

Аварийные АПЛ. Проблемы утилизации и обеспечения безопасной изоляции

Мазокин В.А., НИКИЭТ им. Н.А.Доллежала, Россия

В составе выведенных из эксплуатации АПЛ Тихоокеанского флота (ТОФ) находятся такие, на которых имели место радиационные аварии, т.е. были нарушены пределы безопасной эксплуатации, при этом произошел выход радиоактивных материалов и ионизирующего излучения за предусмотренные границы в количествах, превышающих установленные для нормальной эксплуатации значения.

В соответствии с Федеральным законом «О радиационной безопасности населения» от 09.01.1996 года № 3-ФЗ объект, в данном случае – АПЛ, квалифицируется как аварийный, если на нем не устранены последствия радиационной аварии.

В настоящее время на ТОФ к аварийным отнесены АПЛ зав. № 175 (проект 675), АПЛ зав. № 610 (проект 671) и АПЛ зав. № 541 (проект 675). Краткие данные по аварийным АПЛ ТОФ представлены в таблице 1.

Таблица 1

Аварийная АПЛ	Дата аварии	Причина радиационной аварии	Последствия аварии	Дислокация АПЛ	Планируемые мероприятия
АПЛ зав. № 175 (пр. 675)	Август 1985г.	СЦР реактора ЛБ в процессе ремонтных работ на 30 СРЗ (бх. Чажма)	Разрушены внутриреакторные конструкции и аппаратные выгородки, выход радиоактивных продуктов за пределы реакторного отсека. Радиационная обстановка в реакторном отсеке (РО) чрезвычайно опасная. Уровни излучений через 20 лет после аварий: - внутри РО до 0,1 Зв/ч; - снаружи РО до 3 мЗв/ч.	Хранится на плаву	Формирование трехотсечного реакторного блока (РБ) с невыгруженным из реактора ПБ ОЯТ, изоляция блока в береговом укрытии, в бх. Разбойник
АПЛ зав. № 610 (пр. 671)	Декабрь 1985г.	Невосполнимая потеря теплоносителя реактора ЛБ в процессе его охлаждения	Нарушена герметичность ТВС. Выход радиоактивных продуктов в помещения РО. Радиационная обстановка в РО чрезвычайно опасная. Уровни излучений через 20 лет после аварии: - внутри РО до 0,075 Зв/ч; -снаружи РО до 1,45 мЗв/ч.	Хранится на плаву	Формирование трехотсечного реакторного блока (РБ) с невыгруженным из реакторов ОЯТ, изоляция блока в береговом укрытии, в бх. Разбойник

Аварийная АПЛ	Дата аварии	Причина радиационной аварии	Последствия аварии	Дислокация АПЛ	Планируемые мероприятия
АПЛ зав. № 541 (пр. 675)	Июль 1979г.	Повышение давления и нарушение герметичности гильз СУЗ реактора ЛБ.	Выход теплоносителя первого контура в аппаратную выгородку реактора ЛБ. По состоянию на декабрь 1996г. уровни излучений в НАВ превышали допустимые и составляли 3,5 мЗв/ч.	Стапель ДВЗ «Звезда»	Выполнение мероприятий по обеспечению безопасности персонала при производстве работ в РО. Выгрузка ОЯТ из реакторов в 2007г., подготовка трехотсечного блока и передача в ПВХ.

Последствия аварии на АПЛ зав. № 541 практически ликвидированы; эта АПЛ будет утилизирована в 2007 году по принятой для неаварийных АПЛ технологии: выгрузка ОЯТ, формирование трехотсечного блока и постановка его в ПВХ.

Аварии на АПЛ зав. № 175 и 610 имели очень серьезные последствия, ликвидация которых требует разработки и внедрения специальных робототехнических средств, технологий и подготовки соответствующей инфраструктуры. Остановлюсь кратко на особенностях технического состояния каждой из этих АПЛ.

АПЛ зав. № 175

АПЛ принята в эксплуатацию в сентябре 1965 года, ядерная установка состоит из двух водо-водяных реакторов типа ВМ-А.

