация водорода и кислорода. Чтобы избежать этого, была выбрана негерметичная конструкция пеналов, были обоснованы специальные требования по осушке упаковок и составу газовой среды внутри них.

Негерметичная конструкция пеналов дала возможность выполнять периодическую продувку ОЯТ в контейнере, не допуская опасной концентрации водорода и кислорода. Во время нахождения негерметичных пеналов с ОЯТ в бассейне реактора РА или в бассейне ФГУП «ПО «Маяк» происходит выход радиоактивных веществ в воду. Для обеспечения радиационной безопасности в сербском бассейне была установлена система очистки, а на ФГУП «ПО «Маяк» для этого оказалось более чем достаточно мощности уже имеющейся системы.

Основной участок, на котором выполнялись практически все операции по перетариванию ОЯТ – аппендикс бассейна 4, в котором была установлена рабочая площадка. Защита персонала обеспечивалась слоем воды. Рабочая площадка состояла из трех уровней. На нижнем подводном уровне размещалось оборудование: кантователь для алюминиевых бочек, гнезда для установки пеналов, емкостей для твердых радиоактивных отходов. Второй ярус – основное место работы операторов. Здесь расположены гнезда для установки длинномерного инструмента, а также выведены мониторы системы видеонаблюдения. Третий ярус – вспомогательный, для выполнения транспортных операций с длинномерным инструментом. Поскольку высота чехлов, в которых располагались длинномерные реакторные каналы с ОТВС, практически равна глубине бассейна и превышает высоту хода крана в помещении хранилища, операции по извлечению реакторных каналов и отрезке их верхней части, не содержащей ОЯТ, выполнялись в защищенном помещении корпуса реактора. Защитой персонала служили толстые бетонные стены. Операции в защитном помещении практически полностью автоматизированы, контроль и управление оборудованием оператор осуществлял с пульта управления.



Размещение заполненных пеналов с ОЯТ осуществлялось под водой бассейнов 1-4 в специальных стеллажах.

Для наблюдения за ходом работ была оборудована диспетчерская, в которую выведены системы видеонаблюдения, связи, управления системой очистки воды, контрольные блоки системы радиационного контроля. Здесь же велся учет радиоактивных материалов.



**Рис. 7. Рабочая площадка и диспетчерская**

Для перетаривания ОЯТ и загрузки его в контейнеры было разработано и изготовлено более 150 позиций уникального оборудования – от простых длинномерных инструментов до сложных крупногабаритных изделий с электрическими и пневматическими узлами.

Отрезка нижнего фрагмента реакторного канала осуществлялась автоматическим роликовым трубрезом с использованием лебедки с шаговым двигателем, обеспечивающей точное позиционирование канала. Дальнейшая разделка реакторного канала выполнялась на рабочей площадке с помощью трубрезза другой конструкции.

Для разделки алюминиевых бочек на рабочей площадке использовались сверлильное устройство и кантователь. Основа технологии – последовательное концентрическое сверление дна бочки с извлечением трубок с ОТВС.

Отдельный комплекс длинномерного инструмента был предназначен для перемещения трубок и отдельных ОТВС, а также для обращения с пеналами – установки их крышек и перемещения в пределах бассейна.



**Рис. 8. Оборудование и инструменты для перетаривания ОЯТ**

Загрузка пеналов с ОЯТ в корзины контейнеров выполнялась под водой с использованием специальной рамы для установки контейнеров над бассейном. Для контейнера SKODA VPVR/M нижняя загрузка ОЯТ является штатной технологией, однако в связи с тем,

что пеналы с сербскими ОТВС имеют значительный вес, был создан специальный самобалансирующийся инструмент, позволяющий оперировать с пеналами различной массы. Поскольку ТУК-19 не имеет возможности нижней загрузки, то был использован перегрузочный контейнер, который был создан в рамках румынского проекта вывоза ОЯТ и затем адаптирован для работы в Сербии. Загрузка ОЯТ в перегрузочный контейнер осуществлялась над бассейном аналогично загрузке контейнера SKODA VPVR/M, а затем перегрузочный контейнер устанавливался на ТУК-19 и выполнялась перегрузка.



**Рис. 9. Загрузка ТУК SKODA VPVR/M над бассейном (а).  
Проверка оборудования перед загрузкой ТУК-19 с помощью перегрузочного  
контейнера (б)**

Для обращения с транспортными контейнерами на площадке реактора RA также понадобилось принятие специальных технических решений. Для перемещения контейнеров между реакторным залом, помещением хранилища и площадкой перед зданием реактора была смонтирована железнодорожная система. В связи с тем, что  $\psi$ -кран помещения хранилища имеет малую грузоподъемность, для перемещения контейнеров на этом участке был использован вилочный автопогрузчик. Учитывая необходимость одновременного размещения большого количества транспортных контейнеров в реакторном зале, были рассчитаны нагрузки на пол помещения и обозначены места безопасной установки контейнеров.



