

УДК 621.039 + 574

## **МЕТОДОЛОГИЯ СТРАТЕГИЧЕСКОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ПРИ ВЫВОДЕ ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБЪЕКТОВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ**

**А.А. Саркисов, С.В. Антипов, В.Л. Высоцкий, Р.И. Калинин,  
М.Н. Кобринский, П.А. Шведов**

*Институт проблем безопасного развития атомной энергетики  
Российской академии наук, г. Москва*

Излагается методология стратегического планирования работ при выводе из эксплуатации объектов использования атомной энергии на примере разработки Стратегического Мастер-плана утилизации и экологической реабилитации выведенных из эксплуатации объектов атомного флота России.

### **Введение**

К началу XXI века многим объектам использования атомной энергии (ОИАЭ) (АЭС, судам с ЯЭУ, хранилищам ОЯТ, заводам по обогащению и переработке ядерного топлива и др.) исполнилось 40...50 и более лет. Из-за старения оборудования и применяемых технологий риски при их дальнейшем использовании становятся столь значимыми, что прекращение эксплуатации и последующая утилизация таких объектов являются велением времени.

При создании ОИАЭ, к сожалению, не очень задумывались о перспективе и технологии завершения их жизненного цикла. Но, как оказалось, для объектов со значительным радиационным потенциалом вывод из эксплуатации является очень дорогостоящей и технологически сложной проблемой. От выбора стратегии вывода из эксплуатации, последовательности действий, обоснования конечных состояний зависит экономический и социальный успех (или неуспех) предстоящих работ.

Для каждой разновидности ОИАЭ, а также мест и условий их расположения, вывод из эксплуатации и реабилитационные работы являются уникальными событиями. Однако основные принципиальные подходы к планированию последнего этапа их жизненного цикла идентичны и уже апробированы на ряде конкретных примеров. На таких примерах и будет представлена в докладе методология стратегического планирования работ.

Основной опыт стратегического планирования мероприятий после вывода из эксплуатации ОИАЭ был получен при разработке Стратегического Мастер-плана (СМП) комплексной утилизации и экологической реабилитации объектов атомного флота на Северо-Западе России, разработанный в 2005 - 2010 годах по решению Госкорпорации «Росатом» и фонда «Экологическое партнерство "Северное измерение"» [1, 2, 3].

### **Цель работы**

Особенностью «стратегического планирования» является то, что, в отличие от пятилетних или трехлетних планов, планов Федеральных целевых программ, стратегическое планирование не ограничено сроками и рассчитано на достижение конечных целей с обоснованием периода времени, которое при возможном и необходимом финансировании потребует для всеобъемлющего решения заданной проблемы.

Целью данной работы является представление методологии стратегического планирования при выводе из эксплуатации объектов использования атомной энергии на примере разработки Стратегического Мастер-плана утилизации и экологической реабилитации выведенных из эксплуатации объектов атомного флота России. Для достижения поставленной цели решены следующие задачи:

- представлены информационная структура и основные принципы разработки СМП;
- разработаны функциональные диаграммы и структура декомпозиции работ;
- разработана методология вертикального планирования;
- сформулирована техническая базовая линия и обобщенные итоги разработки СМП;
- предложена информационная система управления программа комплексной утилизации (ПКУ);
- сформулированы перспективы использования методологии стратегического планирования для задач вывода из эксплуатации ОИАЭ.

### Информационная структура и основные принципы разработки СМП

Основной целью разработки любого стратегического плана (СП), в том числе СМП, является создание целостной программы работ, выполнение которых обеспечит достижение сформулированной конечной цели («визидения»). Информация, содержащаяся в СП, как правило, представляет собой совокупность исходных данных, методов и процедур обработки этих данных, а также полученных промежуточных и конечных результатов с учетом всего многообразия логических связей между ними. Такая структура СП на примере СМП отражена на рис. 1.

