

Проблемы утилизации многоцелевых АПЛ с реакторами на жидкометаллическом теплоносителе

В.А. Мазокин

ФГУП «НИКИЭТ» им. Н.А. Доллежалея

В составе снятых с эксплуатации атомных подводных лодок (АПЛ) в Северо-западном регионе России находятся также АПЛ, в реакторных установках которых в качестве теплоносителя первого контура использовалась металлическая эвтектика (свинец-висмут), т.е. так называемые реакторы с жидкометаллическим теплоносителем (ЖМТ). Эти реакторы использовались на АПЛ класса «Альфа» (см. рис. 1).



Рис. 1. АПЛ класса «Альфа»

В настоящее время в Мурманском регионе в ожидании утилизации хранятся на плаву две АПЛ с ЖМТ и один реакторный отсек с отработавшим ядерным топливом (ОЯТ) в реакторе, который был ранее удален (вырезан) из корпуса АПЛ класса «Альфа» (блок 120). Кроме того, в губе Сайда на плаву хранится одноотсечный реакторный блок зав. № 900, реактор которого с ОЯТ подвергнут консервации по специальной технологии.

Особенностью конструкции АПЛ класса «Альфа» является то, что они изготовлены из титанового сплава. На этих АПЛ в качестве основного источника энергии используется однореакторная ядерная энергетическая установка (ЯЭУ), в состав которой входят основные элементы (реактор, парогенератор, циркуляционный насос, паротурбинная установка), функциональное назначение которых аналогично подобным элементам в ЯЭУ с водо-водяными реакторами.

Использование в реакторах ЖМТ придает ЯЭУ ряд особенностей. В частности, обеспечивается возможность получить повышенные параметры пара на выходе из парогенератора (перегретый пар) при давлении в первом контуре примерно в 10 раз ниже, чем в водо-водяных реакторах, что позволяет использовать в ЯЭУ тонкостенное оборудование и элементы.

Жидкометаллический теплоноситель не вносит каких-либо специфических трудностей в проблему утилизации АПЛ, однако необходимо учитывать ряд конструктивных отличий ЯЭУ данного типа, влияющих на соответствующие технологические процессы при утилизации. К числу таких отличий относится конструкция активной зоны реактора, которая вместе с защитной пробкой представляет собой единый выемной из реактора блок. Кроме того, ядерное топливо реакторов с

ЖМТ имеет повышенное обогащение, что требует обеспечения более строгого режима его сохранности для соблюдения условий нераспространения ядерных материалов.

При выводе АПЛ с ЖМТ из эксплуатации производится расхолаживание и затем некоторое время ЯЭУ находится в стояночном режиме поддержания теплоносителя в горячем состоянии (температура ЖМТ поддерживается на уровне 140-150°C) за счет тепла от внешнего источника (пар с базы или встроенный в тепловую схему ЯЭУ электрокотел) либо от внутреннего источника (поддержание реактора на минимальном уровне мощности).

При готовности береговой базы, АПЛ переводится в док СД-10, где и осуществляется выгрузка ОЯТ. По этой технологии было выгружено ОЯТ из реакторов нескольких АПЛ класса «Альфа».

В указанных выше 2-х АПЛ и одном блоке теплоноситель был заморожен из-за неготовности береговой базы к приему АПЛ на выгрузку ОЯТ и обеспечению корабля необходимыми энергосредствами.

Конструктивные особенности реакторов с ЖМТ требуют применения оригинального оборудования и индивидуальной технологии для подготовки и выгрузки ОЯТ из реакторов, существенно отличающихся от технологии выгрузки ОЯТ из водяных реакторов.

Одной из отличительных особенностей реакторных установок с ЖМТ является то, что по окончании работы реактора в процессе снижения температуры теплоносителя он затвердевает и образует монолитную конструкцию, внутри которой расположены сборки с ядерным топливом и поглощающие элементы системы регулирования реактивности реактора.

