

Технологии извлечения топливосодержащих материалов из объекта «Укрытие»

Рассмотрены характерные особенности объекта «Укрытие» (ОУ), которые влияют на выбор методов и технологий обращения с радиоактивными отходами, находящимися в ОУ. Анализируются основные предпосылки и особенности обеспечения радиационной безопасности при извлечении топливосодержащих материалов (ТСМ). Показано, что все ТСМ могут быть извлечены параллельно с разборкой ОУ путем сегрегации ТСМ от всех остальных типов радиоактивных материалов. Предложен и обсуждается альтернативный вариант извлечения ТСМ без разборки несущих конструкций ОУ. Приведены оценки продолжительности, стоимости и дозовых затрат для сухих и мокрых технологий извлечения ТСМ.

Ключевые слова: объект «Укрытие», новый безопасный конвейер, радиоактивные отходы, топливосодержащие материалы, технологии.

В. В. Токаревський

Технології вилучення паливовмісних матеріалів з об'єкта «Укриття»

Розглянуто характерні особливості об'єкта «Укриття» (ОУ), які впливають на вибір методів і технологій поводження з радіоактивними відходами, що знаходяться в ОУ. Аналізуються основні передумови й особливості забезпечення радіаційної безпеки під час вилучення паливовмісних матеріалів (ПВМ). Показано, що всі ТСМ можуть бути вилучені паралельно з розбиранням ОУ сегрегацією ПВМ від усіх інших радіоактивних матеріалів. Запропоновано та обговорюється альтернативний варіант вилучення ПВМ без розбирання несучих конструкцій ОУ. Наведено оцінки тривалості, вартості й дозових витрат для сухих і мокрих технологій вилучення ПВМ.

Ключові слова: об'єкт «Укриття», новий безпечний конвейер, радіоактивні відходи, паливовмісні матеріали, технології.

Технология извлечения топливосодержащих материалов (ТСМ) — это совокупность и последовательность методов и процессов, включающих сбор неорганизованных радиоактивных отходов (РАО), в том числе ТСМ, предварительную их сортировку и кондиционирование, перемещение и размещение упаковок ТСМ (РАО) в местах контролируемого хранения (буферных хранилищах) с целью их дальнейшей перевозки для переработки и/или захоронения.

Все перечисленные методы и процессы хорошо известны и отработаны в атомной промышленности, если словосочетание «неорганизованные ТСМ» заменить на «аварийное облученное ядерное топливо», а вместо неформативного термина «извлечение ТСМ» использовать общепринятый термин «обращение с РАО». Поэтому проблемой является не столько кажущееся отсутствие технологии извлечения ТСМ, сколько адаптация промышленно отработанных технологий обращения с РАО к особенностям объекта «Укрытие» (ОУ).

Характерные особенности ОУ, которые влияют на выбор методов и технологий обращения с РАО, находящимися в ОУ, состоят в следующем [1]:

1. Отсутствует проектная документация на объект в целом, а также детальная документация на большинство помещений ОУ, где предполагается выполнять работы.

2. Хаос в помещениях, где сосредоточена основная часть ТСМ и РАО, существенно затрудняет изготовление необходимой проектной документации.

3. Аварийный характер многих помещений ОУ затрудняет (возможно, и запрещает) выполнение активных технологических операций без предварительного анализа и предотвращения возможных последствий от прилагаемых механических воздействий.

4. При доступе к скоплениям ТСМ, а также при выполнении технологических операций необходимо учитывать пространственные (габаритные) ограничения внутри ОУ.

5. Климатические условия внутри ОУ (температура, влажность, скорость и направление воздушных потоков) практически не регулируются и определяются метеоусловиями вне ОУ.

6. Нефиксированная радиоактивная пыль является определяющим фактором радиационной безопасности персонала. Образование радиоактивной пыли при выполнении технологических операций может приводить к распространению радиоактивного загрязнения по другим помещениям ОУ и Чернобыльской АЭС, а также к загрязнению технических средств, оборудования и окружающей природной среды.

7. Содержание делящихся ядерных материалов (^{235}U , $^{239,241}\text{Pu}$, $^{241,243}\text{Am}$) в ТСМ мало по сравнению с массой как ТСМ, так и других РАО, и характеризуется большой неоднородностью по помещениям ОУ.

8. ТСМ находятся не только во внутренних помещениях ОУ, но и на промышленной площадке, причем в виде, доступном для взаимодействия с атмосферными осадками и грунтовыми водами.

9. Потенциальная опасность возникновения цепной реакции при работе с ТСМ требует соблюдения соответствующих норм и правил ядерной безопасности, разработанных для обращения с делящимися ядерными материалами.

10. Высокие радиационные поля ограничивают (или исключают) участие персонала при выполнении работ, обслуживании и ремонте оборудования.