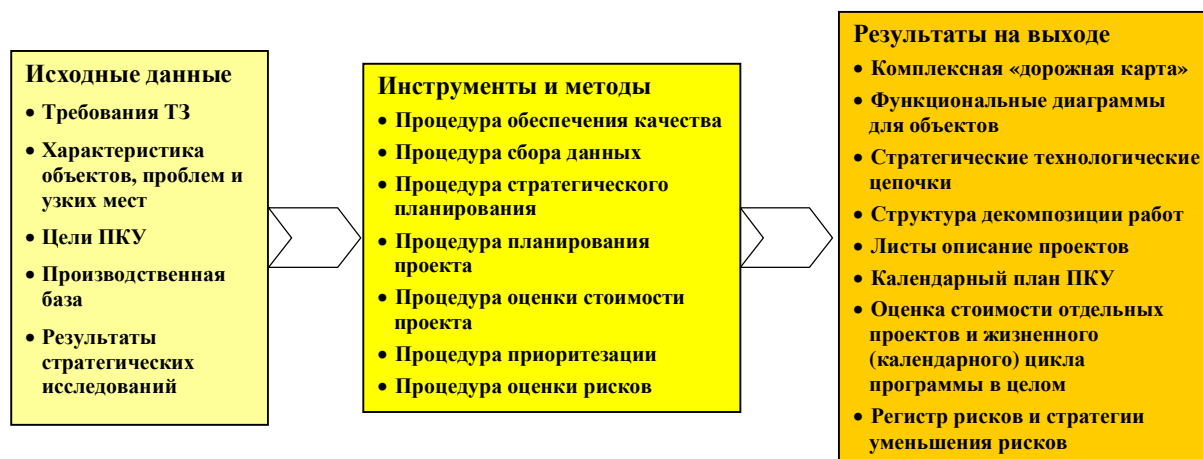


Рис. 1. Информационная структура СМП

Следует отметить, что ядром СМП является ПКУ с Информационной системой управления программой (ИСУП).

В терминах информационного моделирования основным методологическим принципом, применявшимся при разработке СМП, являлось создание иерархических структур, предназначенных для описания всех элементов СМП, и последующее насыщение их необходимой информацией. Такой подход к разработке стратегического плана позволяет эффективно применять современные инструменты проектно-ориентированного планирования и информационные технологии, основанные на компьютерной обработке информации, хранящейся в реляционных базах данных.

### Методология вертикального планирования

Классическая методика проектно-ориентированного планирования рекомендует принцип планирования «сверху вниз», который предполагает последовательную разработку планов достижения конечных целей программы на все более детальном уровне. Эта логика наглядно иллюстрируется диаграммой на рис. 2.



Рис. 2. Принцип вертикального планирования «сверху вниз»

Первый шаг вертикального планирования – формулировка ожидаемого конечного результата реализации ПКУ («видения»). По существу, видение является одним из важнейших факторов концепции как генерального замысла, определяющего стратегию действий. Так, при разработке СМП видение было сформулировано следующим образом: «На Северо-Западе России ликвидированы угрозы от выведенных из состава ВМФ ядерно- и радиационно опасных объектов и обеспечивающей инфраструктуры, воздействие от которых на персонал, население и окружающую среду может превышать действующие в России нормативы. При этом на бывших береговых базах ВМФ проведена реабилитация до уровня, не приносящего вреда здоровью человека и окружающей среде при предполагаемом будущем землепользовании».

Следующий шаг в планировании «сверху вниз» при разработке СМП, опуская «миссию», заключался в формулировке стратегических конечных целей для каждого из объектов или группы однотипных объектов. Конечные цели утилизации и реабилитации для всех объектов были определены на основе системного анализа исходных данных, ряда нормативных правовых документов и нескольких специально проведенных в рамках СМП стратегических исследований для анализа и обоснования принимаемых решений.

Характеристики исходного состояния объекта и стратегическая конечная цель работ для этого объекта определяют начальную и конечную точки траектории движения, но не саму эту траекторию. Достичь поставленной конечной цели можно разными способами. Задачей планирования в этой ситуации является выбор наилучшего по каким-то критериям варианта («опционирование»).

Обычно в практике проектного планирования опционирование определяется по критерию наименьших затрат жизненного цикла (при ограниченном времени реализации) или наименьшей длительности реализации проекта (при ограниченном бюджете). Однако для СМП и многих других случаев ни один из этих методов не применим из-за очень большой неопределенности в оценках стоимости и длительности реализации от-

дельных проектов, а в большинстве случаев и в детальной информации о содержании работ. В этой ситуации было признано наиболее рациональным применить подход, основанный на практическом опыте реализации программ Агентства по выводу из эксплуатации ядерных объектов (АВЭЯО) Великобритании. Этот подход основан на последовательном применении в процессе опционирования ряда основополагающих стратегических принципов. Примером таких очевидных принципов могут быть следующие положения:

- максимальное использование существующих производственных возможностей;
- расположение новых объектов по обращению с ОЯТ и РАО в местах их наибольшего сосредоточения;
- объединение мест хранения однотипных материалов (ОЯТ и РАО).

Принятием таких и подобных принципов обеспечивается уверенность в том, что принятые варианты стратегий достижения конечных целей обеспечат снижение затрат на реализацию ПКУ в целом, в том числе снижение стоимости жизненного цикла объектов инфраструктуры.