Для обеспечения последующей выгрузки ОЯТ требуется разогрев реактора от постороннего (берегового) источника тепла. Технология предусматривает одновременную выгрузку из реактора всех тепловыделяющихборок вместе с регулирующими элементами, т.е. демонтируется (удаляется) целиком вся активная зона реактора (отработавшая выемная часть - ОВЧ).

Эта операция выполняется с помощью специального скафандра, который устанавливается над реактором. После разогрева при поддержании заданной температуры теплоносителя в реакторе, активная зона медленно, постепенными контролируруемыми шагами втягивается в скафандр. По окончании подъема активной зоны шиббер внизу скафандра закрывается. Скафандр подъемным краном дока СД-10 переносится в помещение здания 1А и устанавливается в хранилище первоначального расхолаживания.

Затем осуществляется расцепление скафандра с ОВЧ, пустой скафандр извлекается из бака хранилища, а ОВЧ остается в хранилище (см. рис. 2).

Хранилище представляет собой стальной цилиндрический стакан (бак хранения), заполненный до определенного уровня эвтектическим сплавом свинец-висмут и помещенный в облицованную сталью бетонную шахту, выполняющую роль радиационной защиты.

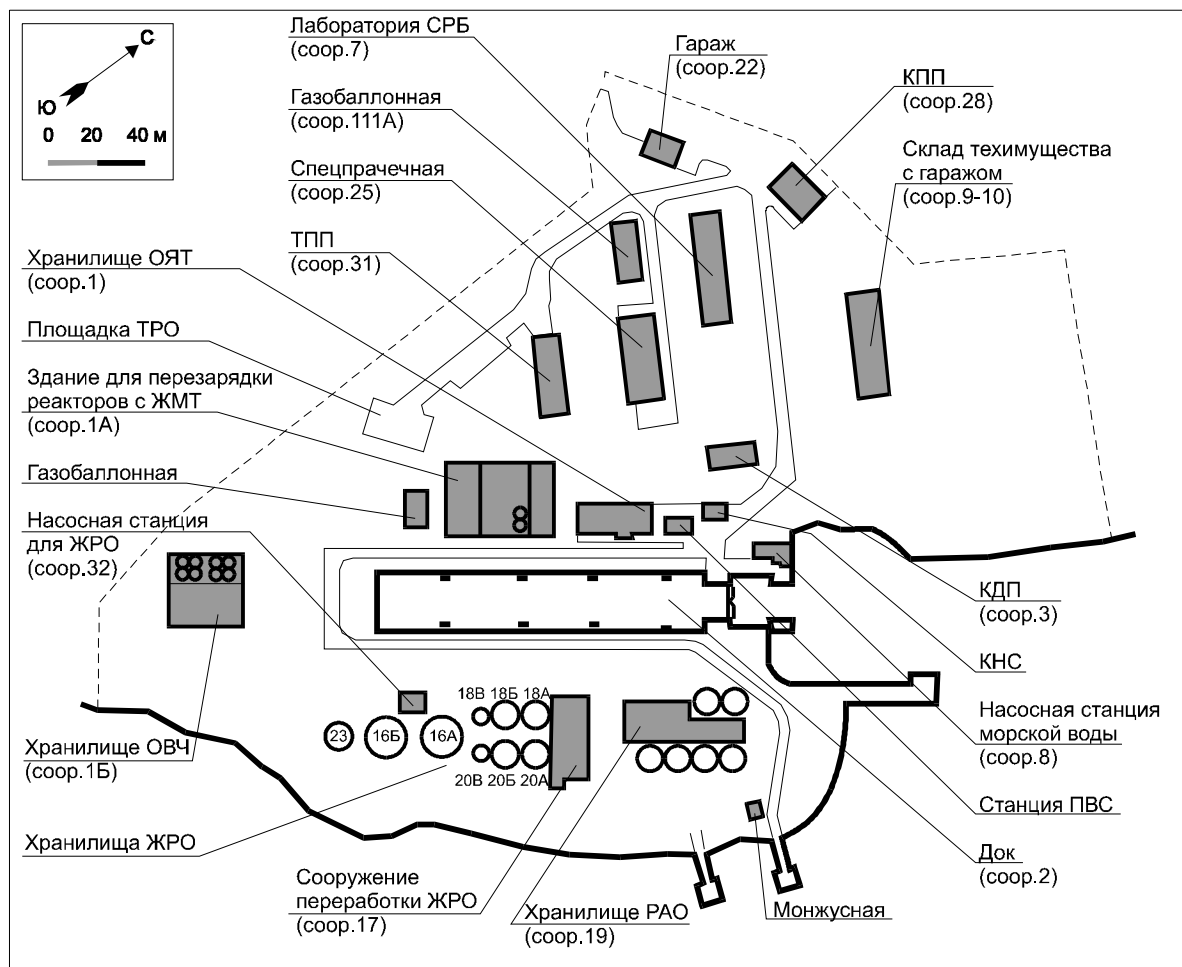


Рис. 2. Ситуационный план инфраструктуры базы в пос. Гремиха

Хранилище оборудовано воздушной системой разогрева и расхолаживания, а также системами контроля температуры и физического состояния ОВЧ. После расхолаживания до уровня остаточных тепловыделений (около 20 кВт) ОВЧ вместе с баком хранения переносится в хранилище длительного расхолаживания (здание 1Б), представляющее собой облицованное сталью бетонное гнездо (шахту).

Расхолаживание ОВЧ происходит за счет естественной циркуляции воздуха в хранилище. Хранилище закрывается сверху конической пробкой. Температура ОВЧ контролируется с помощью штатной термопары, расположенной внутри ОВЧ. В здании 1Б имеется десять таких хранилищ, в 6 из которых уже размещены ОВЧ. В настоящее время срок хранения ОВЧ в хранилищах здания 1Б не регламентирован.

