

В. Г. Батий¹, В. С. Селюкова²,
Д. В. Федорченко², М. А. Хажмурадов²

¹Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины, г. Чер-
нобыль, Украина

²Национальный научный центр «Харьковский физико-тех-
нический институт» НАН Украины, г. Харьков, Украина

Организация научно-технического сопровождения развития ядерной энергетики и использования радиационных технологий

Предложен общий методический подход к решению задачи организации научно-технического сопровождения деятельности на различных этапах жизненного цикла ядерно- и (или) радиационно-опасных объектов.

Ключевые слова: научно-техническое сопровождение, атомная энергетика, проектирование, ядерно-опасный объект, радиационно-опасный объект.

**В. Г. Батий, В. В. Селюкова, Д. В. Федорченко,
М. А. Хажмурадов**

Організація науково-технічного супроводу з метою підвищення рівня ядерної та радіаційної безпеки

Запропоновано загальний методичний підхід до вирішення задачі організації науково-технічного супроводу діяльності на різних етапах життєвого циклу ядерно- та (або) радіаційно-небезпечних об'єктів.

Ключові слова: науково-технічний супровід, атомна енергетика, проектування, ядерно-небезпечний об'єкт, радіаційно-небезпечний об'єкт.

© В. Г. Батий, В. С. Селюкова, Д. В. Федорченко,
М. А. Хажмурадов, 2011

Организация научно-технического сопровождения (НТС) очень важна в решении задач по безопасному использованию ядерно-радиационных технологий, в том числе по обоснованию продления сроков эксплуатации и (или) снятия энергоблоков из эксплуатации; разработке технологических основ изготовления ядерного топлива из материалов, добываемых на территории Украины; разработке новых радиационно стойких конструкционных материалов для нужд атомной энергетики; созданию технологий для обращения с радиоактивными отходами и отработавшим ядерным топливом вплоть до их захоронения; созданию и внедрению новых радиационных технологий для промышленности, медицины, сельского хозяйства и защиты окружающей среды. Отсутствие хорошо продуманной и организованной системы НТС привело в прошлом к возникновению опасных аварий, самой серьезной из которых была авария 1986 г. на Чернобыльской АЭС.

В Украине в настоящее время нет отлаженной системы НТС развития ядерной энергетики. Для ядерной энергетики выполняют работы целый ряд институтов НАН Украины (ННЦ ХФТИ, ИПБ АЭС, ИЯИ и др.), НПК «Хартрон» и другие организации, однако без единой системы и единой методики организации НТС на различных этапах жизненного цикла радиационно- и ядерно-опасных объектов. Нет и соответствующих нормативов, какие, например, разработаны для строительной отрасли [1]. Поэтому предложение по организации конкурса проектов НТС в области ядерной энергетики и радиационных технологий [2] является актуальным.

Определенная работа по организации системы научно-технической поддержки атомной энергетики в Украине ведется. Так, в рамках постоянно действующего научного семинара, организованного для обсуждения различных вопросов научно-технической и инженерной поддержки отрасли, Украинское ядерное общество совместно с ОП «Научно-технический центр» ГП НАЭК «Энергоатом» 27 апреля 2006 г. провело в Киеве семинар на тему «Научно-техническая поддержка ядерно-промышленного комплекса Украины». В числе докладов были «Анализ научно-технического сопровождения ядерно-энергетического комплекса Украины» (Л. Л. Литвинский, О. А. Пуртов) и «Применение системного подхода к работам по научно-технической поддержке ядерной энергетики Украины» (Н. И. Власенко, В. Н. Колочко). В докладах и в процессе их обсуждения отмечалось, что успешная реализация энергетической стратегии Украины до 2030 г. в части развития ядерно-энергетического комплекса невозможна без системного научно-технического сопровождения. Тем не менее, до настоящего времени системный подход к решению этой задачи не разработан. В частности, отложены запланированные работы по разработке программы НТС деятельности по снятию с эксплуатации энергоблоков Чернобыльской АЭС и преобразованию объекта «Укрытие».