Результатом опционирования являются разработанные стратегии достижения обоснованных конечных состояний по каждому объекту ПКУ. Совокупность таких стратегий образует интегральную «дорожную карту». В то же время каждая выбранная для отдельного объекта стратегия схематически выражается функциональной диаграммой (логической цепочкой работ). Такие диаграммы определяют логическую последовательность выполнения отдельных работ, а также возможность их параллельного выполнения.

Интегральная дорожная карта или стратегия верхнего уровня (диаграмма) определяла переход объекта из начального в конечное состояние. Разработанная диаграмма иллюстрировала, в частности, следующие основные положения.

Все топливо АПЛ реакторов ВВР будет отправлено на ФГУП «Маяк», что является первоочередной задачей. Это позволит быстро уменьшить срок нахождения наиболее значимых радиоактивных источников опасности в Северо-Западном регионе России.

Все уран-циркониевое ОЯТ будет собрано для хранения на ФГУП «Атомфлот» (сроком до 50 лет) до выработки решений об окончательной изоляции или переработке этого типа топлива.

После разделки плавучих объектов все реакторные отсеки АПЛ (РО), реакторные помещения ТАРК (РП) и блоки хранения ОЯТ ПТБ (БХ) будут размещены на ПДХ РО «Сайда». Там они будут храниться не менее 70 лет, что обеспечит более безопасное обращение с ними в будущем благодаря процессу распада наиболее активных радионуклидов. Чтобы уменьшить объем хранилища РАО до минимально возможного, РАО от деятельности СЗР по утилизации плавучих объектов будут помещены в формируемые РО, РП или БХ. Перемещение ВАО и ОЯТ предполагается минимизировать за счет размещения средств их кондиционирования в местах, где находится большая часть ОЯТ и РАО.

### **Функциональные диаграммы, структура декомпозиции работ**

Для получения очередного промежуточного результата на следующем шаге каждый элемент на интегральной «дорожной карте» детализировался до функциональных диаграмм (логических цепочек), описывающих последовательность действий, необходимых для достижения сформулированного конечного состояния объекта. Такие функциональные диаграммы были разработаны для всех объектов СМП, а также для регио-

нальных схем обращения с ОЯТ, РАО и с токсичными отходами (ТО). Они иллюстрируют стратегию действий при обращении с объектами утилизации (экологической реабилитации). Примеры функциональных диаграмм утилизации АПЛ и реакторных блоков показаны на рис. 3.