По окончании процесса выгрузки ОЯТ из реактора, на АПЛ демонтируется система разогрева теплоносителя, восстанавливаются штатные защитные барьеры (уплотняется реактор, прочный корпус корабля) и затем АПЛ передается исполнителю работ по ее утилизации. При этом реактор заполнен затвердевшим теплоносителем, что является дополнительным защитным барьером внутренней полости реактора. Это существенно, поскольку около 99% оставшейся после выгрузки ОЯТ радиоактивности сосредоточено внутри реактора.

Суммарная активность определяется уровнями излучений от металлоконструкций и теплоносителя. Радиоактивность эвтектики обусловлена излучением радионуклидов быстроисчезающего полония-210 ($T_{1/2}=138,4$ суток), а также долгоживущих висмута-210м ($T_{1/2}=3,6 \times 10^6$ лет), висмута-207 ($T_{1/2}=30,2$ года), висмута-208 ($T_{1/2}=3,65 \times 10^5$ лет), таллия-204 ($T_{1/2}=3,78$ года). Радиоактивность металлоконструкций реактора определяется излучением радионуклидов кобальта-60 ($T_{1/2}=5,27$ года), никеля-63 ($T_{1/2}=100,1$ года), железа-55 ($T_{1/2}=2,72$ года).

Для обеспечения выполнения работ по описанной выше технологии, в поселке Гремиха была создана специальная береговая инфраструктура, включающая сухой док СД-10 с крановым оборудованием, здание для хранения «замороженных» активных зон, системы энергообеспечения, контроля и обслуживания (см. рис. 2). С 1994 года эта инфраструктура по прямому назначению не использовалась.

Следует отметить, что выгрузка ОЯТ из реакторов является лишь первым этапом процесса обращения с отработавшим ядерным топливом реакторов этих АПЛ. В соответствии с государственной Концепцией комплексной утилизации АПЛ России отработавшее ядерное топливо подлежит вывозу из Северо-западного региона на переработку. Для выполнения этого условия активные зоны реакторов с ЖМТ надо подвергнуть разборке, т.е. извлечь из замороженного сплава тепловыделяющие сборки с ОЯТ.