В настоящей работе предложен общий методический подход к решению задачи организации НТС в области ядерной энергетики, определены основные цели и задачи такого сопровождения, показаны некоторые особенности организации НТС при снятии с эксплуатации энергоблоков ЧАЭС и преобразовании объекта «Укрытие» с учетом принципиальных подходов, регламентированных в [1].

Общий методический подход. Методология организации НТС должна быть основана на современных научных методах решения поставленной задачи.

Последовательности решения исследуемой проблемы должны определяться с использованием метода «трех что». Он предусматривает необходимость определить цель разработки (что надо иметь?), проанализировать существующее состояние и выявить имеющиеся недостатки (что есть?), наметить поэтапное движение от того, что есть, к тому, что надо (что делать?).

На первом этапе должна быть конкретизирована цель разработки — создание «Программы НТС», реализация которой должна обеспечить решение существующих технических проблем и научно-техническое сопровождение практической деятельности, в ходе которого выявлялись бы и решались вновь возникающие проблемы. Кроме того, выполнение «Программы НТС» должно позволить оптимизировать материальные и дозовые затраты, а также свести к минимуму воздействия на окружающую среду на разных этапах жизненного цикла ядерно- и радиационно-опасных объектов вплоть до снятия с эксплуатации и захоронения всех образовавшихся радиоактивных отходов.

На следующем этапе (что есть?) должен проводиться анализ выполненных, выполняемых и планируемых НИР и НИОКР, оцениваться их достаточность с точки зрения возможности успешного выполнения поставленных задач, например снятия с эксплуатации энергоблоков ЧАЭС и выполнения «Стратегии преобразования объекта «Укрытие»». Затем необходимо выявить недостатки и проблемные вопросы, препятствующие своевременному и качественному решению этих задач.

При выработке последовательности решения (что делать?) на основе проведенного анализа необходимо составить перечень необходимых работ и их последовательность. При составлении перечня работ в максимально возможной степени должен учитываться накопленный в мире опыт решения аналогичных задач, результаты новейших исследований и разработок в области науки и техники. В силу уникальности объекта «Укрытие» при планировании работ по его преобразованию в максимально возможной степени должен использоваться опыт предыдущей деятельности на этом объекте. Для качественного решения этих задач необходимо использовать материалы из отчетов ЧАЭС и других организаций, аналитические обзоры и статьи в специальной периодике и пр. При ликвидации последствий других тяжелых аварий, например на Фукусима-1, необходимо максимально использовать опыт деятельности по ликвидации последствий аварии на энергоблоке № 4 ЧАЭС.

Метод анализа и синтеза предполагает изучение проблемы как по частям (анализ), так и в целом (синтез). В данной работе анализ предполагает всестороннее изучение деятельности на отдельных этапах, например на этапе снятия с эксплуатации энергоблоков ЧАЭС (последовательный демонтаж наименее загрязненного оборудования, демонтаж технологических каналов, консервация контуров многократной принудительной циркуляции и реакторов, демонтаж внешнего по отношению к реактору оборудования, демонтаж конструкций реакторов) и преобразования объекта «Укрытие» (создание нового конфайнмента, его эксплуатация, демонтаж нестабильных конструкций, извлечение топливосодержащих материалов (ТСМ), снятие с эксплуатации нового конфайнмента) и выработку предложений по научно-техническому сопровождению этих этапов. Синтез предполагает обобщенный анализ всего процесса, выявление факторов возможного взаимного влияния отдельных этапов и видов деятельности (снятия с эксплуатации и преобразования) и выработку предло-

жений по научно-техническому сопровождению с целью минимизации возможных негативных факторов такого влияния. Кроме того, синтез предполагает нахождение общих для всех этапов и видов деятельности оптимальных решений, например создание единой схемы обращения с радиоактивными отходами (РАО).

Благодаря сочетанию анализа и синтеза обеспечивается системный подход к решению сложных и многосторонних задач НТС.