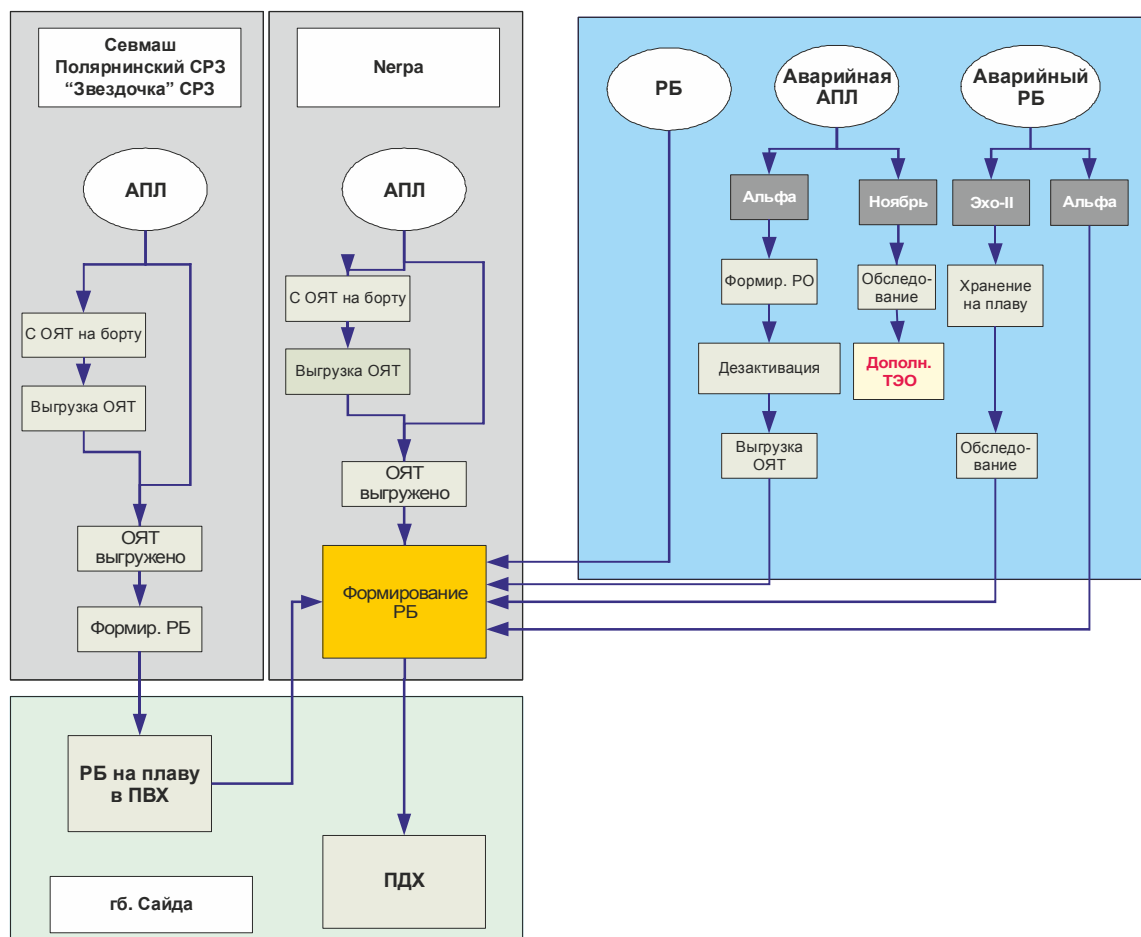


Рис. 3. Стратегия обращения с АПЛ и РО

Подобные функциональные диаграммы, определяющие стратегию действий, позволяют сформировать перечень необходимых проектов, выполнение которых обеспечит достижение конечных целей.

Следующий этап вертикального планирования – разработка структуры декомпозиции работ (СДР) программы, содержащей все выявленные из функциональных диаграмм проекты. В результате анализа проектов, идентифицированных в составе ПКУ, было установлено, что для достижения целей стратегического планирования в период разработки СМП достаточно подробная структуризация работ может быть обеспечена при наличии пяти иерархических уровней:

- § 1-й уровень СДР (код 1) – *Программа комплексной утилизации* в целом.
- § 2-й уровень СДР (код 1.а) образуют *подпрограммы*.
- § 3-й уровень СДР (код 1.а.б) составляют *мультипроекты* и *мегапроекты*, объединяющие группы проектов.
- § 4-й уровень СДР (код 1.а.б.с) образуют проекты, являющиеся основной структурной единицей декомпозиции работ.

При выделении проектов должен выполняться принцип «один проект – один контракт». Это означает, что вся совокупность работ по проекту должна быть включена в один контракт Заказчика с Подрядчиком. Это не исключает возможности привлечения субподрядчиков для выполнения отдельных работ или поставок, но полную ответственность за достижение конечной цели проекта, сроки и качество выполнения работ, а также соблюдение бюджета несет один Подрядчик. Не исключается возможность выполнения нескольких проектов в рамках одного и того же контракта; исключена лишь возможность контракта, в который вошла бы лишь часть работ по проекту.

§ 5-й уровень СДР (код 1.a.b.c.d) – фазы проектов (если их целесообразно выделять).

На рис. 4 приведены два первых уровня СДР, где видна нумерация всех 12 подпрограмм, из которых первые 5 являлись основными.

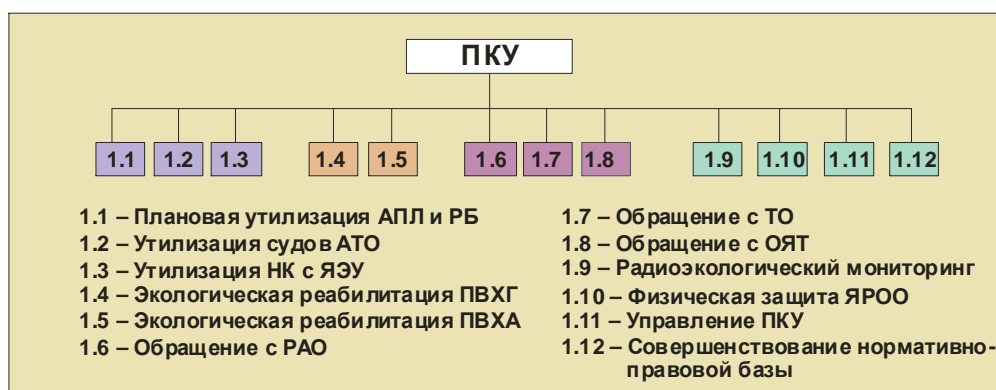


Рис. 4. Структура второго уровня СДР

В период разработки СМП, как отмечалось, было признано достаточным ограничить декомпозицию работ пятым уровнем иерархии СДР. Однако в процессе реализации проектов в ряде случаев может потребоваться более глубокая детализация как объектов работ, так и самих мероприятий. Глубина детализации будет, в частности, определяться содержанием заключенных контрактов на выполнение работ так, чтобы СДР в максимальной степени соответствовала принципу «один элемент низшего уровня – один контракт».