Для этого необходимо создать специальное производство, включающее стапель для установки ОВЧ, системы разогрева, дренажа и утилизации жидкометаллического теплоносителя, «горячие» камеры для разборки демонтированных из ОВЧ тепловыделяющихборок, участок по кондиционированию крупногабаритных ТРО, подъемно-транспортное оборудование, системы радиационного контроля и создания условий для безопасной работы персонала, систему физической защиты, производство по разборке ОВЧ, системы энергообеспечения и функционирования производства. Кроме того, такое производство должно быть укомплектовано квалифицированными кадрами.

Создать и обеспечить функционирование такого производства в условиях пос. Гремиха, по нашему мнению, нереально, поэтому необходимо выбрать более подходящее место.

В качестве одного из вариантов размещения такого производства может быть рассмотрена технологическая зона ГНЦ РФ ФЭИ (г. Обнинск), где функционировал, а затем был выведен из эксплуатации стенд ВТ/1 с реактором на ЖМТ. У ГНЦ РФ ФЭИ имеется некоторый опыт по разборке единичной ОВЧ в условиях экспериментального производства.

Для выполнения масштабных работ по разборке всех ОВЧ, выгруженных из реакторов АПЛ класса «Альфа» необходимо разработать проект и создать соответствующую инфраструктуру, отвечающую современным требованиям к таким производствам.

Для доставки ОВЧ из пос. Гремиха к месту их разборки требуется создание специального транспортного контейнера, отвечающего нормативным требованиям по перевозке ОЯТ морским и железнодорожным транспортом. Технический проект такого

контейнера (черт. 438.01) разработан ФГУП ОКБ «Гидропресс» (см. рисунок 3). Дальнейшие работы по созданию контейнера прекращены из-за отсутствия финансовых средств. При возникновении работ необходимо будет разработать рабочую документацию, изготовить и сертифицировать контейнер для транспортировки ОВЧ (масса 41000 кг, материал – специальная сталь марки 09Н2МФБ-А).