В августе 1985 года при проведении работ на 30 СРЗ (бх. Чажма) по установке штатной крышки на разъем реактора левого борта (ЛБ) после загрузки в него свежего ядерного топлива произошло (вследствие ошибки персонала) резкое перемещение вверх компенсирующего органа, приведшее к тепловому взрыву реактора и пожару в реакторном отсеке.

Тепловыделяющие сборки и внутриреакторные конструкции были разрушены. На прочном корпусе реакторного отсека (РО) над реакторами технологический проем был открыт, поэтому радиоактивные материалы были выброшены из реакторов не только в помещение РО, но и на прилегающую территорию СРЗ. Деформированы корпусные конструкции реакторных выгородок.

Для локализации последствий аварии была установлена дополнительная биологическая защита: корпус поврежденного реактора засыпан гравием, верхняя часть корпуса заполнена бетоном. На проем корпуса РО установлен штатный съемный лист, поверх которого установлен металлический короб высотой ок. 650 мм, заполненный бетоном. Мощность гамма-излучения внутри РО составляла около 0,25 Зв/ч.

Второй реактор на этой АПЛ не поврежден, в нем размещено свежее ядерное топливо, реактор заполнен водой (теплоносителем) на него установлена и уплотнена штатная крышка.

Ядерная безопасность на АПЛ обеспечивается следующими штатными способами и средствами:

- проектные поглотители находятся в крайних нижних положениях;
- на шток компенсирующей решетки (КР) установлена заглушка-упор, препятствующая перемещению КР;
- электроприводы механизмов перемещения поглотителей и щит электропитания демонтированы.

Выгрузка ядерного топлива из реактора ПБ возможна только при условии проведения ремонтно-восстановительных работ на реакторном отсеке АПЛ зав. № 175, обеспечивающих возможность демонтажа крышки и установки перегрузочного оборудования, а также снижение уровней излучений до приемлемых значений.

В результате выполненных работ по ликвидации последствий аварии радиационная обстановка внутри и снаружи РО несколько улучшилась, но продолжает оставаться чрезвычайно опасной, что объясняется наличием в недоступных для дезактивации местах множества мелких фрагментов разрушенных высокоактивных внутриреакторных конструкций, выброшенных из реактора в отсек при взрыве. Проведение ремонтных работ по подготовке выгрузки «свежей» активной зоны из реактора ПБ, по герметизации прочного корпуса и переборки практически невозможно.

Основным источником радиоактивного излучения является наведенная активность материалов и конструкций РО, а также продуктов деления. Определяющим дозообразующими радионуклидами являются Co-60 с периодом полураспада 5,27 лет и Cs-137 с периодом полураспада 30,3 года. На легком корпусе АПЛ в некоторых районах имеются аномальные превышения уровней мощности дозы (у буя, за рубкой над отсеком 5 и т.д.) и величины поверхностного загрязнения (локальное пятно на легком корпусе отсека 5) над средними значениями.

Целостность штатной биологической защиты ниже настилов верхней палубы прочного корпуса и под реакторами не нарушена. Поэтому аварийное состояние РО практически не приводит к повышению уровней излучения на нижней стороне прочного корпуса отсека выше значений, характерных для безаварийных РО АПЛ первого поколения.

АПЛ зав. № 610

Принята в эксплуатацию в 1972 году, ядерная установка состоит из двух водо-водяных реакторов типа ОК-300.

В декабре 1985 года в процессе расхолаживания реактора ЛБ в результате утечки теплоносителя первого контура через утратившую герметичность систему очистки произошло осушение реактора, приведшее к сильному разрушению (частичному расплавлению) тепловыделяющих элементов активной зоны и к дополнительной разгерметизации первого контура по гильзам СУЗ реактора ЛБ.

В дальнейшем возобновившееся расхолаживание реактора ЛБ методом проливки в условиях продолжающейся утечки теплоносителя из первого контура привело к выносу фрагментов топливной композиции в помещение РО. Активность воды первого контура, вытекшей в подблочное пространство через систему гильзы СУЗ, достигла $8,5 \times 10^{11}$ Бк/л (20 Ки/л) и определялась в основном осколочной активностью (Cs-137), вышедшей в теплоноситель из разрушенных ТВЭЛОВ.

