

## Технологические аспекты обращения с ОЯТ и повышение ядерной и радиационной безопасности при экологической реабилитации бывшей береговой базы в губе Червяная (поселок Гремиха)

А. П. Варнавин <sup>1</sup>, С. Е. Васин <sup>2</sup>, А. И. Васильев <sup>3</sup>, А. В. Дьянов <sup>4</sup>, О. А. Жукова <sup>5</sup>,  
 А. В. Королёв <sup>6</sup>, кандидат физико-математических наук,  
 Н. Е. Кухаркин <sup>7</sup>, кандидат технических наук,  
 М. Е. Мироненко-Маренкова <sup>8</sup>, Л. П. Новикова <sup>9</sup>, В. А. Павлов <sup>10</sup>, Б. С. Степеннов <sup>11</sup>,  
 А. К. Сухоручкин <sup>12</sup>, кандидат физико-математических наук,  
 Д. Б. Степеннов <sup>13</sup>, А. Н. Федосеев <sup>14</sup>, Е. Ю. Шкуратова <sup>15</sup>,  
 А. Ф. Усатый <sup>16</sup>, кандидат физико-математических наук

НИЦ «Курчатовский институт»

*Представлен комплекс научно-технических и организационных мероприятий по обращению с облученным ядерным топливом (ОЯТ) АПЛ с ВВР первого поколения, хранившимся на территории отделения «Гремиха» СЗЦ «СевРАО» – филиала ФГУП «РосРАО». Результатом выполнения данных мероприятий стал вывоз всех отработавших тепловыделяющих сборок (ОТВС) в количестве 898 штук на переработку в ФГУП «ПО «Маяк»» и временное хранение в ФГУП «Атомфлот».*

**Ключевые слова:** береговая техническая база ВМФ, экологическая реабилитация, облученное ядерное топливо АПЛ с ВВР первого поколения, нормализация радиационной обстановки, подготовка и вывоз ОЯТ на переработку, методы и средства диагностики, кондиционные и некондиционные ОТВС, нестандартизированное оборудование, ядерная, радиационная и экологическая безопасность.

### Введение

В 2013 г. исполнилось 10 лет с момента привлечения Федеральным агентством по атомной энергии (ФААЭ) (бывшим Минатомом) НИЦ «Курчатовский институт» (НИЦ КИ) к работам по экологической реабилитации бывшей береговой технической базы (БТБ) ВМФ на северо-западе России в губе Червяная (поселок Гремиха). Работы по экологической реабилитации предусматривали удаление ОЯТ и радиоактивных отходов (РАО) с последующим вывозом из эксплуатации и реабилитацией территории БТБ и акватории (проект «Гремиха»).

На протяжении всего 10-летнего периода НИЦ КИ выполнял и координировал работы по проекту «Гремиха», направленные на разработку технологии и повышение ядерной, радиационной и экологической безопасности включая решение следующих основных задач:

- разработка научно-технической и проектной документации;
- нормализация радиационной обстановки и улучшение санитарно-гигиенических условий работы персонала;
- разработка методов, средств диагностики, приборного обеспечения для радиационного и инженерного обследования ОТВС и РАО, хранящихся на объекте, а также зданий, сооружений, территории и акватории;
- модернизация существующей инфраструктуры, создание новых систем, изготовление нестандартизированного оборудования и приспособлений для обеспечения безопасного обращения с ОТВС в процессе подготовки и вывоза их на переработку и длительное хранение;

<sup>1</sup> e-mail: np54@kiae.ru. <sup>2</sup> e-mail: vse31@kiae.ru.

<sup>3</sup> e-mail: vai@dhtp.kiae.ru. <sup>4</sup> e-mail: dav@dhtp.kiae.ru.

<sup>5</sup> e-mail: Zhukova\_OA@nrcki.ru, <sup>6</sup> e-mail: avkor@kiae.ru.

<sup>7</sup> e-mail: ztm@adis.vver.kiae.ru.

<sup>8</sup> e-mail: mironenko-marenkova@rrcki.ru.

<sup>9</sup> e-mail: larisa@dhtp.kiae.ru. <sup>10</sup> e-mail: vapavlov@dhtp.kiae.ru.

<sup>11</sup> e-mail: bss@dhtp.kiae.ru. <sup>12</sup> e-mail: aks@kiae.ru.

<sup>13</sup> e-mail: dbs@dhtp.kiae.ru. <sup>14</sup> e-mail: Fedoseenkva\_AN@rrcki.ru.

<sup>15</sup> e-mail: lena@dhtp.kiae.ru. <sup>16</sup> e-mail: afus@atis.dhtp.kiae.ru.

- создание информационно-аналитической системы для оперативного сопровождения работ по экологической реабилитации БТБ, сохранения знаний, архивизации организационных и отчетных документов.

БТБ ВМФ России была построена на берегу губы Червяной Йоканьского рейда Святоносского залива Баренцева моря в поселке Гремиха (рис. 1) и введена в эксплуатацию в 60-е годы XX столетия. БТБ предназначалась для обеспечения:

- приема, хранения и отправки на переработку ОТВС атомных подводных лодок (АПЛ) первого поколения с водо-воздушными реакторами (ВВР);
- перезарядки реакторов АПЛ типа «Альфа» с жидкометаллическим теплоносителем (ЖМТ) и хранения отработавших выемных частей (ОВЧ) этих реакторов;
- приема, сбора, временного хранения и переработки жидких и твердых радиоактивных отходов, образующихся при эксплуатации АПЛ и обращения с облученным ядерным топливом.

В 1998 г. Правительство России приняло решение о прекращении эксплуатации БТБ с последующей передачей ее в ведение Министерства по атомной энергии (Минатома) с целью экологической реабилитации.

В июне 2002 г. в Кананаскисе (Канада) состоялся саммит «большой восьмерки» (рис. 2), на котором была инициирована программа «Глобальное партнерство группы восьми» против распространения оружия массового уничтожения и сопутствующих



Рис. 1. Месторасположение БТБ в поселке Гремиха

материалов. Программа явилась основой для дальнейшего сотрудничества при решении проблем наследия холодной войны. В рамках этой Программы в июле 2003 г. представители ФААЭ, СЗЦ «СевРАО», ОАО «НИКИЭТ» и НИЦ КИ совместно с французскими специалистами во главе с А. Турниоль дю Кло посетили БТБ в поселке Гремиха. Ознакомившись с состоянием объекта, французская сторона подтвердила намерение об оказании технической и финансовой поддержки по реабилитации объекта. В первую очередь это относилось к работам по обращению с ОЯТ и высокоактивными твердыми радиоактивными отходами (ТРО), которые хранились на объекте в нештатных условиях.

С этого момента начался длительный этап практического сотрудничества ФААЭ / ГК «Росатом», НИЦ КИ и других российских компаний с Комиссариатом по атомной энергии Франции (КАЭ), фирмой АРЕВА (Франция) по решению комплекса проблем по обращению с ОЯТ и РАО по проекту «Гремиха».



Рис. 2. Участники саммита «большой восьмерки» в Кананаскисе, июнь 2002 г.

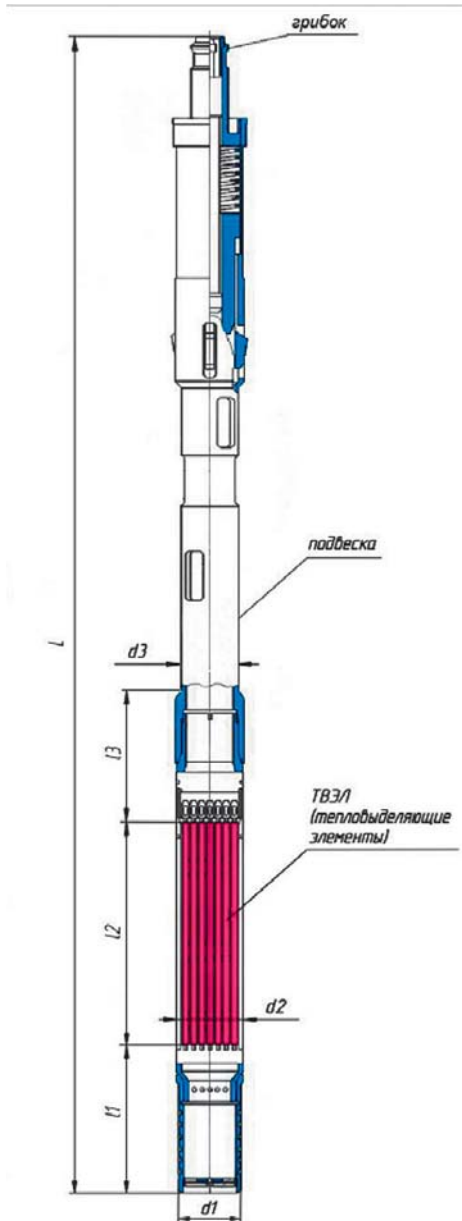


Рис. 3. Общий вид ОТВС

**Исходные данные по обращению с ОЯТ АПЛ с ВВР**

Объект исследований и критерии качества ОТВС. Тепловыделяющие сборки (ТВС) ВВР подводных лодок первого поколения представляют собой длинную (около 2 м) цилиндрическую конструкцию с максимальным диаметром около 50 мм. Нижняя часть ТВС (около 10 см) называется холостой, имеет входное отверстие для теплоносителя и дроссельную шайбу. Далее располагается топливная часть ТВС длиной около 1 м (ТВЭЛ), которая соединена с подвесной частью, имеющей вид трубы длиной около одного метра (Ø48 мм). На верхней части подвески имеется захватная часть длиной 80—100 мм и диаметром около 30 мм (головка сильфона). Весовые

характеристики ТВС находятся в диапазоне от 10,0 до 13,5 кг (рис. 3).

ФГУП «ПО «Маяк»» в соответствии со «Стратегией топливного замкнутого цикла РФ» все облученное топливо, в каком бы состоянии оно ни находилось, принимает на утилизацию (переработку) по требованиям перечня по четырем группам состояния качества отработавших ТВС.

К первой группе относятся извлеченные из реактора ОТВС, которые «свободно под действием собственного веса устанавливаются в транспортный чехол типа 22М и также легко извлекаются из него; не имеют повреждений захватной части (головка, грибок); имеют вес не менее 10,0 кг». Такие ОТВС считаются кондиционными. Это условный термин, относящийся только к возможности применения стандартных процедур для транспортировки и дальнейшей переработки ОТВС по принятой технологической цепочке на предприятии.

Вторую группу составляют ОТВС без внешних признаков повреждения (с частичной негерметичностью оболочек), но без просыпания топливной композиции. Они также являются кондиционными.

К третьей группе ОТВС, некондиционных, относятся те из них, которые имеют повреждения конструкции, такие как отсутствие (или повреждение) захватной части и холостых концов. Обязательным условием является наличие в ОТВС топливной («ядерной») части. Для обращения с некондиционными ОТВС требуется дополнительно разрабатывать специальные приспособления и устройства для транспортировки и подготовки их к переработке. Для транспортировки некондиционных ОТВС необходимо помещать в герметичные пеналы. При этом конструкция и материал пенала должны предусматривать возможность обращения с ним с использованием штатного оборудования и технологических процессов переработки ОЯТ, применяющихся на предприятии.

Четвертую группу ОТВС, некондиционных, составляют так называемые неизвлекаемые ОТВС, состояние конструкции топливной части которых оценить невозможно. ОТВС не выходят (заклиненные) из ячейки чехла (кассеты) при нормальном и дополнительном усилиях. К этой же группе относятся сборки с обрывом подвески от топливной части ОТВС.

**Анализ вариантов и узких мест по вывозу ОТВС**

Для принятия решения по варианту подготовки и вывоза ОТВС рассматривалось несколько предложений.

*Первое предложение.* Хранившиеся на объекте в поселке Гремиха ОТВС отправить в губу Андреева для сосредоточения всех ОТВС в одном месте на северо-западе России с последующей подготовкой и вывозом на переработку на ФГУП «ПО «Маяк»».