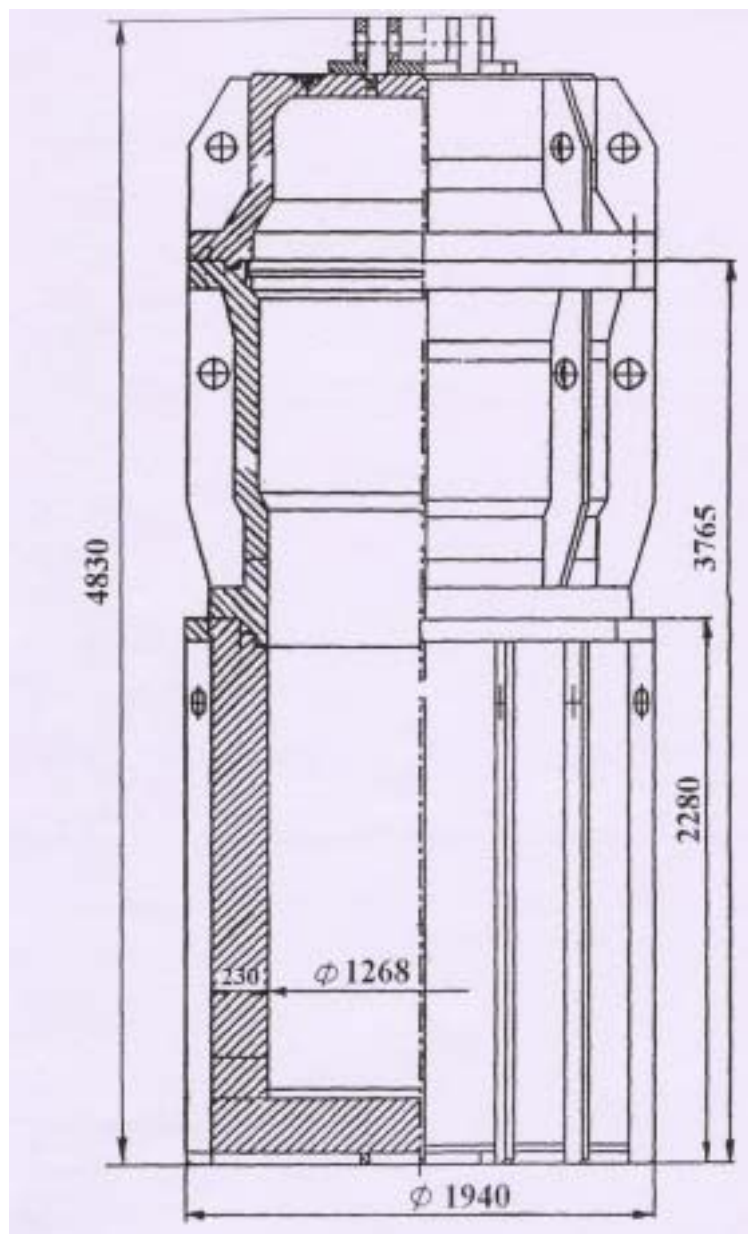


Рис. 3. Транспортный контейнер для ОВЧ

Таким образом, весь комплекс работ по утилизации АПЛ класса «Альфа» включает в себя следующие основные этапы, представленные в таблице 1.

Таблица 1

Основные этапы утилизации

1.	Доставка и постанка АПЛ в сухой док СД-10
2.	Подготовка АПЛ к выгрузке ОЯТ
3.	Подготовка оборудования и систем береговой инфраструктуры к выгрузке ОЯТ
4.	Выгрузка активной зоны из реактора, ее расхолаживание и постанка на хранение в бетонную ячейку здания 1Б
5.	Восстановление защитных барьеров и герметизация реакторного отсека после окончания выгрузки ОЯТ, конвертовка АПЛ
6.	Вывод из дока, транспортировка и передача АПЛ исполнителю работ по ее утилизации (определяется по результатам конкурса)
7.	Разделка АПЛ с формированием и подготовкой реакторного отсека к долговременной выдержке
8.	Транспортировка и передача РО на хранение (выдержку)
9.	Выбор производственной площадки и подготовка ее инфраструктуры к разборке активной зоны
10.	Транспортировка активной зоны к месту ее разборки
11.	Разборка активной зоны, отправка ОЯТ на переработку, кондиционирование ТРО
12.	Кондиционирование крупногабаритных ТРО (корпус ОВЧ, крышка, экраны, гильзы и др.) и их захоронение.

Ряд российских организаций (ОКБ «Гидропресс», ГНЦ РФ ФЭИ, «НИКИЭТ», СПМБМ «Малахит», «СевРАО» и др.) по заданию Минатома России проводят разработку нормативно-технической, технологической и эксплуатационной документации, регламентирующей состав и параметры тех элементов инфраструктуры в пос. Гремиха, которые необходимы для выгрузки и размещения на хранение выгружаемых ОВЧ. Это наиболее приоритетный этап обращения с ОЯТ реакторов с ЖМТ – выгрузка ОЯТ из АПЛ и передача его на берег.

Организационно-технической и технологической документацией предусматривается выполнение работ по обращению с ОВЧ гражданскими специалистами ФГУП «СевРАО».

В настоящее время закончен ремонт и подготовлен к работе сухой док СД-10, проводятся работы по ремонту и аттестации специальных подъемных кранов, необходимых для подъема и перемещения ОВЧ.

В 2003 году планируется выполнить работы по созданию системы разогрева теплоносителя в реакторе и хранилище, по энергообеспечению площадки, по восстановлению работоспособности в полном объеме системы контроля и радиационной безопасности, по обеспечению санитарно-бытовых условий и безопасности персонала при выполнении радиационно-опасных работ. Проводятся также работы по подготовке и аттестации персонала.

Планами экологической реабилитации береговой базы в пос. Гремиха предусматривается вывоз ОЯТ и ликвидация ядерно-опасных объектов на ее территории. В связи с этим в ближайшее время необходимо решить проблему дальнейшего обращения с ОЯТ, помещаемого на временное хранение в здание 1Б.