Несмотря на уникальность ОУ все перечисленные особенности имеют промышленные аналоги в других областях

человеческой деятельности. В частности, особенности 1, 2 и 3 характерны для ликвидации последствий землетрясений и других разрушений, а особенности 4–8 — для выполнения горных работ (подземных и открытых), при добыче полезных ископаемых. И только особенности 9 и 10 характерны для атомной промышленности и ликвидации последствий аварий на радиационно-ядерных объектах.

Основные предпосылки и особенности обеспечения радиационной безопасности при извлечении ТСМ. Полномасштабное извлечение ТСМ начнется после:

- отработки всех элементов технологии и доказательства их безопасности и применимости в реальных условиях ОУ и нового безопасного конфайнмента (НБК);

- сооружения и сдачи в эксплуатацию НБК;

- демонтажа нестабильных конструкций внутри НБК;

- сдачи в эксплуатацию хранилища в стабильных геологических формациях;

- разработки, согласования и лицензирования проекта извлечения ТСМ.

Особенности дозообразования при извлечении ТСМ зависят от времени начала извлечения ТСМ. Текущее внешнее облучение при извлечении ТСМ будет определяться радионуклидом ^{137}Cs . Потенциальный риск облучения уменьшится приблизительно в 1000 раз в течение 300 лет. Дозиметрический (в том числе индивидуальный) контроль может осуществляться оперативно и доступными средствами. Текущее внутреннее облучение в основном будет определяться радионуклидами $^{238,239,240,241}\text{Pu}$ и ^{241}Am . Потенциальный риск облучения имеет тенденцию к постоянному росту вследствие саморазрушения лавообразных ТСМ с образованием и накоплением мелкодисперсной пыли. Предельно допустимые концентрации трансурановых элементов в воздухе помещений ОУ (или НБК) приблизительно в 330 раз меньше, чем предельно допустимые концентрации радионуклидов ^{90}Sr и ^{137}Cs . Дозиметрический (в том числе индивидуальный) контроль требует специальных средств и оперативно практически невозможен.

Накопленный опыт выполнения работ внутри ОУ показывает, что наибольшую опасность представляет риск облучения вследствие подъема радиоактивной пыли и образования радиоактивных аэрозолей при намеренных или случайных механических контактах с любыми материалами и конструкциями объекта. Следствием является не только возможность увеличения ингаляционной дозы, но и дополнительный перенос радиоактивности, загрязнение оборудования, необходимость увеличения объема дезактивационных работ, увеличение расходов на радиационную защиту и эксплуатацию. Поэтому обеспечение радиационной безопасности при извлечении ТСМ предполагает зонирование ОУ и НБК по степени радиационной опасности, создание локальных систем пылеподавления, пылеулавливания, водоочистки и газоочистки, а также создание дополнительных локализирующих барьеров в зонах извлечения.

Создание эшелонированной защиты является основным средством снижения радиологического риска населения и персонала при извлечении ТСМ. Наружные барьеры — это ограждающие конструкции НБК и, возможно, гидрогеологическая защита при извлечении диспергированных ТСМ из грунтов промплощадки. Внутренние барьеры — это локальные конфайнменты (по зонам извлечения), контейнеризация доступных ТСМ, омоноличивание части скоплений на месте и буферные хранилища. Наконец, при контакте рабочих инструментов с ТСМ

создаются временные барьеры с помощью мокрых технологий (например, выполнение работ под слоем жидкости или слабоосаждающейся пены), пенной блокады или пылеосаждения на месте.

Технологии извлечения. Разработку технологий извлечения ТСМ из ОУ можно условно разделить на четыре периода. Первый период закончился в 1993 г. подведением итогов Международного конкурса «Киев-92» [2], второй — в 1996 г. разработкой документа [3]. Третий период начался в 1997 г. после утверждения странами «Большой семерки» Плана осуществления основных мероприятий на объекте «Укрытие» (далее — ПОМ, английская аббревиатура — SIP) [4] и завершился в 2001 г. выпуском решений П7 [5] и П9 [6] НАЭК «Энергоатом». Четвертый период должен был начаться в 2002 г. после завершения тендера на разработку технико-экономического обоснования технологий и проекта демонстрационного извлечения ТСМ. Работы планировалось начать в сентябре 2002 г. и завершить через 16 месяцев. Консорциум «Техноцентр» победил в тендере, но ЕБРР не утвердил решение тендерного комитета. Вследствие этого Задача 20 ПОМ не выполнена до сих пор.

Все предложенные до настоящего времени технологии извлечения ТСМ можно разбить на два класса, которые различаются между собой степенью демонтажа (разборки) существующего ОУ.