*Второе предложение.* Выполнить «быстрые» мероприятия по улучшению условий безопасного хранения ОТВС непосредственно на территории объекта



и вернуться к проблеме вывоза ОТВС через несколько лет.

*Третье предложение.* Незамедлительно начать подготовку к вывозу ОТВС с объекта и направить все топливо на переработку в ФГУП «ПО «Маяк»».

Анализ рисков и сроков достижения конечной цели предложенных вариантов подготовки и вывоза ОТВС показал, что третье предложение является оптимальным, несмотря на трудности из-за наличия на тот момент времени большого количества технических и организационных узких мест.

*Первое узкое место.* Отсутствие нормальных санитарно-гигиенических условий работы персонала в процессе выполнения радиационно-опасных работ, как и мероприятий по обеспечению ядерной и радиационной безопасности. Требовалось приобрести дополнительно приборы и оборудование для оснащения службы радиационной безопасности и радиационного контроля, ввести в эксплуатацию новые санпропускники, закупить необходимое количество средств индивидуальной защиты.

*Второе узкое место.* Отсутствие точной информации о количестве и состоянии целостности конструкции ОТВС и топливной композиции. На объекте ОТВС хранились в двух местах: в приемных гнездах бассейнов хранения здания 1 в 16 чехлах типа 22, в которых находилось 106 некондиционных ОТВС, и на открытой площадке хранения ТРО (ПВХТРО) в 107 контейнерах типа 6 и в 9 контейнерах типа 11. Повышенные уровни гамма-излучения на площадке ПВХТРО и около нее не позволяли провести освидетельствование ОТВС в контейнерах. На объекте отсутствовала база данных по ОЯТ и РАО. По сведениям из различных разрозненных источников, в контейнерах типов 6 и 11 хранилось около 800 ОТВС. Их состояние было неизвестно. Предстояло выполнить работу по определению количества ОТВС и их качества. Для начала работ по освидетельствованию ОТВС требовалось в местах хранения провести ряд мероприятий по улучшению радиационной обстановки путем локализации (защиты) источников гамма-излучения.

*Третье узкое место.* Возможность выгрузки ОТВС из мест хранения и загрузки их в транспортные контейнеры. Было известно, что в некоторых контейнерах типа 6 и во всех контейнерах типа 11 находилась вода. Предстояло провести расчеты и предусмотреть ряд мероприятий для обеспечения ядерной и радиационной безопасности при обращении с контейнерами типов 6 и 11 с ОТВС, разработать варианты транспортно-технологических схем перемещения ОТВС, изготовить большое количество нестандартизированного оборудования и приспособлений, восстановить инженерно-технологические системы объекта.

*Четвертое узкое место.* Транспортные возможности по вывозу ОТВС. Ранее ОТВС с объекта вывозились морским путем с помощью плавучих технических баз (ПТБ) проекта 326. Они заходили в сухой

док СД-10 и принимали на борт отдельные ОТВС либо чехлы с ОТВС. После вывода из эксплуатации этих ПТБ других способов вывоза ОТВС с объекта не осталось. Предстояло решить проблему вывоза ОТВС путем либо создания нового судна, либо модернизации существующих ПТБ. Такая же проблема стояла относительно транспортных контейнеров для вывоза ОТВС. Контейнеры типов 6 и 11 были выведены из эксплуатации и не могли использоваться для транспортировки ОТВС морским путем. Предстояло создать новые контейнеры типа «Матрешка» (содержащие в себе контейнеры типа 6 или 11 с ОТВС) либо модернизировать имеющийся парк контейнеров типа ТК-18 или ТК-108/1.

*Пятое узкое место.* Переработка ОТВС. На ФГУП «ПО «Маяк»» топливные композиции перерабатываются по штатной технологии. На переработку принимаются только кондиционные ОТВС. Некондиционные ОТВС должны проходить дополнительный этап подготовки перед переработкой. Такого места на предприятии не было. Было предложено для этих целей модернизировать существующую на предприятии камеру дефектных чехлов (КДЧ), предназначенную для решения других задач.

### **Подготовка к обращению с ОТВС. Улучшение радиационной обстановки и санитарно-гигиенических условий работы персонала на объекте**

В 2004 и 2005 гг. были проведены первые мероприятия, направленные на обеспечение нормализации радиационной обстановки и улучшение санитарно-гигиенических условий работы персонала. Радиохимическая лаборатория и служба дозиметрического контроля были доукомплектованы приборами контроля и анализа. Приобретено современное оборудование для радиационного и инженерного обследования. Получены дополнительные средства индивидуальной защиты персонала, закуплены защитные материалы для локализации интенсивных источников излучения. Изготовлены и введены в эксплуатацию два мобильных санпропускника, укомплектованные приборами контроля фирмы «Канберра» (Франция). Отремонтирован и оснащен необходимым оборудованием и системами основной санпропускник. Модернизирована система физической защиты объекта.

К началу 2006 г. радиационная обстановка на ПВХТРО продолжала оставаться сложной. Мощность эквивалентной дозы (МЭД) гамма-излучения на высоте 1 м в некоторых местах хранения контейнеров была в диапазоне 112—220 мЗв/ч. В таких условиях было затруднительно проводить продолжительные работы по освидетельствованию ОТВС в контейнерах типов 6 и 11, поскольку за короткое время эффективная доза облучения персонала могла превысить установленный предел. Было решено на ПВХТРО локализовать наиболее мощные источники гамма-излучения (рис. 4) путем их размещения

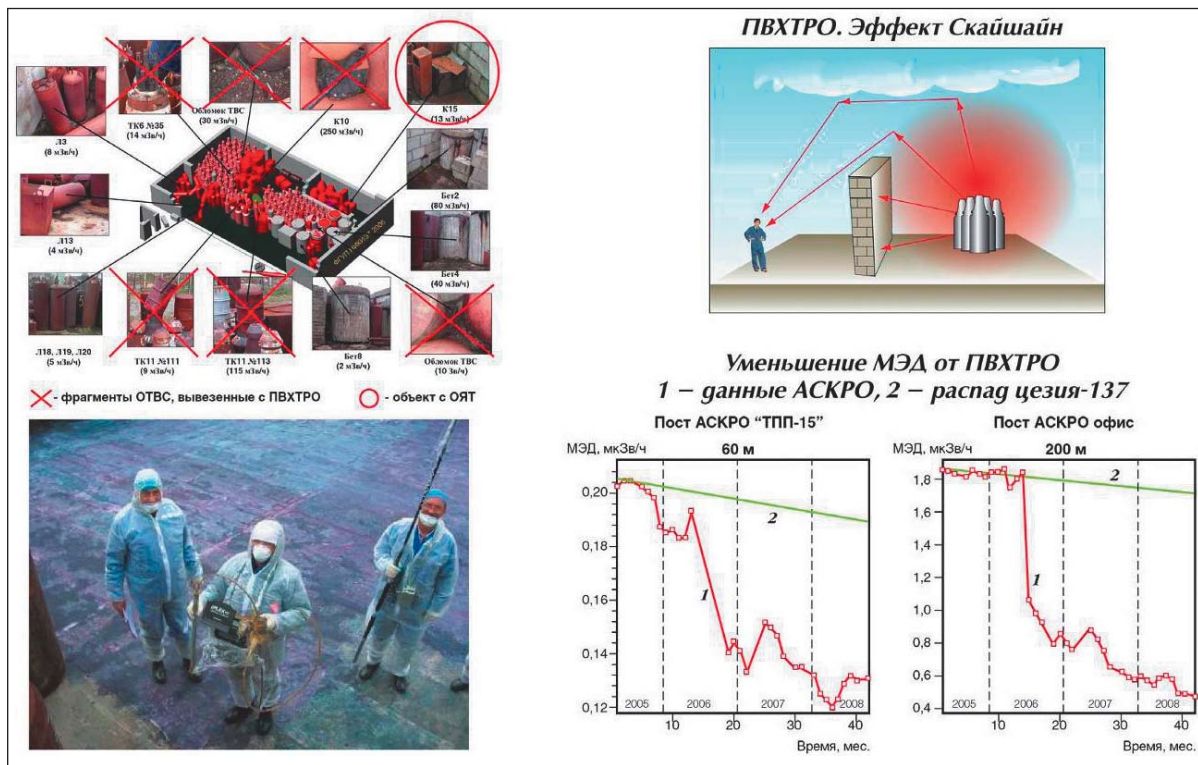


Рис. 4. Улучшение радиационной обстановки на ПВХТРО. Безопасность персонала

в пустых защитных контейнерах типа 6 или за счет дополнительной защиты. В результате локализации основных источников средняя мощность дозы на ПВХТРО снизилась в 10 раз, с 3,2 до 0,3 мЗв/ч. В отдельных местах радиационная обстановка улучшилась более чем в 200 раз. Снижение величины МЭД на ПВХТРО привело к улучшению радиационной обстановки на объекте в целом. Так, за счет эффекта «скайшайн» величина МЭД в офисе объекта на расстоянии 200 м от ПВХТРО уменьшилась в три раза. Улучшение радиационной обстановки на ПВХТРО позволило приступить к работам по освидетельствованию ОТВС в контейнерах типов 6 и 11.

**Методы диагностики состояния качества ОТВС**

Контейнеры типов 6 и 11 обладают необходимыми высокими защитными свойствами и ограниченной доступностью к конструкции размещенных в них ОТВС. Для освидетельствования ОТВС необходимо было разработать новые, нестандартные методы оперативной диагностики состояния качества ОТВС непосредственно в контейнерах. Методы были разработаны, подготовлены аппаратные и технические средства измерений и применены в полевых условиях на площадке ПВХТРО.

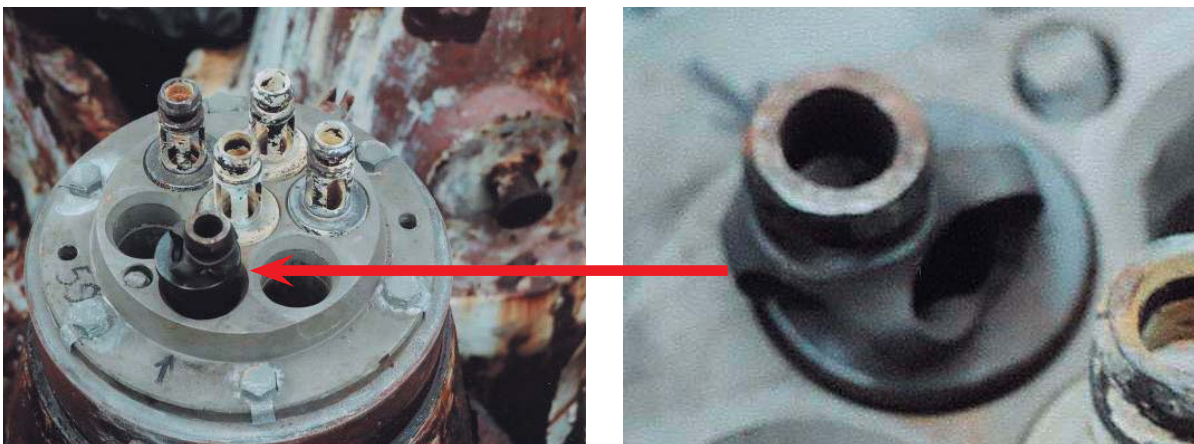
**Метод визуального обследования горловины контейнера**

При снятой крышке с контейнера типа 6 (рис. 5) осуществлялась маркировка каналов кассеты следующим образом: около одного из каналов несмываемой краской наносился знак (стрелка на рис. 6 а) — обозначение позиции 1. Остальные каналы нумеровались по часовой стрелке: позиции 2—6. Центральный канал — позиция 0. Далее цифровым фотоаппаратом выполнялась фотосъемка, фиксировался общий вид семипозиционной кассеты — вкладыша контейнера. Определялось количество ОТВС в каналах кассеты, фиксировались внешние нарушения конструкции ОТВС: искажения захватной части (головки сильфона), выпирание ОТВС из штатного положения и др. (рис. 5).