Второй реактор (ПБ) был расхоложен и выведен из действия по штатному режиму. В реакторном отсеке создавалась чрезвычайно опасная обстановка. В 1986 году на АПЛ производились дезактивационные работы, в результате которых радиационная обстановка несколько улучшилась и, оставаясь чрезвычайно опасной, стабилизировалась на уровне, ниже которого применением возможных в условиях АПЛ методов и средств дезактивации улучшить ее не удалось. Активность воды первого контура к концу 1986 года удалось снизить лишь до $5,6 \times 10^{10}$ Бк/л (1,5 Ки/л).

После расхолаживания ППУ и дезактивации, в трюме и других помещениях РО осталось большое количество воды, имеющей высокую радиоактивность и содержащей коррозионно-активные компоненты (дезактивирующие реагенты).

Технические средства АПЛ в результате аварии, длительного отсутствия обслуживания, воздействия неблагоприятных климатических условий и коррозионно-активных сред находятся в крайне неудовлетворительном состоянии. Первый контур реактора ЛБ негерметичен. Активные зоны из реактора не выгружены.

Ядерная безопасность на АПЛ обеспечивается в соответствии с руководящими документами. Выполнены мероприятия по безопасному отстоя:

- реакторы обеих ППУ заглушены всеми штатными поглотителями: АЗ и АР находятся в крайнем нижнем положении, КР – на нижних упорах;
- сняты все виды питания с СУЗ, УСБЗ и других систем;
- приводы МСУЗ обесточены, кабели питания приборов СУЗ рассоединены на клеммных коробках, заизолированы, реакторный отсек обесточен;
- первый контур обеих ППУ заполнен водой высокой чистоты без корректирующих добавок;
- газ из системы ГВД удален, арматура – в закрытом положении.

С целью обеспечения безопасного содержания на плаву, аварийные АПЛ зав. № 175 и АПЛ зав. № 610 прошли доковый осмотр и ремонт в 1991 и 1996 годах соответственно. В дальнейшем плановые ремонты технических средств поддержания плавучести этих АПЛ не проводились и для обеспечения их непотопляемости дополнительно используются нештатные (базовые) средства: установка понтонов, заполнение цистерн главного балласта специальным наполнителем, замещающим в них воду, подача воздуха от береговых источников.

Необходимо учитывать, что потенциальная опасность радиоэкологических инцидентов при хранении аварийных АПЛ продолжает существовать и вероятность ее неуклонно возрастает (вследствие коррозионных процессов металла). Поэтому проблему экологической безопасности АПЛ зав. № 175 и АПЛ зав. № 610 необходимо решить в ближайшее время. Прежде всего, должна быть исключена вероятность их несанкционированного затопления. Это может быть достигнуто путем размещения их на твердом основании. Далее необходимо надежно изолировать (или удалить) источники радиоактивных

излучений снаружи и внутри реакторных отсеков, обеспечить надежную изоляцию самих АПЛ.

В настоящее время эти вопросы являются проблемными и для их решения требуются разработка и реализация индивидуальных технологий, их ресурсное обеспечение и подготовка соответствующей инфраструктуры.

Для получения исходных данных и разработки требований к технологии реабилитации аварийных АПЛ необходима подробная информация о реальных (фактических) радиационных полях внутри и снаружи АПЛ, в ее помещениях, о параметрах (характеристиках) радиоактивности и ее распределении по насыщению отсеков и конструкциям.

Предварительные данные по радиационной обстановке на аварийных АПЛ для этих целей получены при их обследованиях:

- АПЛ зав. № 175 – в 1991, 1996, 1997, 2001, 2004 г.г. Определяющим (доминирующим) радионуклидом является Co-60 и Cs-137.
- АПЛ зав. № 610 – в 1990, 1992, 1999, 2004 г.г. Определяющим (доминирующим) радионуклидом является Cs-137.

Результаты радиационных обследований, проведенных специалистами ФГУП «НИКИЭТ», ЗАО «НТЦ «Экспертцентр» и ФГУП «ОКБМ» показывают, что уровни излучений в реакторных отсеках снижаются (например, в выгородке реактора АПЛ зав. № 175 они снизились с 250 до 180 мЗв/ч), но по-прежнему остаются крайне опасными, и выполнение работ по подготовке и выгрузке ОЯТ из реакторов этих АПЛ в ближайшей перспективе невозможно.