Для выработки перечня НИР на каждом этапе может использоваться *метод мысленного эксперимента*. Мысленный эксперимент — это воображаемый опыт с идеальными средствами, с помощью которых закладываются и поясняются основания некоторой теоретической концепции или устанавливаются ее пределы. В случае разработки перспективных задач этот метод может использоваться для выявления основных проблем без привязки к конкретным технологиям и оборудованию, которые будут применяться (например, проблемы обращения с извлекаемым в будущем из объекта «Укрытие» облученного графита безотносительно привязки к конкретной технологии его извлечения).

Метод принципов (требований) обеспечивает всестороннее решение поставленной задачи. В соответствии с ним сначала устанавливается максимальное количество требований для эффективного решения задачи (например, минимальные материальные и дозовые затраты и объемы образующихся РАО, минимальное воздействие на окружающую среду, возможность как можно более быстрого захоронения всех РАО, возможность дальнейшего эффективного использования территории промплощадки и пр.). Затем анализируется возможность выполнения или невыполнения этих требований в ходе практической деятельности. В итоге разрабатываются рекомендации по реализации тех требований, которые не выполнены или недостаточно выполнены.

Метод комплексного подхода можно считать упрощенным вариантом метода принципов (требований). Он заключается в учете всех важных факторов соответствующей деятельности: организации работ, квалификации персонала, используемой технологии и пр. Метод комплексного подхода требует учета всех комплексных взаимосвязей, в том числе и внешних. Например, в случае преобразования объекта «Укрытие» — это возможность организации хранения, захоронения или переработки образующихся РАО, в том числе ТСМ, возможность безопасной эксплуатации систем на протяжении десятков лет с учетом физического и морального устаревания оборудования. При этом требуется оптимально увязать деятельность по преобразованию с деятельностью по снятию с эксплуатации. Метод требует применения единого подхода и единой организации, так как упущения и нерешенные проблемы могут отрицательно воздействовать на внутреннее и внешние процессы предприятия. В рассматриваемом примере при планировании НТС необходимо учесть перспективы создания хранилищ РАО, в том числе в стабильных геологических формациях (захоронение ТСМ и других высокоактивных отходов).

НТС таких длительных и сложных процессов, как снятие с эксплуатации энергоблоков и преобразование объекта «Укрытие», требует предусмотреть включение в «Программу НТС» работ, использующих такие научные методы, как наблюдение, эксперимент и моделирование.

Исследования *методом наблюдения* носят эмпирический характер, т. е. основаны на практическом опыте. Это

предполагает наблюдение процессов снятия с эксплуатации в их реальном виде и сбор фактов (оценка доз, количество образуемых РАО и пр.). Например, благодаря наблюдению и сбору фактической информации можно определить, как изменялись дозозатраты, радиэкологическая обстановка за тот или иной период, и сделать выводы о необходимости проведения дополнительных исследований и разработок.

В отличие от этого *эксперимент* предполагает проведение искусственного научного опыта, когда изучаемый объект ставится в специально созданные и контролируемые условия. Например, до начала широкомасштабной деятельности по извлечению ТСМ целесообразно провести модельные эксперименты с целью уточнения производительности отдельных процессов, в первую очередь — фрагментации, величины выбросов при проведении фрагментации и контейнеризации и пр. При снятии с эксплуатации перед планированием демонтажа оборудования реакторного отделения целесообразным, возможно, будет взятие проб для определения уровня наведенной активности и радионуклидного состава.

Для экономии материальных и дозовых затрат при решении многих задач целесообразно применять *метод математического моделирования*, который предусматривает изучение характеристик объектов по их теоретическому образу (модели). Так, учитывая сложность экспериментального определения уровня наведенной активности и радионуклидный состав элементов реакторной установки при ее снятии с эксплуатации, производят математическое моделирование флюенса и спектра нейтронов на протяжении всего периода ее эксплуатации и рассчитывают удельную активность накопленных радионуклидов. Эффект увеличения мощности дозы гамма-излучения вблизи объекта «Укрытие» после создания нового безопасного конфайнмента (увеличится рассеяние гамма-излучения от скопленных ТСМ) и демонтажа кровли объекта «Укрытие» (уменьшится ослабление гамма-излучения от скопленных ТСМ) также можно оценить только методом математического моделирования.