Большинство контейнеров были загружены штатно, по 7 штук ОТВС без каких либо отклонений



Рис. 5. Приспособление для снятия крышки контейнера (винтовой подъемник) и калибр для проверки геометрии головки сильфона ОТВС



а б  
Рис. 6. Внешний вид горловины контейнера типа 6 № 59 со снятой крышкой

конструкции головки. Пример состояния загруженных с отклонениями ОТВС в контейнер типа 6 № 59 представлен на рис. 6. Фотографии демонстрируют: некомплектность контейнера (отсутствуют ОТВС в каналах 2 и 6 кассеты) (рис. 6а), выпирание ОТВС в канале 1 из штатного положения (рис. 6а), искажение головки ОТВС (изгиб, смятый грибок) на рис. 6а и 6б.

#### Метод динамометрии усилий при выдвигании ОТВС

Одним из основных показателей, характеризующих целостность ОТВС, является масса сборки. Однако взвешивание в полевых условиях открытой площадки не обеспечивает стандартных условий измерений. Большинство контейнеров стоят не вертикально,

некоторые ОТВС, хотя и помещены в каналы кассеты, имеют разную степень изогнутости, что приводит к «затиранию» в канале вплоть до фиксации и заклинивания. Затираание и заклинивание могут также проявляться при распухании кожухов ОТВС. Применение метода динамометрии усилий позволяет решить вопрос измерений массы. В классическом приближении при продвижении тела в соприкосновении с поверхностями прикладываемое усилие определяется следующими составляющими: силой инерции, силой трения покоя, зависящей от тангенциальной составляющей силы тяжести, и продольной составляющей силы тяжести.

При проведении измерений сил, действующих при выдвигании ТВС из канала, применялся пружинный динамометр со шкалой до 20 кг (цена деления 0,2 кг, погрешность измерений  $\pm 0,2$  кг) (рис. 7).



Усилия при выдвигании ОТВС, кг

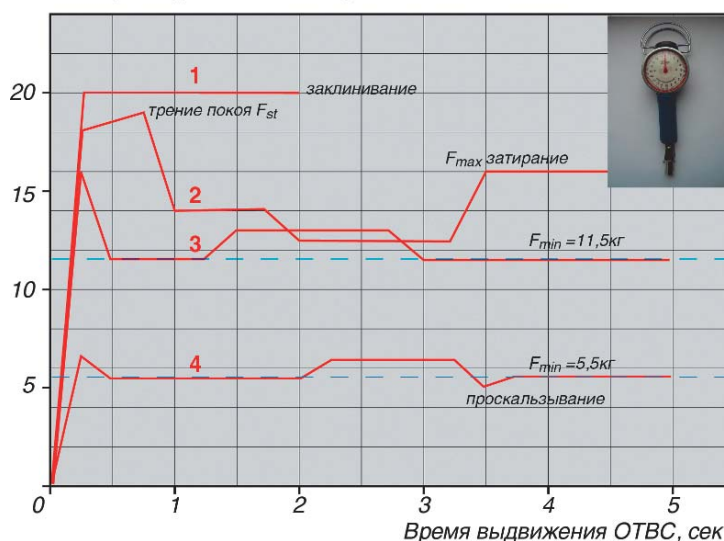


Рис. 7. Проведение динамометрии ОТВС: 1 – ОТВС заклинена; 2 – ОТВС с большим уровнем начального усилия  $F_{st}$  и трением скольжения (затираание)  $F_{max}$  при выдвигании ОТВС; 3 – ОТВС с типичным уровнем начального усилия  $F_{st}$  и усилия скольжения  $F_{min}$ ; 4 – ОТВС с оборванной активной частью



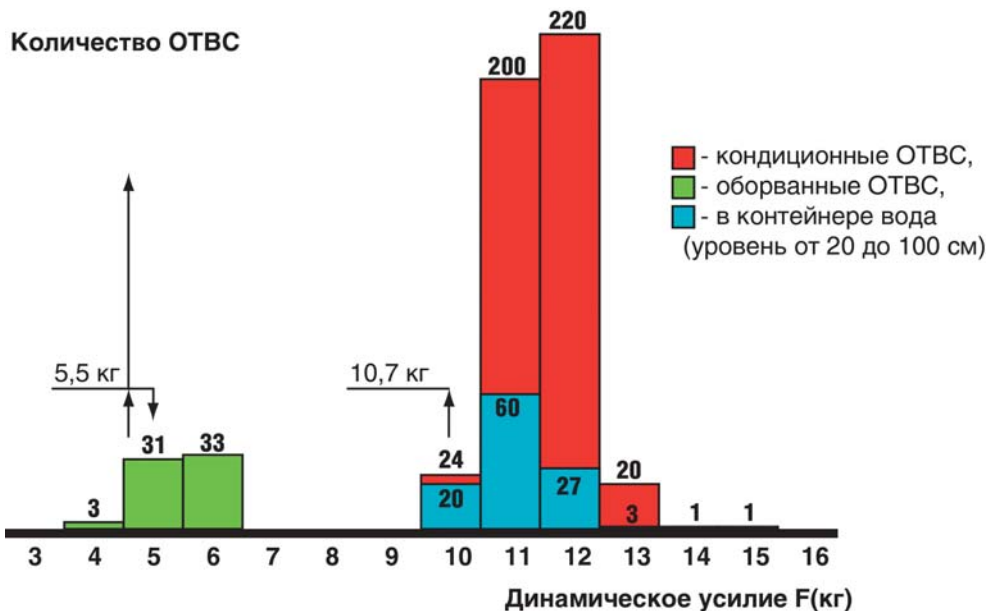
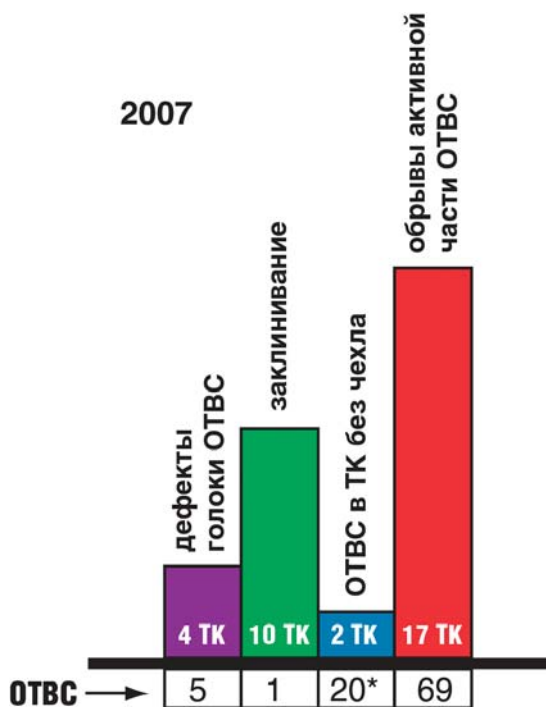


Рис. 8. Распределение ОТВС по динамометрическим показателям при освидетельствовании (выборка – 640 штук)

Обобщенные результаты освидетельствования ОТВС методом динамометрических усилий представлены на рис. 8.

В процессе освидетельствования всех 107 контейнеров ТК-6, содержащих 729 отработавших ОТВС, было выявлено 95 дефектных сборок (13%). Эти дефекты — обрывы топливной части ОТВС, заклинивание сборки в канале кассеты контейнера, искажения головки захватной части ОТВС. Распределение выявленных таким образом различных дефектов ОТВС представлено на рис. 9.



**Метод зондирования каналов кассет контейнеров типа 6**

Определение количества и радиоактивности воды, оказавшейся в закрытых штатными крышками контейнерах, важно с точки зрения обращения с ОТВС в контейнерах типов 6 и 11 с обеспечением ядерной и радиационной безопасности (ЯРБ) при их транспортировке. Недопустим перелив радиоактивной воды во время транспортно-технологических операций при наклоне контейнеров более определенного угла. Процедура отбора проб воды и измерений затруднена в полностью снаряженных контейнерах (7 сборок). Оказалось, что всего в 4 контейнерах типа 6 с неполной комплектацией имеются свободные каналы в кассете, в которых легко измерить уровень воды и взять ее пробу.

Для проникновения в снаряженные каналы был подготовлен специальный зонд — тонкая стальная профилированная и размеченная полоса рулетки. Радиус кривизны такого зонда выбирался близким к радиусу канала кассеты. Для определения уровня воды на зонд монтировали бумажные датчики — кислотно-основные индикаторы pH. Полоски 8×10 мм наклеивали в определенной последовательности до высоты 1200 мм. Максимальное погружение шупа — 1950 мм.

Наличие воды было зарегистрировано в 38 контейнерах (36% общего числа). Распределение количества воды в контейнерах свидетельствует о ее

Рис. 9. Количество и характер дефектов структуры ОТВС в контейнерах типа 6: 1 — дефекты захватной части ОТВС; 2 — заклиненные ОТВС; 3 — ОТВС в навал в контейнерах типа 6 без кассет по 10 штук; 4 — обрывы топливной части (перечисление позиций — слева направо)

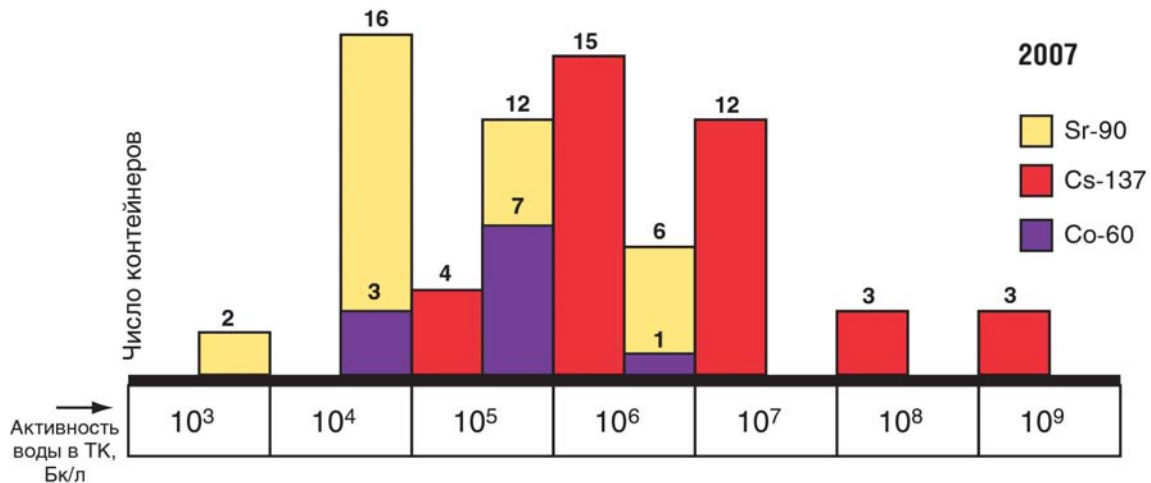


Рис. 10. Распределение числа контейнеров типа 6, содержащих воду, по удельной радиоактивности воды

случайном попадании. По-видимому, имели место дефекты крышек и качества их крепления.

Для определения удельной радиоактивности воды измеряли радиоактивность адсорбата на бумажных мини-индикаторах рН после их погружения в исследуемый контейнер. Индикаторы извлекали, высушивали и проводили измерения радиоактивности при помощи радиометра УСК «Гамма-ПЛЮС» (ПО «Изо-топ»). Для получения данных об удельной активности воды в контейнерах методом намокания бумажного индикатора были проведены специальные нормировочные измерения с жидкими отходами с известной удельной радиоактивностью. Описываемый подход в технике отбора проб и идентификации жидких радиоактивных отходов является новым и требует дальнейшего развития. Результаты измерения более 100 образцов бумажных индикаторов представлены на рис. 10.

Гистограмма рис. 10 в декадном масштабе отражает удельную радиоактивность продуктов деления. Анализ результатов измерений радиоактивности воды в контейнере позволяет оценить негерметичность оболочек топливной части отработавших сборок.