Следует заметить, что в ходе реализации стратегического плана число и содержание мероприятий (проектов) может меняться. Так, на момент завершения разработки СМП в нем было идентифицировано свыше 230 элементов низшего уровня (проектов). Через два года в ходе интенсивной реализации СМП это количество возросло примерно до 300 элементов.

### Техническая базовая линия и обобщенные итоги разработки СМП

Полученная СДР и функциональные объектовые диаграммы составляют в совокупности основу технической базовой линии ПКУ, включающей в себя календарный план и бюджет программы. Для ее окончательного формирования необходимо оценить длительности и стоимости реализации отдельных проектов.

Общая стоимость ПКУ складывается из двух главных компонентов:

- инвестиционные затраты на выполнение работ, входящих в проекты;
- затраты жизненного цикла, связанные с обслуживанием объектов и инфраструктуры ПКУ в период выполнения ПКУ.

Календарный план ПКУ был разработан в соответствии с процедурой стратегического планирования, применявшейся в ходе всей разработки СМП, на основе информации из нескольких источников:

- анализа логических последовательностей, определенных интегральной дорожной картой и объектовыми функциональными диаграммами;
- данных предприятий-исполнителей о фактическом состоянии текущих работ, идентифицированных как мероприятия по реализации ПКУ;
- структуры декомпозиции работ (СДР) ПКУ;
- листов описания проектов, в которых дана необходимая информация о содержании работ, включенных в каждый отдельный проект; их стоимости и способе ее оценки; логических связях между отдельными проектами, определяющих технологическую последовательность их выполнения и возможность параллельной работы по нескольким проектам на одном объекте.

На рис. 5 представлены обобщенные итоги разработки ПКУ на момент завершения второго этапа (2007 г.). Ромбами указано расчетное время завершения работ по основным направлениям. Так, все АПЛ и РБ должны быть утилизированы к 2014 г., а образованные РО установлены в ПДХ губы Сайда. Для этого необходимо выполнить 49 проектов на сумму около 550 млн €. Подобная информация приведена на рис. 5 для всех других объектов ПКУ.