В период 1996-2000г.г. был выполнен ряд технико-экономических проработок по определению способа (варианта) экологической реабилитации аварийных АПЛ, на основе которых в июне 2001 года было принято следующее решение ведомств:

- для продолжения проектных работ по реабилитации аварийных АПЛ зав. № 175 и АПЛ зав. № 610 принять вариант размещения их на береговой площадке выше уровня моря;
- выгрузку ядерного топлива из реакторов этих АПЛ не производить;
- проектные решения должны обеспечивать надежную изоляцию аварийных АПЛ в период долговременного хранения.

По результатам проектно-изыскательских работ, выполненных ФГУП «ВНИПИПромтехнологии», местом расположения объекта (площадки хранения АПЛ) был выбран участок рядом со строящимся пунктом долговременного хранения реакторных отсеков утилизированных АПЛ на мысе Устричный бх. Разбойник (см. рис. 1).



- 1 – хранение трехотсечных реакторных блоков на плаву;
- 2 – ПДХ «Устричный»;
- 3 – укрытие для аварийных АПЛ зав. № 175 и 610;
- 4 – ФГУП «30 СРЗ ВМФ».

Рис. 1. Расположение берегового объекта для аварийных АПЛ

Подготовку аварийных АПЛ к долговременной изоляции предполагается проводить в плавучем доке (например, в ПД-41).

Одной из проблем является последующая передача подготовленных АПЛ на береговую площадку. Для этой цели могут быть применены различные известные технические решения – причал и передающий док, слип, судоподъемник и др.

По предложению ФГУП «ЦКБМТ «Рубин» был выбран вариант с использованием понтон-основания. Для его реализации необходимо:

- под параметры АПЛ создать специальный понтон-основание;
- АПЛ передать в плавдок и установить на понтон-основание;
- произвести разделку АПЛ с формированием трехотсечного блока на понтон-основании и подготовить блок к долговременному хранению;
- по мере готовности понтон-основание с размещенным на нем реакторным блоком спустить на воду и отбуксировать на акваторию берегового укрытия;
- на береговой площадке создать котлован глубиной ок. 3,5 м, в котором соорудить укрытие;
- построить канал, соединяющий акваторию с местом установки реакторного блока на хранение (изоляцию);

- переместить по каналу и зафиксировать понтон-основание в укрытии;
- подводный канал перекрыть (засыпать).

Схема установки реакторного блока на понтон-основании представлена на рис. 2.