#### **Метод пространственного распределения полей гамма-излучения внутри контейнеров типов 6 и 11 (метод ЭСР-дозиметрии)**

Определение пространственного распределения полей ядерных излучений с использованием длинномерных детекторов излучений на основе метода электронного спинового резонанса (ЭСР) проводились нами и ранее. Метод регистрации парамагнитных центров, образованных в материалах под действием излучения, позволяет сформировать длинные, линейно континуальные дозиметрические системы с регистрацией накопленной дозы в любой точке ЭСР-сенсора. В качестве сенсоров гамма-излучения использовались тонкие трубки диаметром 1—4 мм или стержни из плавящего кварца

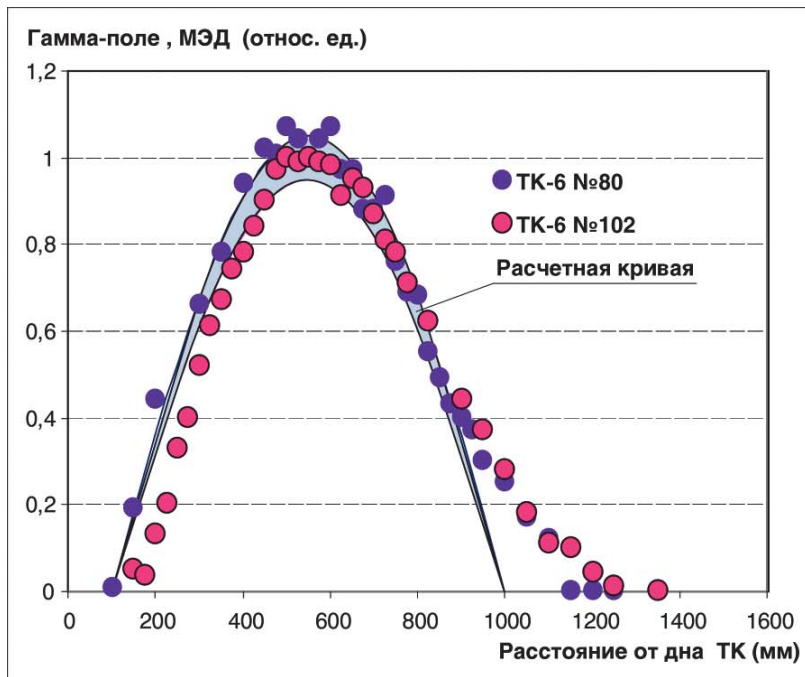
с малыми химическими добавками. Использовались также микроволоконные жгуты диаметром 2—5 мм из полимера ПТФЭ. Шнур ПТФЭ длиной 1500 мм помещался в тонкостенную металлическую герметизированную трубку диаметром 6 мм, на которую надевался внешний защитный полимерный чехол диаметром 8 мм. Такие длинномерные дозиметрические стержни вводили в транспортные контейнеры, содержащие облученное топливо, на время, необходимое для регистрации показаний ЭСР. Имеется несколько вариантов ввода дозиметрического шнура: свободные каналы кассеты диаметром 50 мм, внутренний технологический канал ОТВС диаметром 22 мм, зазор до 5 мм между стенками ОТВС и канала кассеты, пространство между сборками внутри контейнера, в котором отсутствует штатная позиционная кассета или чехол. При использовании ЭСР-сенсора на основе жгута ПТФЭ для получения сигнала ЭСР с необходимым отношением сигнал/шум экспозиция континуального дозиметрического стержня составляла несколько суток. По окончании экспозиции шнур ПТФЭ извлекали из защитных оболочек и сканировали, протягивая сквозь резонатор спектрометра ЭСР.

При освидетельствовании ОТВС одной из задач была регистрация дефектного состояния ядерного топлива, при котором на дно контейнера могли попасть фрагменты сборок и твэлов, а также просыпаться отработавшего топлива. Оценка радиоактивности и структурного состояния ядерных материалов, находящихся в неупорядоченном состоянии в контейнерах, является основой принятия технических решений по обращению с ними в соответствии с нормами ядерной и радиационной безопасности.

Результаты показаний ЭСР-сенсоров, экспонированных внутри ОТВС в контейнерах типа 6 № 80 и 102, представлены на рис. 11.

Для сравнения форм линейных дозовых распределений, полученных для разных ОТВС, экспериментальные значения в максимуме нормированы





Горловина ТК-6 № 80.  
ТК содержит комплект – 7 ОТВС



Горловина ТК-6 № 102.  
ТК содержит 10 ОТВС

Рис. 11. Распределение МЭД гамма-излучения ( $P_\gamma$ ) по высоте внутри технологических каналов ОТВС, размещенных в контейнерах типа 6 № 80 и 102. Сплошные кривые – расчет  $P_\gamma/P_\gamma(\max) \pm 5\%$

к единице. При этом абсолютные величины МЭД в максимумах (центр топливной части сборки) равны: контейнер типа 6 № 80 — 3,2 Зв/ч, типа 6 № 102 — 13,5 Зв/ч. На рис. 11 также представлена расчетная косинусоидальная зависимость (область регистрации  $\pm 5\%$ ) для варианта симметричной активной зоны компактного транспортного ВВР (длина твэла 900 мм). В многочисленных измерениях, проведенных в контейнерах типа 6, в которых не было радиоактивной просыпи на дне, было отмечено, что в нижней части (0—150 мм от дна) оценка величины гамма-излучения не превышает 3% максимума. Поэтому при оценках величин радиоактивности на дне, регистрируемой по увеличенному гамма-излучению и имеющей спадающий характер от координаты, учитывали фон, определяемый излучением радионуклидов в центре топливной части ТВС и других отдаленных сборок в кассете ТК.

На рис. 12 представлены результаты показаний дозиметрического стержня, экспонированного в контейнере типа 11 № 111 (время экспозиции несколько суток). В этом контейнере нет семипозиционной кассеты, и все 8 ТВС расположены навалом. В контейнере имеется радиоактивная вода (примерно  $5 \cdot 10^9$  Бк/л) до высоты 800 мм от дна. По оценке ее вклад в поле по сравнению с излучением сборок незначителен.

Полученное распределение поля гамма-излучения соответствует суперпозиции полей трех радиоактивных источников:

- группы ОТВС, упирающейся на дно ( $F_{\max} = 36$  Зв/ч); экспериментальные точки и расчетные зависимости относятся к зоне а на рис. 12;

- группы ОТВС, опирающейся на другие, косо расположенные ОТВС ( $F_{\max} = 10$  Зв/ч); точки и кривые в зоне В рис. 12;
- фрагментов ТВС и просып ОЯТ, лежащих на дне, — точки и кривые в зоне С рис. 12.

Радиоактивность последней группы можно оценить по пространственному ходу спадающего с высотой гамма-излучения. Определение радиоактивности на дне необходимо с точки зрения обращения с контейнерами и утилизации обломков твэлов. Была выбрана простейшая модель источника — компактный квазиточечный. Расчетная активность составляет около  $(2 \pm 1) \cdot 10^{12}$  Бк (около 70 Ки), что соответствует 0,2—0,5 активности ядерного материала одной ОТВС среднего выгорания.

### Результаты и анализ освидетельствования ОТВС

С помощью перечисленных методов и средств диагностики было установлено, что в 107 контейнерах типа 6 находится 729 ОТВС, а в 9 контейнерах типа 11 — 63 ОТВС. Общее количество ОТВС в контейнерах типов 6 и 11 составило 792 штуки.

Анализ показал, что состояние конструкции 663 ОТВС удовлетворительное. Они были отнесены к группе кондиционных и рекомендованы для вывоза на переработку. Остальные 129 ОТВС были отнесены к группе некондиционных, и для вывоза их с объекта и передачи на переработку потребовались специальные технические решения. Это же относится и к ОТВС в количестве 106 штук, хранящихся в 16 чехлах типа 22.

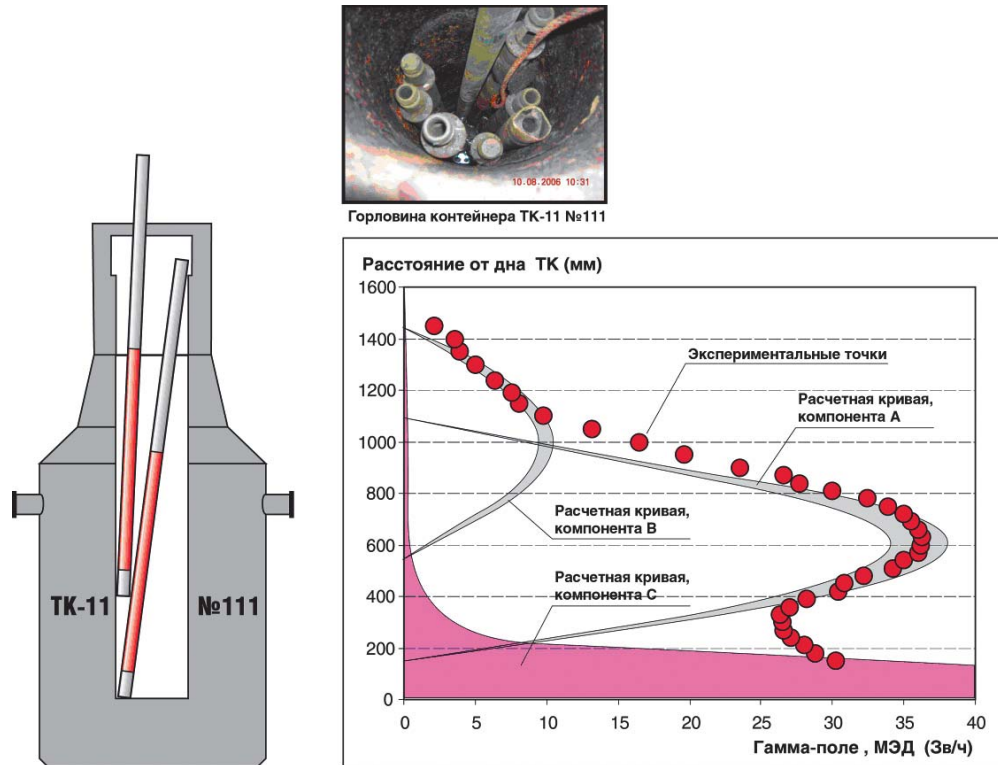


Рис. 12. Распределение МЭД гамма-излучения ( $P_\gamma$ ) по высоте вдоль ОТВС в объеме контейнера типа 11 № 111 (кружки), содержащего 8 ОТВС. Сплошные кривые – расчет  $P_\gamma$  (max)  $\pm 5\%$ : компонента А – вклад ОТВС, упирающихся в дно контейнера; компонента В – вклад от 2 ОТВС, не достигающих дна на 40 см; компонента С – вклад компактного источника 73 Ки на дне контейнера