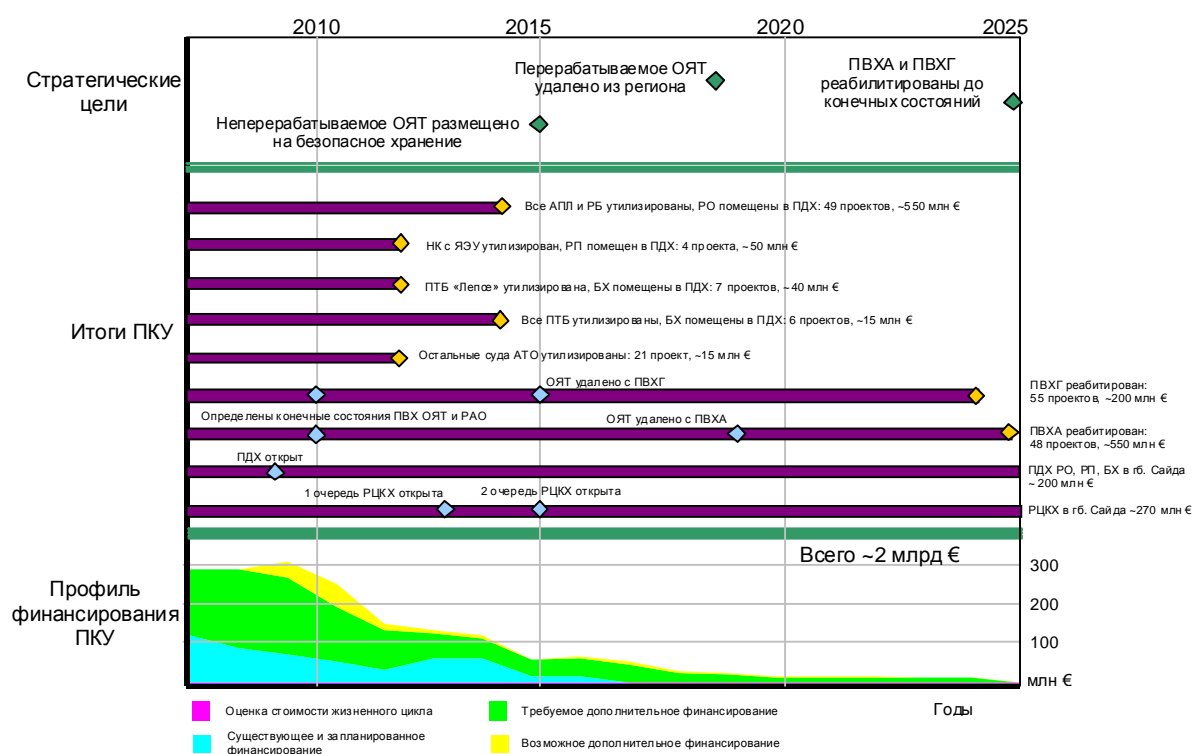


Рис. 5. Обобщенные итоги разработки СМП

Как видно, самыми продолжительными будут работы по реабилитации территорий и объектов бывших береговых технических баз ВМФ в губе Андреева и в п. Грехмиха. Так, работы в губе Андреева могут быть завершены только к 2025 году, на что потребуется около 600 млн €.

Суммирование инвестиционной составляющей ПКУ, определенной из календарного плана и оценок стоимости проектов, указанных в листах описания, и учитываемых затрат жизненного цикла приводит к бюджетной кривой (профилю финансовых затрат), показанной в нижней части рис. 5.

Ценность СМП как интегрирующего документа стратегического уровня критическим образом зависит от полноты, достоверности и целостности информации, на основе которой разрабатывается план и обеспечивается его реализация. В процессе реализации СМП необходимо постоянно поддерживать актуальность информации о ходе выполнения работ и текущем состоянии всех объектов программы.

Для обеспечения надлежащей информационно-аналитической поддержки процесса реализации СМП была разработана информационная система управления программой (ИСУП).

### Информационная система управления ПКУ

ИСУП предназначена для планирования, мониторинга и поддержки формирования управленческих решений, относящихся к СМП. Она проектировалась как мощный инструмент для управления программой и ее многочисленными проектами на протяжении полного жизненного цикла. Чтобы четко отразить, в том числе графически, основные цели управления проектом, программа была организована в виде набора взаимосвязанных модулей. Этим модули дают пользователю возможность работать с основными заданиями по управлению проектом, а предложенные технологии и инструменты упрощают эффективное управление.

Модульная структура ИСУП включала семь основных компонентов. Эта структура и схема обмена информацией между модулями показаны на рис. 6.

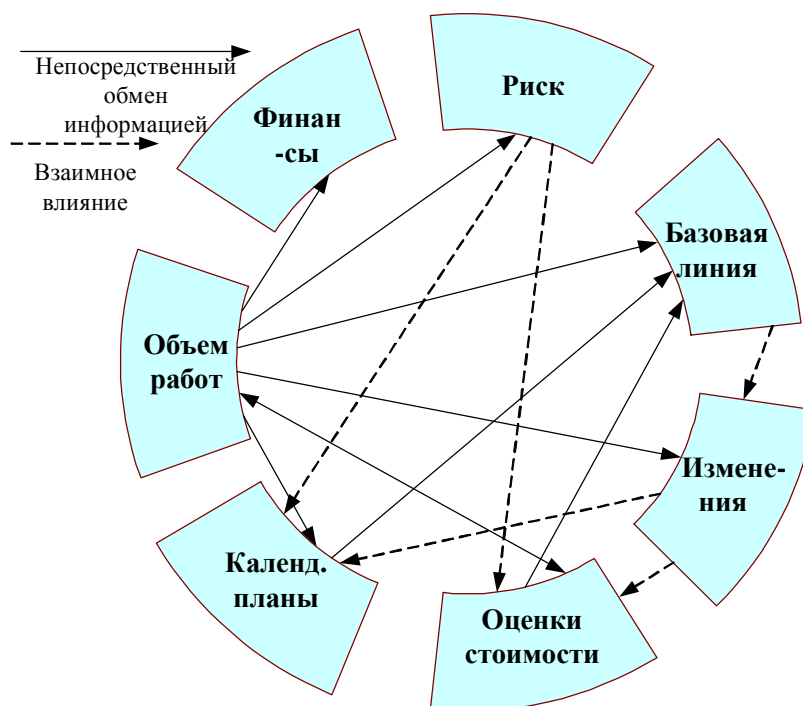


Рис. 6. Структура модулей ИСУП и обмен информацией между ними



Технологически ИСУП представляет собой программно-аппаратный комплекс, способный предоставлять информацию, необходимую для принятия управленческих решений в максимально удобной и компактной форме. Система построена по классической трехзвенной схеме доступа к данным, что обеспечивает высокую степень защиты от несанкционированного доступа и в то же время дает возможность применять унифицированные и валидированные алгоритмы обработки данных.