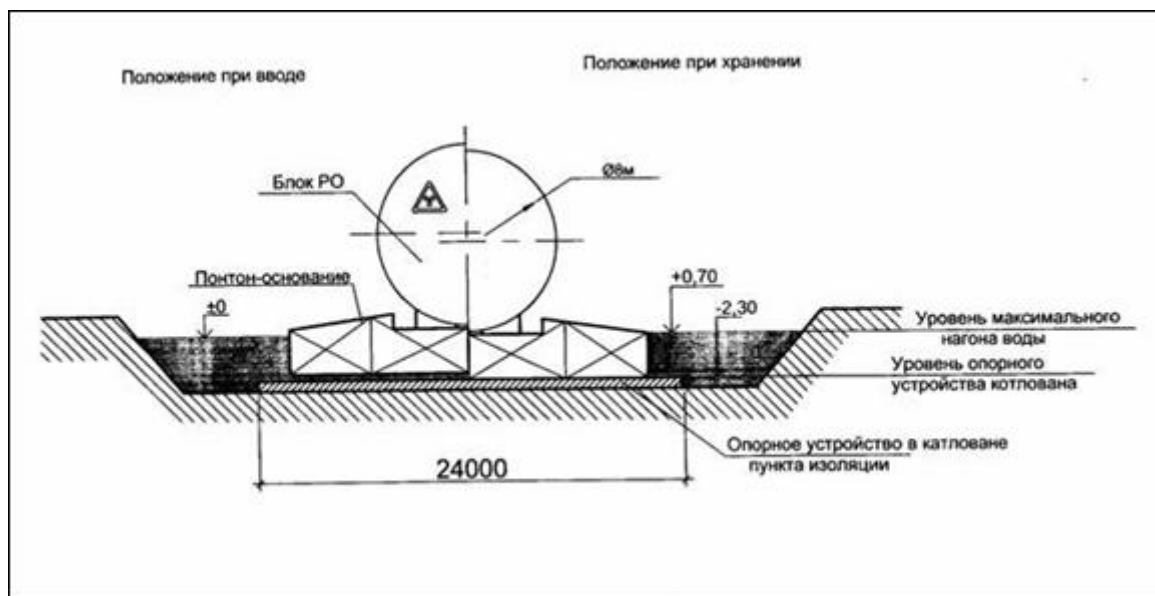


Рис. 2. Понтон-основание с реакторным блоком

На первом этапе разработки проектных решений принималось, что аварийные АПЛ будут ставиться в *Укрытие* целиком (предлагалось удалять только рубки и кормовую оконечность). Для определения возможности уменьшения габаритов объекта хранения (т.е. АПЛ) ФГУП «НИКИЭТ» предложил и в 2004 году выполнил совместно с ЗАО «НТЦ «Экспертцентр» специальное радиационное обследование не только реакторных, но и всех отсеков обеих АПЛ.

В результате дозиметрических и спектрометрических измерений было установлено, что повышенные значения мощности экспозиционной дозы (МЭД) наблюдаются только в отсеках, смежных с РО, достигая своих максимальных значений на общих с ним переборках:

- на АПЛ зав. № 175 – до 0,38 мЗв/ч;
- на АПЛ зав. № 610 – до 0,9 мЗв/ч,

При этом бета-загрязненность составляет 250-450 част./см² мин. При удалении от переборки на 2 м значения МЭД гамма-излучения снижаются в 20-30 раз.

Установлено, что в отсеках, примыкающих к реакторным, имеются локальные источники, уровни излучений от которых превышают допустимые значения. Эти источники расположены, в основном, на проходах и под входными люками. В остальных отсеках также имеются локальные источники, но с существенно меньшим уровнем излучений: не более 0,01 мЗв/ч на АПЛ зав. № 175 и не более 0,002 мЗв/ч на АПЛ зав. № 610.

Среднее значение МЭД в этих отсеках находится в диапазоне 0,2-1,5 мкЗв/ч. На основе результатов проведенного обследования сделан вывод, что радиационная обстановка в концевых отсеках аварийных АПЛ зав. № 175 и АПЛ зав. № 610 позволяет провести работы по формированию из них трехотсечных блоков с соблюдением норм и требова-

ний действующих нормативных документов по обеспечению РБ. Для выполнения работ по формированию реакторных блоков требуется удаление или изоляция локальных источников излучений из отсеков (кроме реакторного) и наружного корпуса АПЛ.

В октябре 2004 года ведомствами принято решение о формировании из аварийных АПЛ зав. № 175 и АПЛ зав. № 610 трехотсечных реакторных блоков. Снижение массы и габаритов изолируемых объектов позволяет существенно снизить размеры и стоимость создания берегового укрытия, облегчить нагрузку на технологические средства по перемещению и постановке блоков. Проектирование укрытия для аварийных АПЛ производится в соответствии с принятым решением.

Предлагаемый конструктивный облик берегового укрытия для аварийных АПЛ представлен на рис. 3 и 4.