Для оценки стоимости проведения НИР, планируемых в рамках НТС, целесообразно применять *функционально-стоимостной анализ* (ФСА). Метод ФСА работает по следующему алгоритму. На первом этапе определяется последовательность функций, необходимых для выполнения работы. Сначала выявляются все возможные функции, после чего они распределяются по двум группам: влияющие на качество результата и не влияющие. Далее на этом этапе производится оптимизация последовательности: устраняются или сокращаются шаги, не влияющие на качество, и сокращается стоимость. На втором этапе для каждой функции определяются трудозатраты и стоимость. Затем для каждой функции на основе полученных оценок определяется количественная характеристика источника затрат. После того как для всех функций будут определены их источники затрат, проводится окончательный расчет затрат на выполнение той или другой работы.

Цели и задачи НТС в области ядерной энергетики. НТС в области ядерной энергетики — это комплекс работ научно-методического, экспертно-контрольного, информационно-аналитического и организационно-правового характера, осуществляемых для обеспечения максимального уровня экономической эффективности и безопасности на различных этапах жизненного цикла ядерно- и (или) радиационно-опасного объекта.

Основной целью НТС является решение проблем, не обусловленных нормативными документами и эксплуатационной документацией, которые могут возникнуть на различных этапах жизненного цикла при условии отсутствия достаточного опыта и прямых аналогов в отечественной и мировой практике.

Основные задачи НТС:

- проведение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по совершенствованию методов, технологий и оборудования систем контроля и диагностики и внедрения современных научно-технических разработок;
- разработка оптимальных технических и технологических решений проблем;

- анализ результатов различных видов мониторинга и данных контроля уровня ядерной и радиационной безопасности;

- прогнозирование изменения радиационной обстановки на самом объекте и в окружающей среде при нормальной эксплуатации, снятии с эксплуатации и возможных авариях с учетом всех возможных видов воздействий и возникновения чрезвычайных ситуаций;

- изучение и анализ основных факторов и закономерностей, влияющих на надежность систем безопасности и систем, важных для безопасности;

- анализ нарушений в работе АЭС, их влияния на риски при эксплуатации установок, разработка и внедрение современных методов управления радиационными рисками;
- разработка технологических и технических решений для продления определенного эксплуатационного ресурса оборудования АЭС;

- оптимизация процесса снятия с эксплуатации установок, в том числе разработка предложений по оптимальному использованию площадок после снятия с эксплуатации установок;

- выбор оптимальных схем и технологий обращения с РАО на различных этапах жизненного цикла установок с целью минимизации объемов захораниваемых РАО.

НТС предполагает выполнение характерных работ на всех этапах жизненного цикла объекта:

на этапе проектирования:

- анализ мирового опыта проектирования аналогичных объектов и выбор оптимальных конструктивных и технических решений;

- предпроектные исследования радиационной обстановки (при планировании работ в радиационно-опасных условиях, например на площадке ЧАЭС);

- подбор возможных альтернативных вариантов решений, в том числе вариантов выбора площадки, выбор оптимальных технологий на основе принципа ALARA и др.;

- анализ возможных воздействий объекта на персонал и окружающую среду при нормальной эксплуатации и возможных авариях;

- разработка дополнительных мероприятий по обеспечению ядерной и радиационной безопасности (ЯРБ) при необходимости;

- анализ возможности обеспечения ядерной и радиационной безопасности при снятии с эксплуатации объекта в будущем;

на этапе строительства:

- предоставление информационной помощи при решении задач, связанных с обеспечением ЯРБ;

- уточнение, при необходимости, радиационной обстановки (при производстве работ в радиационно-опасных условиях);