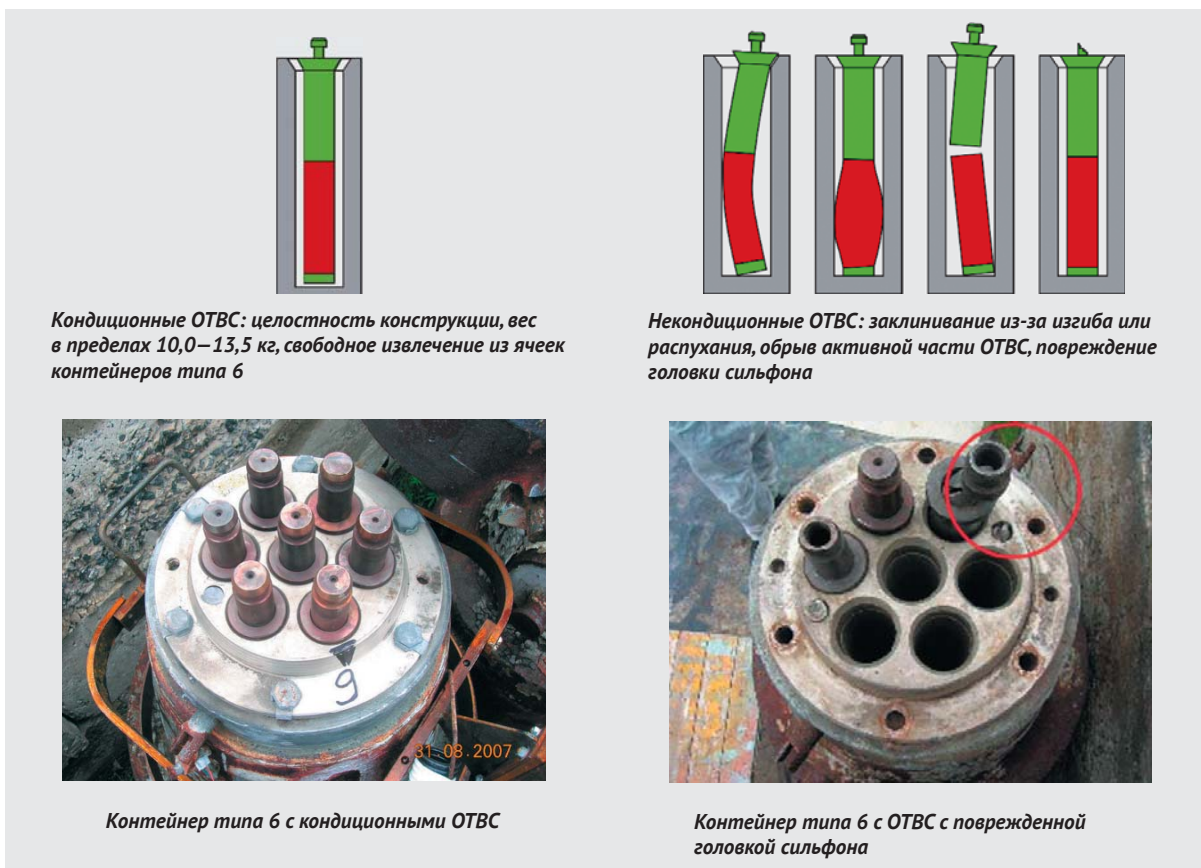


Рис. 13. Кондиционные и некондиционные ОТВС

Таблица 1. Этапы подготовки и вывоза кондиционных ОТВС

№ п/п	Этап работ	Сроки работ, доноры	Работы
1	<b>1 этап.</b> Разработка технической и разрешительной документации. Обоснование ядерной, радиационной и экологической безопасности	2007—2008 гг., КАЭ Франции	
2	<b>2 этап.</b> Инженерно-техническое обеспечение работ, включая модернизацию теплохода «Серебрянка» и изготовление нестандартного оборудования	2008—2009 гг., ГК «Росатом», КАЭ Франции	
3	<b>3 этап.</b> Вывоз кондиционных ОТВС по штатной схеме	2008—2011 гг., ГК «Росатом», КАЭ Франции	
Итого: подготовлено и вывезено 663 кондиционных ОТВС			

Виды дефектов, характеризующие кондиционные и некондиционные ОТВС, приведены на рис. 13.

**Подготовка и вывоз ОТВС**

**Подготовка и вывоз кондиционных ОТВС**

По результатам освидетельствования полученная информация по количеству и состоянию целостности/дефектности конструкции ОТВС позволила приступить к подготовительным работам по вывозу ОТВС на переработку. Анализ предлагаемых вариантов транспортно-технологических схем показал, что наилучшим вариантом является восстановление штатной схемы вывоза кондиционных ОТВС. По штатной схеме ОТВС готовились к вывозу с использованием имеющегося на объекте поста перегрузки (кессона), где ОТВС из контейнеров типа 6 или 11 с помощью перегрузочного устройства выгружались, перемещались на судно к посту загрузки и выгружались в чехлы различной модификации, установленные в контейнере ТК-18. Подготовка и вывоз ОТВС включал несколько этапов, представленных в табл. 1.

На первом этапе разрабатывалась конструкторская документация, транспортно-технологическая схема, технологический регламент. Особое внимание было обращено на обоснование ядерной и радиационной безопасности перемещения контейнеров типов 6 и 11 с ОТВС с открытой площадки ПВХТРО к посту перегрузки у здания 1. В результате были выработаны рекомендации для обеспечения ЯРБ при перемещении ОТВС с места хранения к посту перегрузки:

- обращение с ОТВС допускается только при отсутствии воды во внутренней полости контейнера;
- перемещение контейнеров типов 6 и 11 с ОТВС возможно только с помощью захватного устройства, исключающего обрыв цапфы или выпадение нижней пробки днища контейнера;
- верхняя часть контейнера (горловина) должна быть закрыта новой крышкой;
- скорость движения автомобильного контейнеровоза должна быть не более 5 км/ч;
- для уменьшения зоны возгорания в случае пожара в автомобиль заливать бензин в объеме для обеспечения одной поездки (около 5 л);



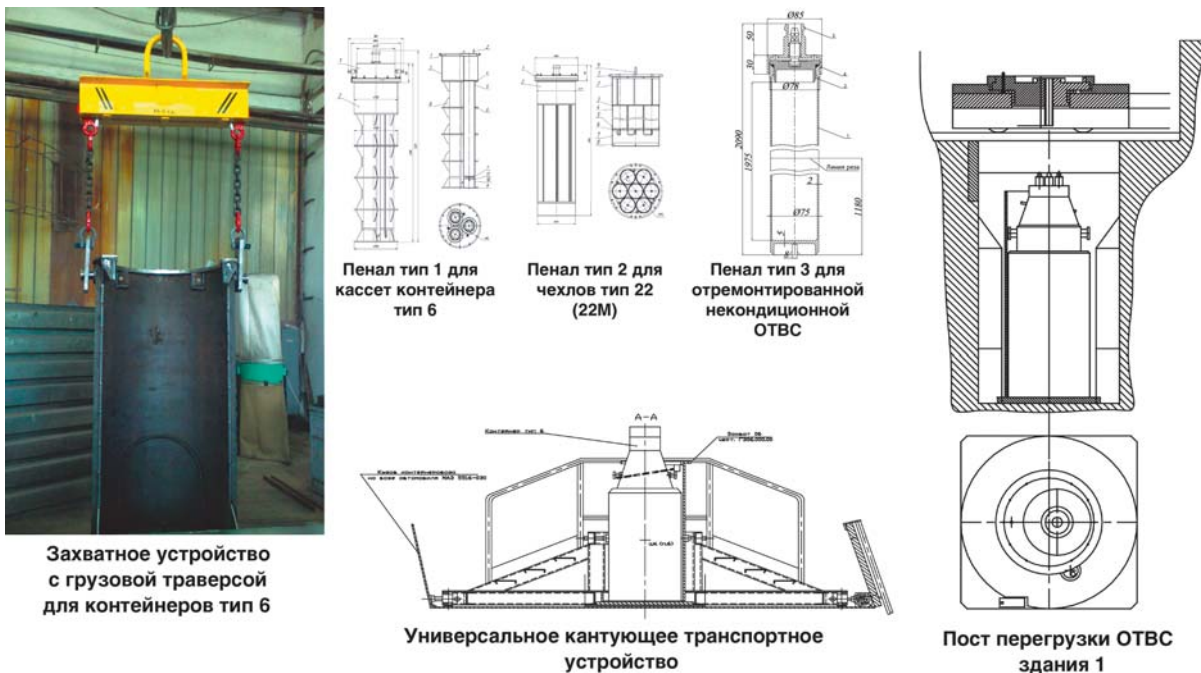


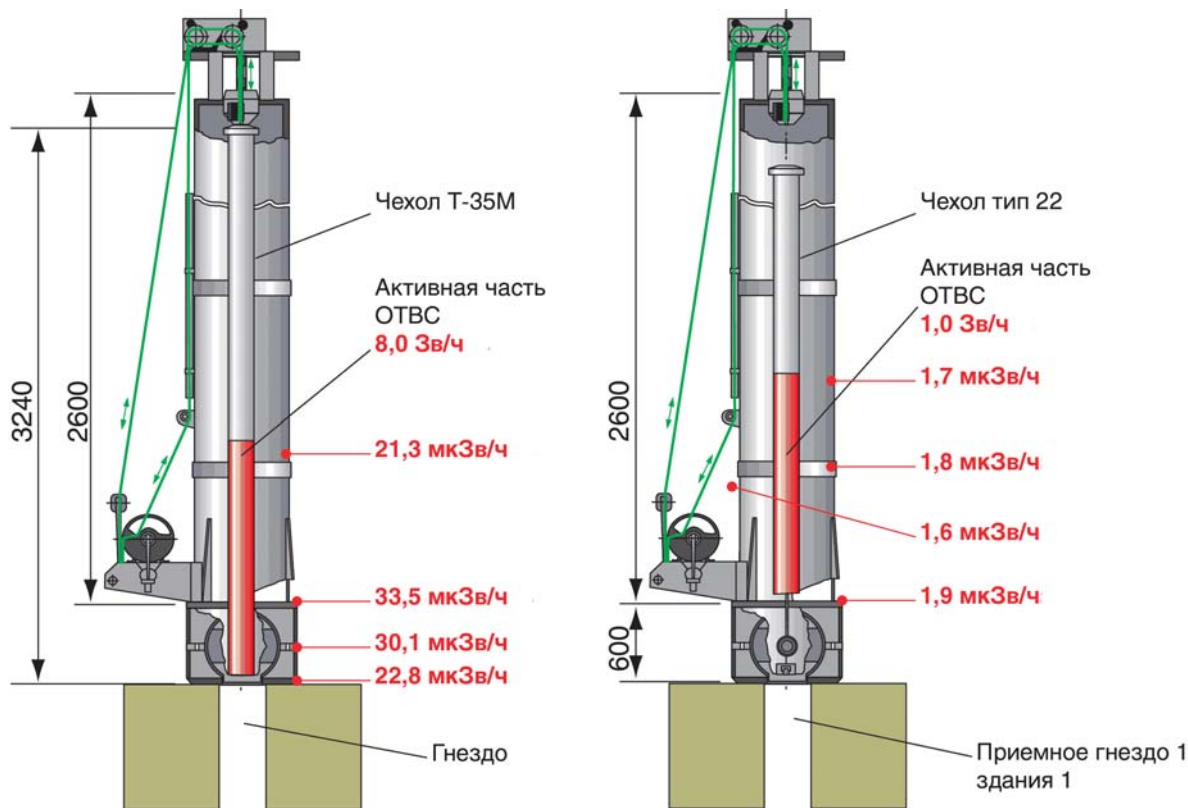
Рис. 14. Нестандартизированное оборудование

- на случай отказа тормозов автомобиля перед ним должен двигаться бульдозер.
- На втором этапе осуществлено инженерно-техническое обеспечение вывоза ОТВС (рис. 14).
- На объекте был отремонтирован и восстановлен штатный пост перегрузки ОТВС. Изготовлено и испытано на прочность хватное устройство с траверсой, универсальное кантующее транспортное устройство, крышки и другое оборудование и приспособления. Одновременно решался вопрос о выворе судна, которое должно было обеспечить вывоз

ОТВС. Создание контейнеровоза «Россита», предназначенного для этих целей, задерживалось. Плановый спуск его на воду в Италии был намечен на 2010 г. Для обеспечения вывоза ОТВС из отделения «Гремиха» в запланированные сроки Госкомпания «Росатом» сделала выбор в пользу технологического судна — теплохода «Серебрянка». Предстояла большая и трудоемкая работа на ФГУП «Атомфлот» по модернизации этого судна, которое ранее обеспечивало вывоз жидких радиоактивных отходов в соответствующих емкостях. Одна из емкостей была



Рис. 15. Модернизация судна «Серебрянка»



Испытания радиационной защиты на ФГУП «Атомфлот»

Испытания радиационной защиты в отделении «Гремиха»

Рис. 16. «Горячие испытания» контейнера КБ-651К

демонтирована, и на освободившемся пространстве были созданы пост загрузки ОТВС в стандартные чехлы различных модификаций и 6 мест для размещения контейнеров типа ТУК-18 или ТУК-108/1. Предусмотрено место для возможного размещения двух контейнеров типа ТК-143 с ОВЧ (рис. 15).

К концу 2008 г. «Серебрянка» была модернизирована, получены все разрешительные документы, обучен персонал для загрузки ОТВС в штатные чехлы и контейнеры. 26 декабря 2008 г. была завершена загрузка и осуществлен вывоз в Мурманск на ФГУП «Атомфлот» первой партии кондиционных ОТВС в количестве 294 штук в штатных чехлах типа 22 в 6 контейнерах ТУК-18.