СМП разрабатывался в целях оптимизации работ, определения приоритетов и привлечения инвестиций при ликвидации наследия холодной войны от выведенных из состава ВМФ объектов атомного флота на Северо-Западе России. Это его назначение, несмотря на происходящие со временем существенные изменения в перечне и содержании актуальных проектов, структуре декомпозиции работ, появление технологических новаций сохраняется и будет актуальным вплоть до достижения конечного результата. Дело в том, что СМП, являясь «живым организмом», по мере решения и появления новых проблем оперативно корректируется и дорабатывается, давая возможность с помощью ИСУП быстро оценивать последствия происходящих изменений и выбирать оптимальные варианты текущего и перспективного выполнения проектов.

Таким образом, СМП будет оставаться базовым документом для обеспечения утилизационных и реабилитационных работ на Северо-Западе еще не менее 10 - 15 лет.

#### **Перспективы использования методологии стратегического планирования для задач вывода из эксплуатации ОИАЭ**

Успешное внедрение СМП в практику в течение последних лет логичным образом привело к идее использовать апробированную методологию стратегического планирования применительно к другим объектам различных ведомств, предназначенным к утилизации или требующим повышения ядерной и радиационной безопасности.

В первую очередь это относится к комплексу работ по утилизации АПЛ и обслуживающей инфраструктуры на Дальнем Востоке. По заказу Госкорпорации «Росатом» в 2010 году в ИСУП была включена Программа комплексной утилизации для Дальнего Востока (ПКУ ДВ), аналогичная ПКУ для Северо-Запада. Первоначально в ПКУ ДВ была внесена подпрограмма утилизации АПЛ, которая была полностью заполнена данными и сопровождается ИСУП. Было признано целесообразным объединить в один отчет данные по состоянию работ по утилизации АПЛ в обоих регионах. Такой подход позволил более эффективно использовать бюджетные средства, выделяемые на решение данной проблемы в целом. Анализ сроков хранения на плаву трехотсечных блоков, проведенный с помощью ИСУП, позволил сформировать предложения по корректировке ФЦП «Утилизация вооружений и военной техники», позволяющие сократить затраты бюджетных средств на доковые осмотры РБ. Удалось также привлечь дополнительные средства европейских и канадских партнеров к решению конкретных проблем на Дальнем Востоке. До этого указанные партнеры выделяли средства только на работы, проводимые в европейской части России.

В 2011 г. в ПКУ ДВ внесены подпрограммы «Утилизация судов АТО» и «Утилизация НК с ЯЭУ», а с 2012 г. будет проводиться сопровождение подпрограммы «Обращение с ОЯТ в Дальневосточном регионе».

Одна из важных нерешенных проблем Северо-Запада России — ликвидация ядерного наследия холодной войны на дне Арктических морей. По опубликованным к настоящему времени данным, на дне Баренцева и Карского морей находятся: 3 АПЛ и 5 реакторных отсеков АПЛ и атомного ледокола с ядерным топливом в реакторах; 19 судов, в том числе баржа с выгруженным из АПЛ реактором; 735 радиоактивных конструкций и блоков, а также свыше 17 тыс. контейнеров с РАО.

Эксперты ИБРАЭ и ряда других российских научных организаций в своих публикациях и докладах на представительных международных конференциях и семинарах указывали на необходимость проведения комплексных научных исследований, направленных на обоснование принятия решений о дальнейшей судьбе этих потенциально опасных объектов. Подход, положенный в основу разработки СМП, был бы весьма эффективен и при разработке программы таких исследований, и при разработке плана дальнейших действий. По существу, речь может идти о разработке Стратегического Мастер-плана избавления Арктических морей от ядерного наследия холодной войны.

Представляется также целесообразным включить в существующий СМП еще один раздел – подпрограмму комплексной утилизации судов атомного ледокольного флота.

Поскольку головной организацией по разработке СМП являлся академический институт, возникла идея разработки Стратегического плана повышения радиационной безопасности объектов Российской академии наук, где ведутся работы с источниками ионизирующих излучений. Такой план был разработан силами ИБРАЭ РАН в рамках Федеральной целевой программы «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2008 год и на период до 2015 года». Он анализирует состояние радиационной безопасности на всех объектах академии, где ранее велись и ведутся работы с использованием РВ и ЯМ, включает более 170 проектов для сорока с лишним организаций с описанием состава, стоимости, длительности, последовательности работ, а также их приоритезацию и ожидаемые результаты по повышению радиационной безопасности. Этот Стратегический план был утвержден вице-президентом РАН академиком Н.П. Лаверовым и успешно реализуется с 2009 года. Данная работа позволила существенно продвинуться в решении означенной проблемы, в значительной степени повысить радиационную безопасность объектов РАН и будет продолжена в ближайшие годы.