Прежде всего, необходимо выполнить технико-экономические обоснования с целью определения оптимального по срокам и стоимости варианта транспортировки и обращения с ОВЧ реакторов с ЖМТ АПЛ класса «Альфа». Для выбранного варианта потребуется разработка проектной, технологической, а также нормативной документации для каждого этапа обращения с ОВЧ. Для выполнения проектных работ и создания соответствующей инфраструктуры потребуются, по предварительным оценкам, финансовые затраты в сумме около 36,0 млн. долларов США.

При нынешней экономической ситуации в России такая нагрузка на Государственный бюджет, с учетом необходимости финансирования работ по утилизации большого количества АПЛ других классов и реабилитации радиационно-опасных объектов, является очень существенной.

Это приведет к тому, что проблема обращения с ОВЧ реакторов с ЖМТ будет решаться крайне медленно и вызовет необходимость длительного хранения ОВЧ в здании 1Б. В этом случае будет происходить дальнейшая деградация как конструкции здания, так и систем физической защиты и контроля объекта.

Международное сотрудничество и помощь в решении этой проблемы могут быть весьма полезными и эффективными. Поэтому данный проект предложен нами для осуществления при международном сотрудничестве в рамках Программы Глобального Партнерства.

Предложения по общему графику проекта и стоимостные оценки представлены в таблицах 2 и 3.

По отдельным этапам проекта, приведенного в таблице 2, могут быть составлены отдельные, в качестве составных частей, самостоятельные проекты. Например, по этапу 3 может быть сформирован отдельный проект на создание транспортного контейнера для доставки ОВЧ из хранилищ в пос. Гремиха в пункт разборки ОВЧ.

Возможности международного сотрудничества в решении рассматриваемой проблемы в целом, не ограничиваются только отмеченными выше проектами. Кроме того, инвестиции и донорская помощь крайне необходимы для выполнения работ по этапам 1, 3, 4, 5, 7, указанным в таблице 1. Более подробно эти вопросы могут быть обсуждены при участии ФГУП «СевРАО».

Одним из приоритетных проектов может быть создание физической защиты объекта на современном техническом уровне в пос. Гремиха.

Таблица 2

Общий график работ

Стадия работ	Наименование работ	Срок выполнения (год, полугодие)							
		2003		2004		2005		2006	
		I	II	I	II	I	II	I	II
1.	Разработка технико-экономического обоснования вариантов обращения с ОВЧ реакторов АПЛ класса «Альфа».								
2.	Разработка проектно-технологической документации для создания средств безопасной транспортировки, демонтажа, подготовки производства разборке ОВЧ и изоляции (захоронении) радиоактивных отходов, образующихся при разборке ОВЧ реакторов АПЛ класса «Альфа».								
3.	Изготовление средств безопасной транспортировки ОВЧ реакторов АПЛ класса «Альфа», подготовка производства к разборке ОВЧ.								
4.	Вывоз ОВЧ реакторов АПЛ класса «Альфа» из пункта хранения к месту разборки.								
5.	Разборка ОВЧ реакторов АПЛ класса «Альфа», подготовка элементов ОВЧ к переработке, изоляция (захоронение) радиоактивных отходов, образующихся при разборке ОВЧ.								

Таблица 3

Стоимостные оценки

	Наименование работ	Стоимость тыс. долл. США
1.	Разработка технико-экономического обоснования вариантов обращения с ОВЧ реакторов АПЛ класса «Альфа».	1 100,0
2.	Разработка проектно-технологической документации для создания средств безопасной транспортировки, демонтажа, подготовки производства разборке ОВЧ и изоляции (захоронении) радиоактивных отходов, образующихся при разборке ОВЧ реакторов АПЛ класса «Альфа».	2 800,0
3.	Изготовление средств безопасной транспортировки ОВЧ реакторов АПЛ класса «Альфа», подготовка производства к разборке ОВЧ.	8 200,0
4.	Вывоз ОВЧ реакторов АПЛ класса «Альфа» из пункта хранения к месту разборки.	5 300,0
5.	Разборка ОВЧ реакторов АПЛ класса «Альфа», подготовка элементов ОВЧ к переработке, изоляция (захоронение) радиоактивных отходов, образующихся при разборке ОВЧ.	18 600,0
	Всего:	36 000,0