**Рис. 10. Размещение контейнеров в реакторном зале.  
Погрузчик и тележка для перемещения контейнеров**

Оборудование, изготовленное ООО НПФ «Сосны», было доставлено на площадку реактора RA и смонтировано. Совместно с сербскими коллегами была проведена его настройка и комплексные испытания.

Обучение сербских операторов технологии и навыкам работы с оборудованием являлось неотъемлемой частью обеспечения безопасности обращения с ОЯТ. Обучение проводилось с порожними реакторными каналами, алюминиевыми бочками и транспортными контейнерами непосредственно перед каждым новым этапом работ: перетаривание ОЯТ из алюминиевых бочек, перетаривание ОЯТ из реакторных каналов, загрузка и обслуживание контейнеров SKODA VPVR/M, загрузка и обслуживание контейнеров ТУК-19.

Сербские специалисты и ООО НПФ «Сосны» с участием российских экспертов подготовили отчеты, обосновывающие безопасность. Независимая экспертиза, выполненная экспертами МАГАТЭ и словенского регулирующего органа, подтвердила правильность расчетов и выводов о безопасности предложенной технологии. На основании этого сербский регулирующий орган выдал разрешение на выполнение работ.

Работы по перетариванию ОЯТ и загрузке транспортных контейнеров выполнялись сербским персоналом при постоянном контроле и технической поддержке специалистов ООО НПФ «Сосны». За полтора года сербские и российские специалисты провели монтаж оборудования, обучение и операции с ОЯТ. За это время не произошло никаких инцидентов, которые бы привели к переоблучению персонала или выбросу РМ в окружающую среду. Дозы, фактически полученные персоналом, в десятки раз ниже допустимых российскими и сербскими нормами.

При подготовке к перевозке ОЯТ в Россию анализировались различные маршруты с точки зрения их реализуемости, безопасности, экономической целесообразности. В силу различных причин, многие варианты были отброшены, и был найден приемлемый маршрут – транзит через Венгрию и Словению до словенского порта в Адриатическом море, потом морской участок до российского порта Мурманск, и далее сухопутным транспортом по территории России до ФГУП «ПО «Маяк». К тому времени указанный маршрут уже был опробован при вывозе ОЯТ ИР из Венгрии.

Для выбранного маршрута перевозки были оформлены все необходимые разрешительные документы – российские сертификаты на конструкцию упаковки и перевозку, их подтверждения в Сербии, Венгрии и Словении, разрешения на транзит ОЯТ по Венгрии и Словении.

Таким образом, к ноябрю 2010 года все было готово к перевозке – подготовленное и загруженное в транспортные контейнеры ОЯТ располагалось на сербской площадке, все разрешения на перевозку были оформлены.

Для мультимодальной перевозки контейнеров SKODA VPVR/M и ТУК-19 с ОЯТ использовались специализированные ISO-контейнеры. Они были созданы в рамках программы RRRFR и позволяют унифицировать размещение груза ОЯТ на различных транспортных средствах.

В ноябре 2010 года 14 ISO-контейнеров с ОЯТ были загружены на автомобильный транспорт на площадке реактора RA и в составе специальной колонны перевезены до границы Сербия-Венгрия. На пограничной ж/д-станции ISO-контейнеры были перегружены на платформы поезда. Железной дорогой через территорию Венгрии и Словении груз ОЯТ прибыл в словенский порт Копер. В порту ISO-контейнеры были перегружены на судно, лицензированное для перевозки ОЯТ, и через Средиземное море, Атлантический, Северный ледовитый океаны доставлены в российский порт Мурманск. В Мурманске был подписан протокол передачи груза ОЯТ от сербской стороны российской. Последняя перегрузка, и сербское ОЯТ по железной дороге отправляется на Урал, на территорию ФГУП «ПО «Маяк».





**Рис. 11. Схема маршрута перевозки ОЯТ из Сербии**



**Рис. 12. Перегрузка ISO-контейнеров в порте Копер (Словения). Руководители проекта с президентом Сербии Борисом Тадичем**

Таким образом, в декабре 2010 года был завершен крупный проект по вывозу из Сербии почти 2.5 тонн существенно поврежденного ОЯТ (более 8 тысяч ОТВС). Это событие вызвало широкий резонанс и одобрение международной общественности и явилось хорошим примером международного сотрудничества в области повышения безопасности в атомной отрасли.

Операция по удалению отработавшего топлива с площадки реактора RA является наиболее длительной и технически сложной из осуществленных в рамках программы RRRFR, это также самый большой проект такого рода для МАГАТЭ в истории технического сотрудничества. Успех сербской операции является результатом профессионализма и эффективного взаимодействия многих национальных и международных организаций. Полученный опыт полезен и может быть востребован в рамках других проектов по вывозу топлива и декомиссии ядерных объектов.