В общей сложности по штатной схеме с 2008 по 2010 гг. с территории отделения «Гремиха» на переработку в ФГУП «ПО «Маяк»» вывезено 663 кондиционных ОТВС.

#### Подготовка и вывоз некондиционных ОТВС

Ранее было показано, какие ОТВС по видам были отнесены к некондиционным:

1. ОТВС, хранящиеся в 16 чехлах типа 22 в приемных гнездах здания 1;
2. ОТВС изогнутые и распухшие;
3. ОТВС с оборванными подвесками в месте стыка с топливной частью;

4. ОТВС с дефектами головок;

5. ОТВС, заклиненные в ячейках кассеты контейнера типа 6, в чехле типа 21 в контейнере типа 11.

Для подготовки к вывозу каждого вида некондиционных ОТВС приходилось находить отдельные технические решения, разрабатывать рабочую конструкторскую документацию, изготавливать нестандартизированное оборудование, обосновывать ядерную, радиационную и экологическую безопасность при обращении с ними, разрабатывать документацию и специальные условия на транспортировку и их длительное хранение.

Для обеспечения вывоза некондиционных ОТВС, хранящихся в чехлах типа 22 в приемных гнездах здания 1 и заклиненных в кассетах контейнеров типа 6, потребовался новый перегрузочный контейнер с такими массой и габаритными размерами, чтобы можно было использовать имеющийся на объекте кран КПМ-10 грузоподъемностью 10 т, а также обеспечить возможность опускания контейнера в помещение приемных гнезд через существующий люк на крыше здания 1.

Анализ показал, что находящиеся в эксплуатации перегрузочные контейнеры типов КБ-651, КБ-650, КП-400 не удовлетворяют новым требованиям к параметрам контейнера по массе (более 14 т), размерам внутреннего диаметра (до 260 мм)

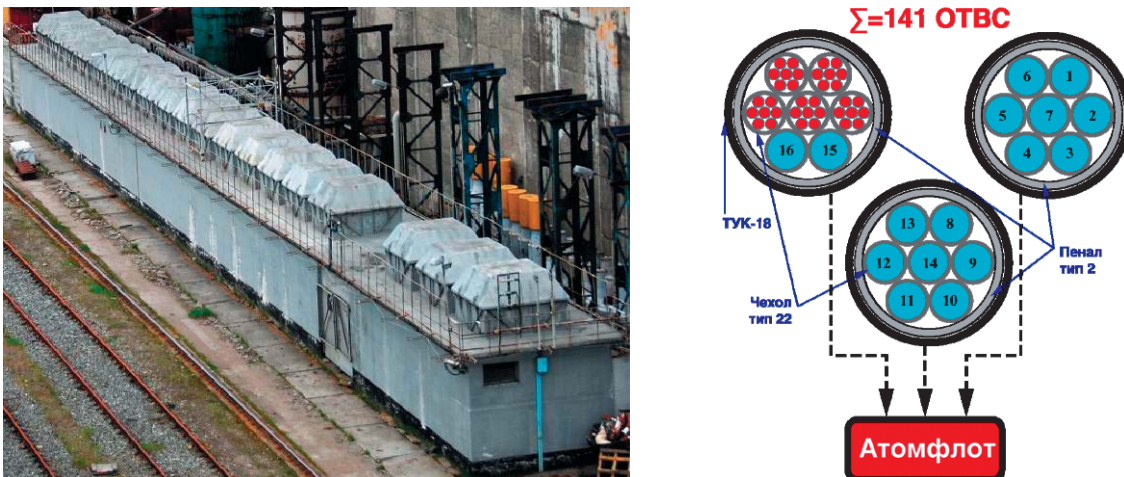


Рис. 17. Накопительная площадка ФГУП «Атомфлот» для хранения контейнеров с ОЯТ

и грузоподъемности (до 450 кг). Потребовалось спроектировать, изготовить и испытать новый специализированный защитный перегрузочный контейнер. При его создании были применены новые подходы в проектировании для обеспечения радиационной безопасности персонала при одновременном значительном уменьшении весогабаритных характеристик. Результаты «горячих испытаний» нового контейнера КБ-651К в ФГУП «Атомфлот» и в отделении «Гремиха» СЗЦ «СевРАО» подтвердили правильность выбора конструктивных и технологических решений. Новый контейнер КБ-651К обеспечил и радиационную безопасность персонала, и требуемые весогабаритные параметры (рис. 16).

Перегрузочный контейнер КБ-651К использовался в отделении «Гремиха» СЗЦ «СевРАО» при выгрузке 16 чехлов типа 22 с ОТВС из приемных гнезд здания 1 и загрузке их в транспортные контейнеры ТУК-18 для отправки на переработку в ФГУП «ПО «Маяк»».

Но оставалась еще одна проблема. При обращении с чехлами типа 22, в которых были установлены 106 некондиционных ОТВС, для обеспечения ЯРБ потребовалось их специально разгерметизировать для слива воды. ОТВС в негерметичных чехлах ФГУП «ПО «Маяк»» на переработку не принимает. Кроме того, из данных отчета ОАО «НИКИЭТ» некоторые искривленные ОТВС устанавливались в чехлы с большим усилием и фактически были заклинены в ячейках чехлов типа 22. Встал вопрос, что делать, чтобы ФГУП «ПО «Маяк»» приняло негерметичные чехлы и подготовило заклиненные и некондиционные ОТВС к переработке. Были предложены следующие технические решения.

1. Для обеспечения транспортировки и выполнения работ с негерметичными чехлами типа 22 с некондиционными ОТВС специалисты Димитровградского филиала ФГУП «ФЦЯРБ» предложили разработать специальный герметичный пенал типа 2 с установкой его в штатный контейнер ТУК-18.

2. На ФГУП «ПО «Маяк»» было предложено расширить возможности по приему и подготовке к переработке некондиционных ОТВС путем модернизации существующей камеры дефектных чехлов с оснащением ее необходимыми оборудованием и оснасткой.

Для безопасного обращения с некондиционными ОТВС были выполнены расчеты по обоснованию ЯРБ при транспортировке ТУК-18 с пеналом типа 2 с ОТВС и длительном хранении ТУК-18 на накопительной площадке ФГУП «Атомфлот». Расчеты показали:

1. Транспортировка в ТУК-18 некондиционных ОТВС АПЛ первого поколения в пеналах типа 2 с семью чехлами 22 удовлетворяет требованиям ядерной безопасности при выполнении условия, что объем остаточной воды в ТУК-18 не должен превышать 4,8 л;

2. Допускается длительное хранение (до пяти лет) контейнеров ТУК-18 с некондиционными ОТВС, размещенными в пеналах типа 2.

Пенал типа 2 был разработан, изготовлен в трех экземплярах и испытан. В них разместили 16 негерметичных чехлов типа 22 с некондиционными ОТВС в количестве 106 штук. Дополнительно в один из пеналов типа 2 разместили 5 герметичных чехлов типа 22 и загрузили в них отремонтированные ОТВС в количестве 35 штук. В настоящее время три контейнера ТУК-18 находятся на временной площадке хранения в ФГУП «Атомфлот» с некондиционными ОТВС в количестве 141 штука (рис. 17).

После ввода модернизированной КДЧ в эксплуатацию три контейнера ТУК-18 будут направлены на ФГУП «ПО «Маяк»» на подготовку к переработке ОТВС.

#### **Подготовка и вывоз изогнутых и распухших ОТВС**

Из-за кривизны либо увеличенного диаметра некоторые ОТВС не входили в ячейки чехлов типа 22 и были размещены в разработанные и изготовленные



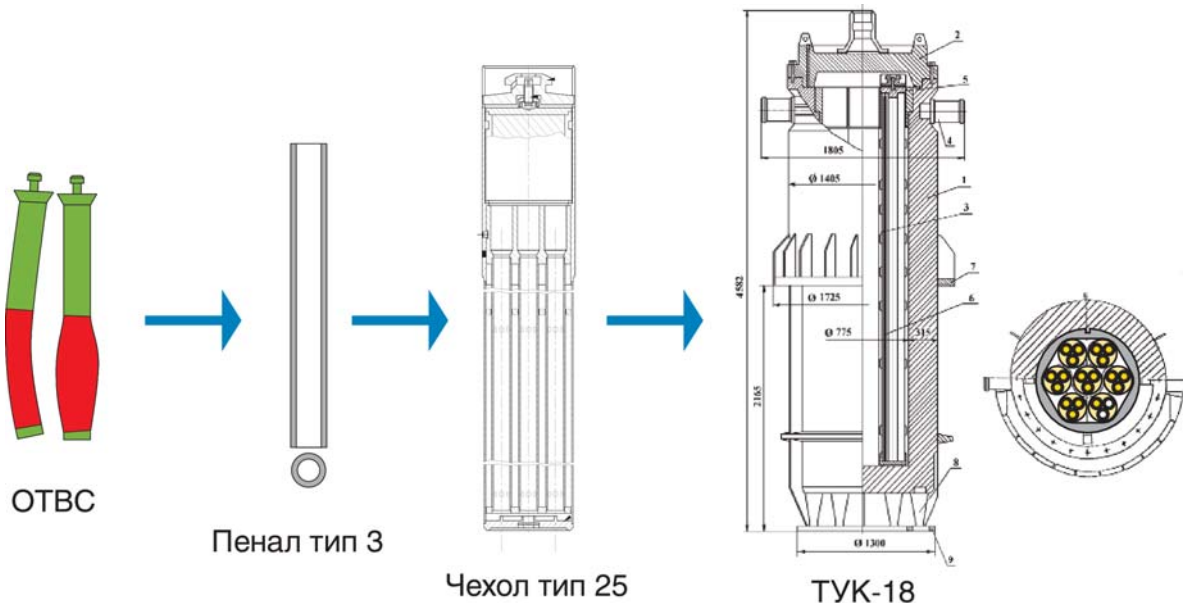


Рис. 18. Схема вывоза некондиционных ОТВС в пеналах типа 3

герметичные пеналы типа 3 большого внутреннего диаметра с последующей установкой в штатные трехъячеечные чехлы типа 25. Далее чехлы типа 25 в контейнерах ТУК-18 по штатной схеме направлялись на ФГУП «ПО «Маяк» на переработку (рис. 18). Всего на ПО «Маяк» было направлено на переработку 60 ОТВС в пеналах типа 3.

**Подготовка и вывоз ОТВС с оборванными подвесками**

Оборванная подвеска в месте стыковки с топливной частью ОТВС показана на рис. 19. Общее количество подвесок — 69. Таким образом, в каналах

кассет контейнеров типа 6 находилось такое же количество активных частей ОТВС.

Для дальнейшего обращения с такими оборванными активными частями ОТВС осуществлялся их ремонт путем установки захвата в отверстия верхних решеток в месте обрыва, а восстановление штатной длины ОТВС осуществлялось с помощью транспортного переходника с головкой, конструктивно выполненной аналогично штатной ОТВС (рис. 20).