Методология разработки СМП и использования ИСУП для повышения эффективности управления его реализацией сегодня рассматривается в качестве инструмента для планирования и управления реализацией определенных частей ФЦП «ЯРБ». Работы по разработке концепции, стратегии и программы вывода из эксплуатации и реабилитации радиационно и химически загрязненных объектов и территорий Топливной компании «ТВЭЛ» Госкорпорации «Росатом» также ведутся с использованием вышеописанной методологии.

### **Выводы**

Методология стратегического планирования, примененная при разработке СМП, доказала свою эффективность в решении масштабных комплексных задач вывода из эксплуатации ОИАЭ. Эта методология не ограничена первоначальным назначением, не теряет актуальности со временем и позволяет находить новые области применения.

В качестве ближайших направлений дальнейших исследований следует отметить:

- разработку Стратегического Мастер-плана избавления Арктических морей от ядерного наследия холодной войны;
- разработку подпрограммы комплексной утилизации судов атомного ледокольного флота как самостоятельного нового раздела СМП;
- продолжение работ по реализации и корректировке Стратегического плана повышения радиационной безопасности объектов Российской академии наук;
- разработку концепции, стратегии и программы вывода из эксплуатации и реабилитации радиационно и химически загрязненных объектов и территорий Топливной компании «ТВЭЛ» Госкорпорации «Росатом».

## МЕТОДОЛОГІЯ СТРАТЕГІЧНОГО ПЛАНУВАННЯ ПРИ ВИВЕДЕННІ З ЕКСПЛУАТАЦІЇ ОБ'ЄКТІВ ВИКОРИСТАННЯ АТОМНОЇ ЕНЕРГІЇ

А.А. Саркісов, С.В. Антіпов, В.Л. Висоцький, **Р.І. Калінін**,  
М.Н. Кобрінський, П.О. Шведов

Викладається методологія стратегічного планування робіт при виведенні з експлуатації об'єктів використання атомної енергії на прикладі розробки Стратегічного майстер-плану утилізації й екологічної реабілітації виведених з експлуатації об'єктів атомного флоту Росії.

## STRATEGIC PLANNING METHODOLOGY at the REMOVING of SERVICE the NUCLEAR POWER OBJECTS

A. Sarkisov, S. Antinov, V. Vysotsky, **R. Kalinin**, M. Kobrinsky, P. Schvedov

Strategic works planning methodology at the removing of service the nuclear power objects at the example of Strategic Master-Plan (SMP) development for utilization and ecological rehabilitation of the Russian atomic marine revealed objects has been described.

### Список использованных источников

1. *Антипов С.В.* Радиоэкологические последствия эксплуатации и утилизации объектов атомного флота в Дальневосточном регионе / С.В. Антипов [и др.]. – М.: Наука, 2010. – 387 с.

2. *Саркисов А.А.* Стратегические подходы к решению экологических проблем, связанных с выведенными из эксплуатации объектами атомного флота на Северо-Западе России / А.А. Саркисов [и др.]. – М.: Наука, 2008. – 346 с.

3. *Саркисов А.А.* Инженерные основы теории и эксплуатации судовых ядерных реакторов / А.А. Саркисов, Л.Б. Гусев, Р.И. Калинин. – М.: Наука, 2010 – 549 с.

Надійшла до редакції 08.02.2013 р.  
Після доопрацювання 21.02.2013 р.

УДК 621.039.586

## ТЕРМОСИФОННЫЙ ТЕПЛООБМЕННИК СПОТ ПЕРВОГО КОНТУРА ВВЭР-1000

И.И. Свириденко<sup>1</sup>, А.К. Сухов<sup>2</sup>, Д.В. Шевелев<sup>3</sup>, А.В. Поляков<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Севастопольский национальный технический университет;

<sup>2</sup>Севастопольский национальный университет ядерной энергии и промышленности;

<sup>3</sup>Научно-технический центр НАЭК «Энергоатом», г. Севастополь;

<sup>4</sup>Международное агентство по атомной энергии, г. Вена

Рассмотрен теплообменник на основе двухфазных термосифонов автономной системы пассивного отвода остаточного тепловыделения реакторной установки АЭС с ВВЭР, обеспечивающей отвод теплоты от первого контура. Приведены особенности конструкции теплообменника, его преимущества, рассмотрена технология изготовления теплообменника и заправки термосифонов промежуточным теплоносителем. Представлены экспериментальные и расчетные характеристики термосифонного теплообменника.