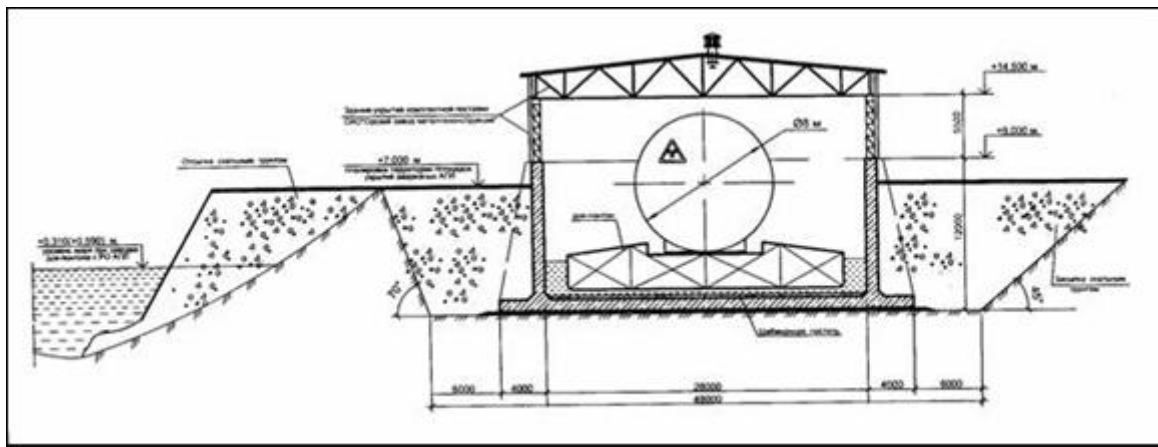


Рис. 3. Береговое укрытие для аварийных АПЛ

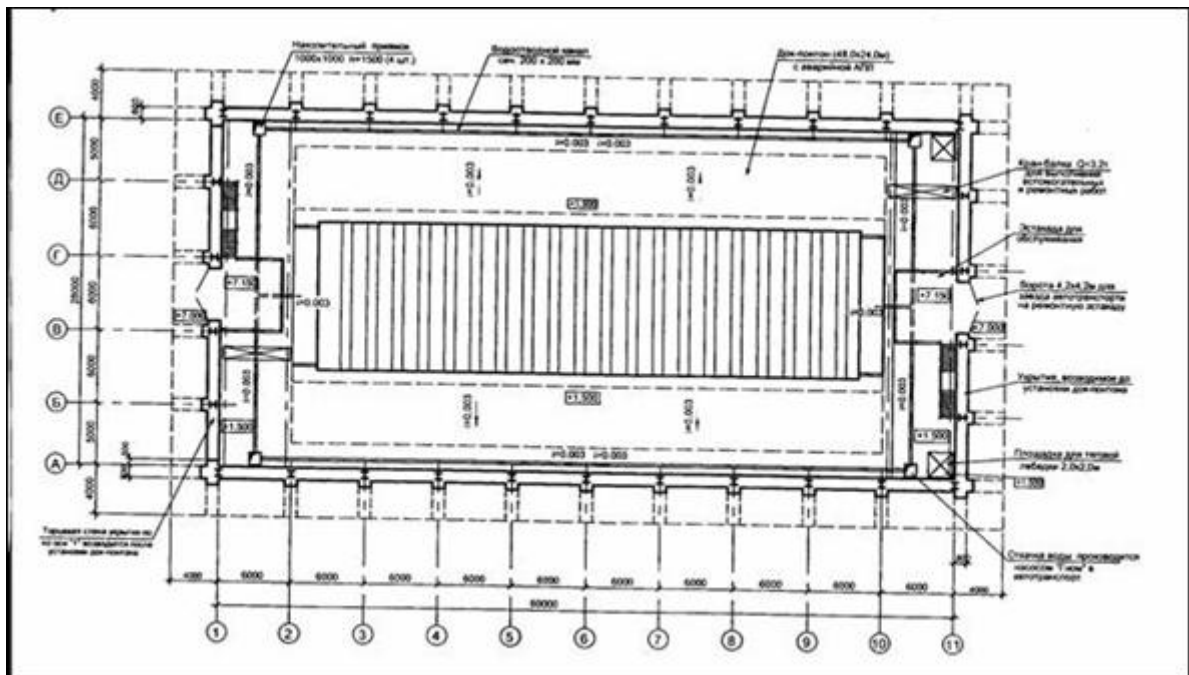


Рис. 4. Береговое укрытие для аварийных АПЛ

Укрытие представляет собой заглубленное на 3 метра (по отношению к уровню моря) сооружение из железобетонных стен (высотой 9 м от отметки минус 3 м) и днища, на которое устанавливается понтон-основание с аварийным реакторным блоком. Сверху на стены устанавливается металлическая конструкция, образуя вместе со стенами замкнутое пространство. Свободное пространство между железобетонными стенами и стенками котлована, а также береговой откос заполняется скальным грунтом до отметки +7 м, образуя горизонтальную площадку. Торцевая стенка сооружения со стороны канала монтируется после заводки понтона-основания в укрытие.