Одной из нерешенных проблем процесса утилизации АПЛ класса «Альфа» является проблема дальнейшего обращения с ОЯТ, находящимся в реакторе одноотсечного реакторного блока зав. № 900 (см. рисунок 4). Этот реакторный блок (отсек) приведен в экологически безопасное состояние, в реакторе создан надежный защитный барьер, т.е. тепловыделяющие сборки и органы компенсации реактивности находятся в замороженном слое металлического теплоносителя, поверх теплоносителя реактор заполнен затвердевшим консервантом.

Реакторный отсек на $\frac{3}{4}$ по высоте залит битумом, поверх которого выполнена цементная стяжка. В таком состоянии данный отсек может безопасно храниться длительное время, но пока в нем будет находиться ОЯТ, он будет характеризоваться как ядерно-опасный объект. Поэтому необходима разработка принципиальной технологии, а затем проекта выгрузки и обращения с ОЯТ реакторного блока зав. № 900.

Одним из вариантов является демонтаж корпуса реактора из отсека, после чего возможно либо хранение корпуса реактора с ОЯТ, либо выполнение процедуры извлечения из реактора ОВЧ с последующей ее разделкой.

Этот проект может быть оформлен для международного сотрудничества по результатам дополнительного обсуждения.



Рис. 4. Реакторный блок АПЛ зав. № 900 на плаву

ВЫВОДЫ:

1. Одной из приоритетных задач в общей проблеме комплексной утилизации многоцелевых АПЛ является выгрузка отработавшего ядерного топлива (отработавшей выемной части – ОВЧ) из реакторов с ЖМТ, использовавшихся на АПЛ класса «Альфа».
2. Выгрузка ОВЧ из реакторов с ЖМТ может производиться только в пункте Гремиха на Кольском полуострове с использованием сухого дока СД-10.
3. Инфраструктура пос. Гремиха, необходимая для обеспечения работ по выгрузке ОВЧ из реакторов и ее временному хранению, длительное время (около 10 лет) по прямому назначению не использовалась, в 2000 году была передана от ВМФ в ведение Минатома России для экологической реабилитации и в настоящее время требует восстановления ее частичной работоспособности для обеспечения реабилитационных работ.
4. Конечной целью обращения с выгруженным из реакторов ОЯТ является демонтаж из «замороженной» ОВЧ тепловыделяющих сборок, их разборка, упаковка ядерного топлива и отправка его на переработку, а также кондиционирование и захоронение ТРО, образующихся при разборке ОВЧ, а также утилизация металлического теплоносителя.
5. Наиболее быстро и эффективно проблема обращения с ОВЧ указанным выше способом может быть решена в рамках программы Глобального партнерства путем разработки и реализации одного или нескольких проектов. Учитывая достаточную индивидуальность отдельных этапов работ общей проблемы обращения с ОВЧ, могут

быть разработаны и реализованы 3-4 самостоятельных проекта международного сотрудничества (разработка ТЭО выбора варианта обращения с ОВЧ, создание транспортного контейнера для ОВЧ, разработка проекта создания производства для разборки ОВЧ, разработка и реализация проекта кондиционирования крупногабаритных ТРО, образующихся при разборке ОВЧ).

6. В рамках международного сотрудничества разработка и реализация проекта обращения с отработавшим ядерным топливом реакторов АПЛ класса «Альфа» может быть осуществлена до 2005-2006 годов. Суммарная стоимость общего проекта оценивается величиной около 36 млн. долларов США. Реализация проекта позволит ликвидировать ядерно-опасный объект и снизить количество ядерных материалов, подлежащих хранению с обеспечением необходимой защиты, что будет способствовать предотвращению их распространения.