Для ремонта были разработаны и изготовлены захваты типа «Ерш» и транспортные переходники. У большинства оборванных ОТВС наружный чехол и отверстия в торце не были повреждены (рис. 21),



Рис. 19. Оборванная подвеска ОТВС



Оборванная часть ОТВС



Торец ОТВС

Ерш

Фото расположения ОТВС в контейнере



Отверстия для захвата Ø36мм

Отверстия для захвата Ø26мм

**Установка захвата на фрагмент ОТВС**



Транспортный переходник

Захват типа «Ерш»



Рис. 21. Вид на верхнюю часть оборванной ОТВС в контейнере типа 6 № 26 в ячейке 0



Рис. 22. Вид на верхнюю часть оборванной ОТВС в контейнере типа 6 № 26 в ячейке 3. Требуется установка захвата типа «Ерш» Ø26

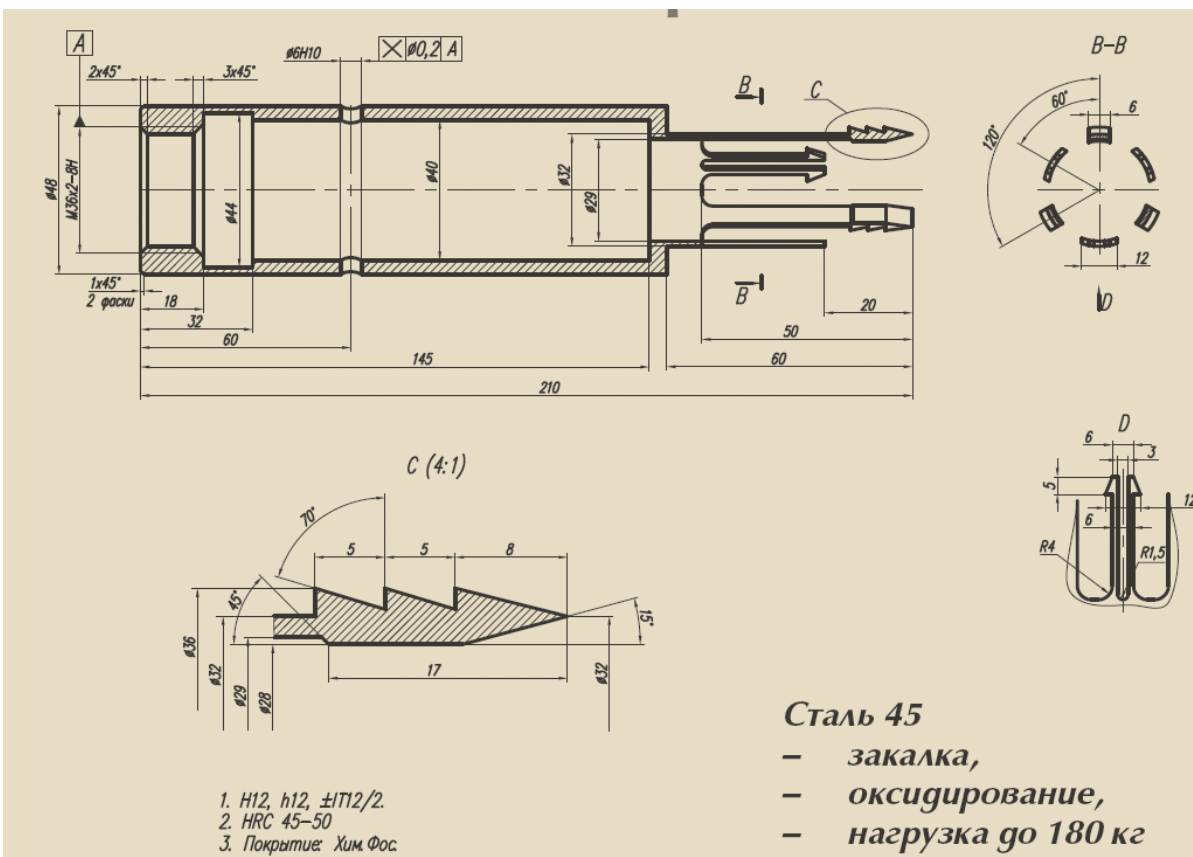


Рис. 23. Захват типа «Ерш» Ø36мм

у части — либо оборваны вместе с внешним рядом отверстий в верхней решетке, либо замяты, но при этом внутренний ряд отверстий не был поврежден (рис. 22). Отсюда — два типа «Ершей»: диаметром 36 мм для установки в наружный ряд отверстий и диаметром 26 мм для установки во внутренний ряд отверстий (рис. 23).

Изготовленные захваты испытывались совместно с имитатором верхней решетки на разрыв и надежно удерживались при нагрузке до 180 кг (рис. 24).

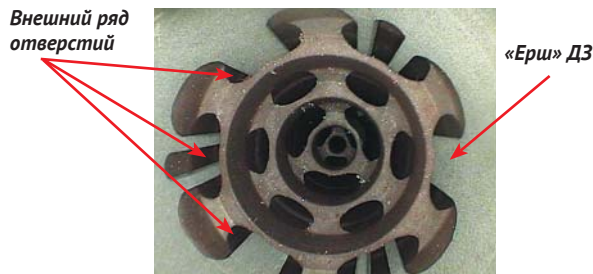
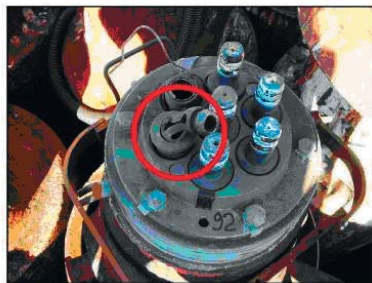


Рис. 24. Вид на верхнюю часть оборванной ОТВС в контейнере типа 6 № 26 в ячейке 0 с установленным захватом типа «Ерш» Ø36





ОТВС в контейнере  
типа 6 №92



Срезанная головка ОТВС



Приварена новая  
головка ОТВС

Рис. 25. Ремонт головки ОТВС

В результате ремонтных работ на 68 оборванных ОТВС установлены захваты типа «Ерш Ø36», «Ерш Ø26» и транспортные переходники.

Часть отремонтированных ОТВС была установлена в чехлы типа 22 или пеналы типа 3 и вывезена с объекта.

**Подготовка и вывоз ОТВС с наличием дефектов головки**

Если дефекты по смятости головки и/или искаженности геометрии захватной части ОТВС не восстанавливались рихтовкой в пределах 3—5 мм, они срезались и заменялись на макеты с геометрией захватной части ОТВС (рис. 25).

Отремонтированные ОТВС устанавливались в чехлы типа 22 и вывозились с объекта.

В июне 2012 г. с территории отделения «Грениха» СЗЦ «СевРАО» — филиала ФГУП «РосРАО» была вывезена последняя партия некондиционных ОТВС в количестве 52 штук в двух контейнерах ТК-18 (рис. 26). В одном контейнере были размещены 18

ОТВС в пеналах типа 3 и в чехлах типа 25, а в другом — 34 ОТВС в чехлах типа 22 и в пенале типа 2.

Следует отметить, что в процессе работы с ОТВС в контейнерах типов 6 и 11 не было обнаружено отдельных фрагментов или просыпей топливной композиции ОТВС.

**Информационное сопровождение работ**

Как указывалось выше, одним из узких мест на момент начала работ по экологической реабилитации объекта было отсутствие достоверной информации о количестве и качестве хранящихся ОЯТ и РАО, радиационной обстановке в местах их хранения, инженерном состоянии зданий, сооружений и др. В первую очередь предстояло сформировать электронную базу данных (БД) по номенклатуре и характеристикам ОЯТ и РАО, обобщить имеющуюся в различных источниках информацию, формализовать их характеристики, выявить спорные и сомнительные сведения, уточнить данные с привлечением непосредственных участников работ и экспертов.

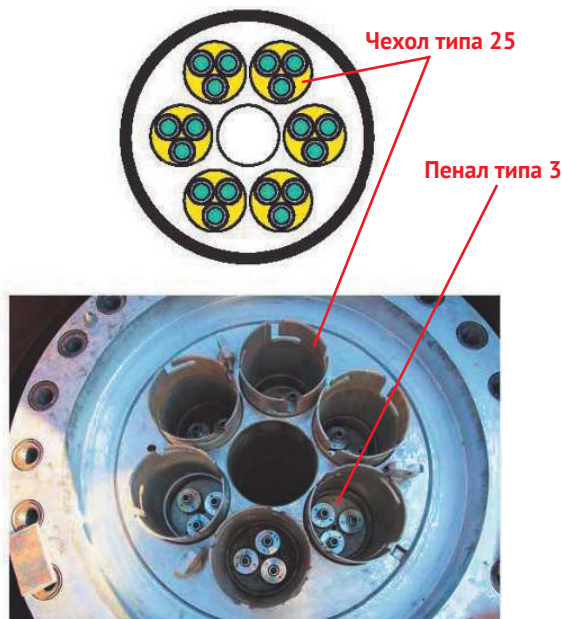
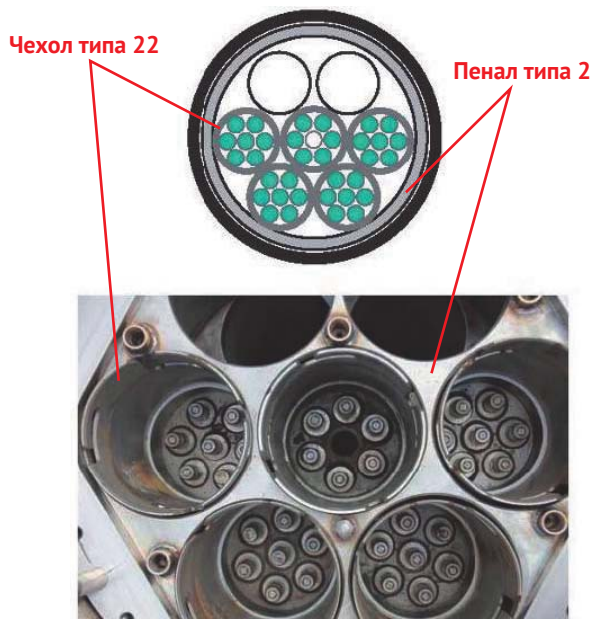


Рис. 26. Размещение 52 ОТВС в контейнерах ТК-18. Последний вывоз





Рис. 27. Основные этапы работ по информационному обеспечению реабилитации

На рис. 27 представлены основные этапы работ по информационному сопровождению включая этапы сбора данных, формирования базы данных и аналитическую обработку результатов.

Логическая структура базы данных по номенклатуре и характеристикам ОЯТ и РАО представлена на рис. 28.

#### Формирование базы данных ОЯТ

Данные в БД вводились на основании отчетных документов, воспоминаний участников работ и дополнительных уточнений у экспертов. Атрибутивная информация для каждого типа мест хранения ОТВС занесена в базу данных объекта исследования: 107 контейнеров типа 6 и 9 контейнеров типа