решение возникающих в процессе строительства проблем, связанных с обеспечением ЯРБ, корректировка проектных решений, при необходимости;

анализ данных об изменении радиационной обстановки и дозовых нагрузках персонала (при производстве работ в радиационно-опасных условиях);

контроль качества оборудования и материалов, применяемых для обеспечения ЯРБ;

на этапе эксплуатации:

решение проблемных с точки зрения ЯРБ вопросов, которые могут возникнуть в процессе эксплуатации;

анализ данных радиационного мониторинга и сравнение их с проектными данными по выбросам, сбросам, мощности дозы излучения и пр.;

разработка и внедрение новых технологий, включая новые приборы и методики радиационного мониторинга, для повышения достигнутого уровня ЯРБ;

изучение возможности продления сроков эксплуатации с соблюдением приемлемого уровня ЯРБ;

разработка методов уменьшения объемов эксплуатационных РАО и выбор оптимальных схем и технологий обращения с ними;

на этапе снятия с эксплуатации:

радиационное обследование снимаемого с эксплуатации объекта и окружающей территории, оценка характеристик РАО, образуемых при снятии с эксплуатации;

анализ соответствия эксплуатационно-технической документации объекта в части снятия с эксплуатации требованиям нормативных документов Украины и рекомендациям компетентных международных организаций, прежде всего МАГАТЭ;

подбор возможных альтернативных сценариев снятия с эксплуатации, выбор оптимального на основе принципа ALARA;

выработка рекомендаций по применению современных технологий демонтажа, в том числе с применением дистанционно-управляемой техники (например, при разработке вопроса снятия с эксплуатации энергоблока особое внимание следует уделить технологии демонтажа реактора);

выработка рекомендаций и разработка, при необходимости, современных технологий дезактивации оборудования и сооружений;

разработка технических решений при возникновении проблемных вопросов в части минимизации воздействий на персонал и окружающую среду в процессе снятия с эксплуатации;

разработка требований по подготовке РАО к передаче на хранение (захоронение), мероприятий по минимизации РАО, в частности по отделению активных частей оборудования от неактивных и пр.;

выработка рекомендаций по критериям и технологиям восстановления окружающей территории.

Выводы

Оптимальная организация НТС является необходимым условием для решения обеспечения безопасности при строительстве, эксплуатации и снятии с эксплуатации ядерно- и радиационно-опасных объектов. Эта задача особо актуальна в связи с планами интенсивного развития атомной энергетики в Украине.

Методология организации НТС должна быть основана на применении современных научных методов, в частности наблюдения, эксперимента, моделирования, анализа и синтеза, мысленного эксперимента, принципов (требований), комплексного подхода и др. Для оценки стоимости проведения НИР, планируемых в рамках НТС, целесообразно применять функционально-стоимостной анализ.

Каждый этап жизненного цикла объекта с ядерно-радиационными технологиями имеет свою специфику и требует разработки своей программы НТС. В настоящее время в атомной энергетике Украины наибольшей проблемой является снятие с эксплуатации ЧАЭС с учетом наличия аварийного энергоблока № 4, над которым был возведен объект «Укрытие» и над которым в настоящее время предполагается построить новый безопасный кон-файнмент. Поскольку объект «Укрытие» непосредственно примыкает к энергоблоку № 3 и имеет с ним много общих систем, необходимо в сжатые сроки разработать единую «Программу научно-технического сопровождения работ по снятию с эксплуатации Чернобыльской АЭС, преобразованию объекта «Укрытие» в экологически-безопасную систему» и приложить усилия для ее реализации.

Список использованной литературы

1. Державні будівельні норми України. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Науково-технічний супровід будівельних об'єктів: ДБН В.1.2–5:2007.

2. Цільова комплексна програма наукових досліджень НАН України «Науково-технічний супровід розвитку ядерної енергетики та застосування радіаційних технологій в галузях економіки» / НАН України. — 2011.

Получено 30.05.2011.