После заводки понтона-основания по воде, он устанавливается в сооружении по заданным координатам, притапливается до посадки на щебеночную постель, внутренние конструкции понтона-основания заполняются литым бетоном через проемы, которые делаются по месту после притопления понтона-основания. После посадки понтона-основания на твердое основание, со стороны открытого торца сооружения подводный канал перекрывается дамбой, затем монтируется торцевая стенка сооружения и свободное пространство засыпается скальным грунтом.

Аналогичным образом проводятся работы по установке в укрытие второго понтона-основания.

Работы по экологической реабилитации аварийных АПЛ планируется выполнять поэтапно, применительно к каждой АПЛ следующим образом:

- создание понтонов-оснований;
- постановка первой АПЛ в док на понтон-основание;
- радиационное обследование, включая подводную часть АПЛ;
- разработка и выполнение мероприятий по обеспечению безопасной работы персонала;
- формирование реакторного блока и подготовка его к постановке в береговое укрытие; внедрение мероприятий по обеспечению ядерной и радиационной безопасности реакторных блоков при их долговременном хранении в береговом укрытии;
- создание берегового укрытия (первый этап, осуществляется параллельно формированию РО);
- спуск на воду и транспортировка блока на акваторию укрытия;
- перемещение и установка блока на стапельное место в укрытии;
- завершение создания укрытия для первой АПЛ (второй этап).

В качестве первой АПЛ, подвергаемой процедуре реабилитации по перечисленным выше этапам, целесообразно принять АПЛ зав. № 175. Критическим этапом, определяющим начало работ, является создание понтон-основания. В настоящее время разработано ТЭО (проект) понтон-основания, который проходит стадию рассмотрения и согласования. При определенных условиях постановка первого реакторного блока в док может быть выполнена в 2009 году, а второй – в 2012 году. До этих сроков аварийные АПЛ будут храниться на плаву, что, как уже отмечено выше, становится все более рискованным.

Вторым критическим этапом является радиационное обследование АПЛ на стапеле (в плавдоке), результаты которого определяют технологию создания условий безопасности работы персонала, а также технологию подготовки реакторного отсека к хранению с внедрением мероприятий по обеспечению ЯБ и РБ в условиях берегового укрытия.

Поддержка проекта реабилитации аварийных АПЛ со стороны международного сообщества, особенно Тихоокеанского региона, может существенно ускорить решение этой актуальной проблемы.

Общий проект создания укрытия для аварийных АПЛ может содержать отдельные подпроекты, выполняемые по самостоятельным техническим заданиям. Например, в качестве отдельных проектов можно предложить следующие работы, представленные в таблицах 2 и 3.

Таблица 2

**Общий график создания укрытия для аварийных АПЛ зав. № 175 и
АПЛ зав. № 610**

№	Наименование работы	Продолжительность, годы				
		2008	2009	2010	2011	2012
1.	Строительство понтово-оснований для реакторных блоков					
2.	Разработка рабочей документации и строительство котлована для укрытия подводящего канала к нему и дноуглубительных работ					
3.	Разработка рабочей документации и строительство здания для реакторных блоков АПЛ зав. № 175 и АПЛ зав. № 610					

Таблица 3

Стоимостные оценки проекта

№	Наименование работ	Стоимость, тыс \$ США
1.	Создание понтово-оснований	9 100
2.	Строительство котлована и подводящего канала и дноуглубительных работ	25 400
3.	Строительство здания для реакторного блока АПЛ зав. № 175	47 760

Более подробная информация о предлагаемых проектах может быть представлена дополнительно.

При соблюдении сроков выполнения работ, указанных в таблице 2, постройка АПЛ зав. № 175 в док будет возможна в 2009 году. Продолжительность разделки АПЛ, формирования и подготовки реакторного блока к долговременному хранению оценивается в 24 месяца. Исходя из этого блок АПЛ зав. № 175 может быть готов к постройке в береговое укрытие в 2011 году, а реакторный блок АПЛ зав. № 610 – в 2013 году.

С учетом продолжительности работ по засыпке укрытия и котлована, изоляция реакторных блоков аварийных АПЛ зав. № 175 и АПЛ зав. № 610 в береговом укрытии может быть выполнена в 2014 году.