Рис. 28. Структура базы данных по номенклатуре и характеристикам ОЯТ и РАО

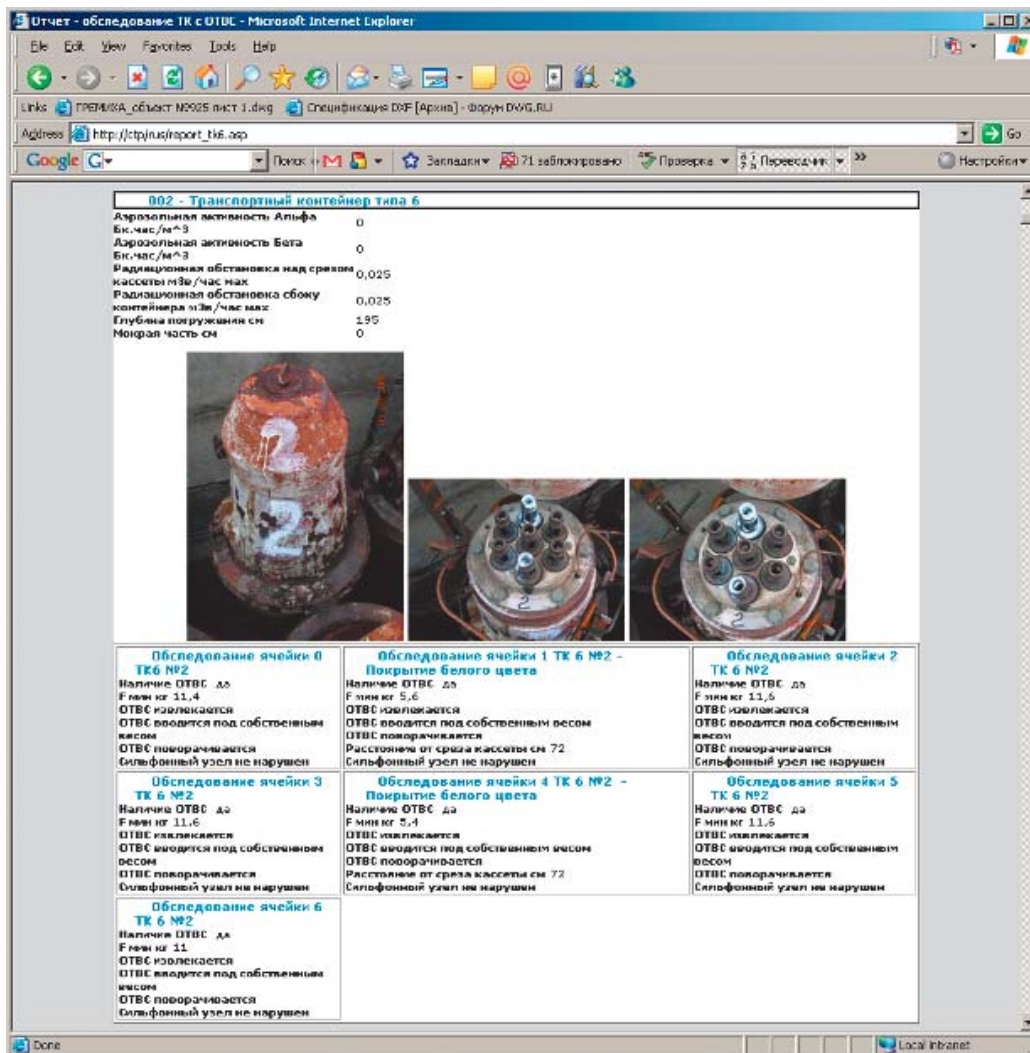


Рис. 29. Фрагмент отчета об обследовании контейнера ТК-6 с ОТВС

11 на ПВХТРО, 16 чехлов типа 22 в приемных гнездах здания 1. Исходными данными по результатам освидетельствования ОТВС контейнеров типов 6 (ТК-6) и 11 (ТК-11), содержащими информацию для формирования БД, являлись диагностические формуляры, заполняемые при проведении работ. Для хранения информации в БД заведен тип работы: «Обследование ТК-6», в котором занесена специфическая информация, относящаяся к каждому обследованному контейнеру:

- аэрозольная активность (альфа- и бета-);
- диапазон измерений значений МЭД над срезом кассеты и сбоку контейнера;
- глубина погружения и глубина мокрой части контейнера (при наличии воды);
- ФИО сотрудников, проводивших освидетельствование;
- используемое в работе измерительное оборудование;
- фотографии, сделанные при проведении работ;
- документы, подтверждающие выполнение работ;

• дата проведения работ.

Для хранения информации по освидетельствованию ОТВС в ячейках кассеты контейнера типа 6 (ТК-6) заведен тип работы «Обследование ячейки ТК-6», в котором занесена специфическая информация, относящаяся к освидетельствованию каждого ОТВС ячейки кассеты контейнера:

- наличие в ячейке ОТВС;
- номер ОТВС (при наличии);
- усилия отрыва (вес ОТВС);
- расстояние подъема/нахождения ОТВС до верхней кромки кассеты;
- состояние сифонного узла;
- состояние ОТВС (извлекается, вводится под собственным весом, поворачивается);
- степень деформации ОТВС.

На рис. 29 представлен фрагмент отчета, сформированного из базы данных.

Информация о проведенных работах по обследованию ОТВС в контейнерах типа 11 (ТК-11) хранится в базе данных проводимых работ. Для хранения



Рис 30. Установка краном контейнера на транспортное средство

работ по обследованию контейнеров заведен тип работы «Обследование ТК-11», в котором занесена специфическая информация, аналогичная обследованию контейнера типа 6.

Информация о проведенных работах по обследованию чехлов, находящихся в приемных гнездах здания 1, хранится в базе данных как тип работы «Обследование чехла типа 22» со специфической информацией о результатах освидетельствования чехлов, а также о состоянии качества ОТВС по отчетным материалам.

#### Применение базы данных при обращении с ОТВС с обеспечением ЯРБ

При разработке научно-технической документации по обоснованию ЯРБ обращения с ОЯТ дополнительно проведено трехмерное динамическое моделирование транспортно-технологической схемы (ТТС) по вывозу контейнеров типов 6 и 11 с ОТВС с ПВХТРО и последующей загрузке ОТВС в транспортные контейнеры ТК-18 для вывоза с территории объекта на теплоходе «Серебрянка». Сценарий моделирования включает следующие этапы:

- установка краном контейнера на транспортное средство;
- транспортировка контейнера;
- перегрузка краном с транспортного средства в шахту поста перегрузки;
- выгрузка ОТВС;
- загрузка ОТВС в ТК-18 на посту загрузки теплохода «Серебрянка».

Трехмерная динамическая модель ТТС использовалась при определении возможных пространственных

коллизий при транспортировке ОТВС от ПВХТРО к месту загрузки ОТВС. На рис. 30 представлена иллюстрация процесса моделирования ТТС.

Определялась максимальная допустимая скорость движения транспортного средства на различных участках дороги для предотвращения заносов и опрокидывания. По итогам моделирования изготовлен обучающий фильм для персонала.

#### Заключение

1. В период с 2004 по 2012 гг. завершен комплекс работ по экологической реабилитации бывшей береговой технической базы в губе Червяная (поселок Гремиха) в части обращения с ОТВС АПЛ с ВВР первого поколения, хранившихся в нештатных условиях:

- Локализованы источники высокой активности на ПВХТРО, что привело к улучшению радиационной обстановки на ПВХТРО и на территории объекта в целом. Нормализованы санитарно-гигиенические условия работы персонала отделения «Гремиха» СЗЦ «СевРАО» — филиала ФГУП «РосРАО».
- Разработаны методы и средства диагностики, позволившие выполнить освидетельствование ОТВС в контейнерах типов 6 и 11 и определить их точное количество и состояние качества. Из общего количества 898 штук 663 ОТВС отнесены к кондиционным, а 235 ОТВС — к некондиционным.
- Разработана научно-техническая и технологическая документация в составе ТТС, ТР, ТОБ и ОВОС по обращению с кондиционными и некондиционными ОТВС на этапах подготовки и вывоза на переработку или длительное хранение.



- Модернизирована инфраструктура объекта, созданы нестандартизированное оборудование и приспособления для обеспечения подготовки и вывоза ОТВС на переработку или длительное хранение.
  - Завершен вывоз с территории отделения «Гремиха» СЗЦ «СевРАО» — филиала ФГУП «РосРАО» ОТВС АПЛ с ВВР первого поколения в количестве 898 штук, хранившихся в нештатных условиях в контейнерах типов 6 и 11 на площадке ПВХТРО и в 16 чехлах типа 22 в приемных гнездах здания 1. Отправлены на переработку в ФГУП «ПО «Маяк»» 757 ОТВС, а 141 ОТВС находятся на длительном (до 5 лет) хранении в ФГУП «Атомфлот».
  - Создана база данных и информационно-аналитическая система сопровождения работ по экологической реабилитации БТБ в губе Червяная.
    2. Высокообогащенное облученное топливо в количестве 757 ОТВС передано в замкнутый топливный цикл для регенерации и перевода в низкообогащенный уран, пригодный для применения в качестве ядерного топлива АЭС и исследовательских реакторов.
    3. Снижен риск ядерной, радиационной и экологической опасности для персонала, населения, окружающей среды в ЗАТО город Островной Мурманской области.
    4. Завершен очередной этап экологической реабилитации бывшей береговой базы в губе Червяная (поселок Гремиха). Вывоз ОЯТ АПЛ с ВВР первого поколения с объекта позволяет приступить к следующему этапу — выводу из эксплуатации зданий и сооружений, в которых ранее хранились ОТВС, а именно здания 1 и площадки ПВХТРО.
    5. Разработанная в процессе выполнения комплекса работ по подготовке и вывозу ОТВС научно-техническая документация, изготовленное нестандартизированное оборудование и приспособления, накопленные участниками работ знания и опыт по обращению с кондиционными и некондиционными ОТВС нашли применение при выполнении аналогичных работ на других объектах в северо-западном и дальневосточном регионах России.
- К выполнению комплекса научно-технических и организационных мероприятий по обращению с ОЯТ АПЛ с ВВР первого поколения были привлечены специалисты СЗЦ «СевРАО», НИЦ «Курчатовский институт», ОАО «ГИ «ВНИПИЭТ»», ОАО «НИКИЭТ», ГНЦ РФ ФЭИ, ОАО НИИАР, ОАО ОКБ «Гидропресс», ФГУП «ФЦЯРБ», ООО «Спецтехкомплект», ООО «Техинвест» и других коллективов. Техническую и финансовую поддержку оказывали ГК «Росатом», КАЭ и АРЕВА Франции, ЕБРР, Европейская комиссия (ТАСИС), Италия, США.
- Координация работ по проекту «Гремиха» осуществлялась НИЦ «Курчатовский институт» со стороны российских участников, КАЭ — со стороны западных доноров.
- Ключевые исполнители работ, внесшие творческий, организационный и физический вклад в решение комплексных проблем по обращению с ОЯТ на БТБ в губе Червяная (поселок Гремиха):

от Минатома / ФААЭ / Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом»:

Антипов С. В., Ахунев В. Д., Коваленко В. Н., Евстратов Е. В., Кудрявцев Е. Г., Захарчев А. А., Григорьев А. В., Самодурова А. В., Мартыненко С. В.;

от СЗЦ «СевРАО» — филиала ФГУП «РосРАО»:

Пантелеев В. Н., Хандобин В. А., Михалев С. И., Еременко В. В., Реунов П. А., Полищук И. Н., Гаевой В. Ю., Огинова О. А., Байков А. В.;

от ОАО «НИКИЭТ»:

Шишкин В. А., Пименов А. О., Васильев А. П., Мазокин В. А., Гончарюк Н. И., Васюжно В. П., Яшников А. И.;

от ОАО «ГИ «ВНИПИЭТ»»:

Рождественский В. Г., Токаренко А. И., Калинин В. И., Симановский Ю. М., Колобаев А. А., Новиков В. П., Сафутин В. Д.;

от ДФ ФГУП «ФЦЯРБ»:

Нехожин М. А., Свешников В. А., Плотников Е. А., Лепешкин А. Ю., Иванов Д. В.;

от ФГУП «ИБРАЭ»:

Саркисов А. А., Калинин Р. И., Шведов П. А.;

от ФГУП «ПО «Маяк»»:

Горн В. Ф., Кириллов С. Н., Пронь И. А., Иванов К. В., Шитов В. В.;

от ФГУП «Атомфлот»:

Кашка М. М., Григорьев А. Н., Абрамов А. Н., Ефанская Е. А.;

от ФЭИ:

Рязанов Б. Г., Внуков В. С., Свиридов В. И.;

от ОАО «ЦТСС»:

Лямин П. Л., Александров Н. И., Митрофанов С. А.;

от ООО «Спецтехкомплект»:

Павлов И. В.;

от ООО «Техинвест»:

Травушкин А. С.

от ФМБА:

Алексеева В. Р., Лобанов В. П.;

от КАЭ, Франция:

Турниоль дю Кло А., Матье А., Фади Ж., Горбачев А., Долл К., Ажас Э.;

от АРЕВА ТА:

Пиллетт-Кузен Л., Серр М., Субуру П.;

от ЕК (Тасис):

Тернер Р.;

от ЕБРР:

Константинов Н., Бочаров С.;

от НИЦ «Курчатовский институт»:

Пономарев-Степной Н. Н., Хлопкин Н. С., Кухаркин Н. Е., Мелков Е. С., Множин С. Н., Сивинцев Ю. В., Сухоручкин В. К., Васин С. Е., Варнавин А. П., Королев А. В., Павлов В. А., Казеннов А. Ю., Степеннов Б. С., Сухоручкин А. К., Усатый А. Ф., Тетерин Ю. А., Иванов К. Е., Мотенко В. Г., Дьяков А. В., Завьялов В. В., Балакаева Е. С., Федосеенков А. Н., Васильев А. И., Мироненко-Маренкова М. Е., Степеннов Д. Б., Шкуратова Е. Ю., Шелованов Д. В., Никитин К. Э., Жукова О. А., Новикова Л. П. и др.