С одной стороны, все ТСМ могут быть извлечены параллельно с полной разборкой ОУ путем сегрегации ТСМ от всех остальных типов радиоактивных материалов. Это технологии по методу консорциума АЛЪЯНС (проект «Радуга», извлечение внутри стационарного контейнмента, сооруженного над ОУ) и по методу КБ «Южное» (проект «Док-кессон», извлечение путем полной разборки ОУ с использованием надвигаемого конфайнмента). Необходимым условием для реализации таких технологий является сооружение над существующим ОУ нового «Укрытия-2», структурно не связанного с ОУ.

С другой стороны, извлечение ТСМ может быть осуществлено без разборки несущих конструкций ОУ. К таким технологиям относятся сухие фторидные технологии и комплексная мокрая технология с элементами мягкого выщелачивания, которая разрабатывалась по заказу Чернобыльской АЭС. Такие технологии не предусматривают в качестве необходимого условия сооружения нового долговременного «Укрытия-2», хотя может потребоваться укрепление (стабилизация) части конструкций существующего ОУ.

Работы по выбору и обоснованию безопасной технологии извлечения ТСМ из ОУ на основе отработанных промышленных технологий были продолжены международным консорциумом «Техноцентр» в рамках ПОМ (SIP) [4]. Общая технологическая схема обсуждалась в [1] и была концептуально разработана в процессе выполнения Задачи 20 ПОМ [7–10]. В рамках Пакета D были рассмотрены сухие и мокрые технологии извлечения ТСМ. Сухие технологии исключают использование воды (и других жидких сред) в процессе перемещения ТСМ, тогда как мокрые технологии предполагают контролируемое использование воды (или других жидких сред) в процессе перемещения ТСМ. При использовании мокрых технологий ядерная безопасность (подавление критичности) обеспечивается применением жидких и твердых нейтронных поглотителей.

Технология извлечения ТСМ и других РАО, разработанная в документах Пакета D, основывается на разделении

объекта «Укрытие» на пять технологических зон: зона № 1 — промышленная площадка ОУ; № 2 — пионерные стены; № 3 — северная каскадная стена; № 4 — нижние отметки ОУ (от 0 м до +9 м); № 5 — центральный зал (включая южный бассейн выдержки), шахта реактора (включая схему «Е») и подреакторное пространство.

Технологическая схема извлечения конкретного скопления ТСМ может содержать элементы как сухих (например, для извлечения части ТСМ в модификации, для которой топливная матрица сохранилась, т. е. от отдельных таблеток до тепловыделяющих сборок в южном бассейне выдержки), так и мокрых технологий (например, для извлечения ТСМ в модификациях с разрушенной топливной матрицей). Для определения основных количественных показателей технологии (производительность, полное время извлечения) использовались результаты работ по Задаче 19 ПОМ [11–14], которые послужили основанием для утверждения Предварительной стратегии извлечения ТСМ и обращения с РАО [5].

В отчете [10] проекты сухих технологий концептуально проработаны для всех зон извлечения ОУ. Основные выводы:

существуют все технические средства и дистанционно управляемые механизмы для извлечения ТСМ;

максимальное время извлечения составит приблизительно 45–50 лет при односменной работе и пятидневной рабочей неделе;

общая стоимость работ составит приблизительно 550 млн евро, т. е. порядка 10–12 млн евро в год, что сопоставимо с эксплуатационными затратами;

общие трудозатраты, необходимые для извлечения ТСМ из ОУ, составят около 7 млн человеко-часов;

коллективная доза за все время извлечения не превысит 150 Зв.

Для мокрых технологий не рассматривалось извлечение ТСМ с сохранившейся топливной матрицей. Концептуальный проект извлечения ТСМ методом выщелачивания разработан для зон № 1 и № 4 в полном объеме и для зоны № 5 в части, касающейся ТСМ с разрушенной топливной матрицей. Основные выводы:

имеются промышленные аналоги и адаптация к условиям ОУ возможна;

максимальное время извлечения менее 45 лет;

стоимость работ 112,8 млн евро;

общие трудозатраты из зон извлечения оцениваются приблизительно в 840 тыс. человеко-часов;

ожидаемая коллективная доза не превышает 24 Зв;

объем извлеченных ТСМ, подлежащих захоронению, — до 1000 т;

объем извлеченных сопутствующих РАО, подлежащих захоронению, — до 3600 т;

извлекаемая активность — около 6 МКи.

Все приведенные выше оценки являются консервативными и завышены минимум на 20 %. Как в сухих, так и в мокрых технологиях извлечение проводится с использованием дистанционных методов и дистанционно управляемых механизмов.

Программа работ по извлечению ТСМ рассчитана на проектный срок службы НБК и включает пять этапов: 1 — подготовительный; 2 — отработка технологии извлечения ТСМ; 3 — перевод доступных ТСМ и других РАО в контролируемое состояние; 4 — извлечение и захоронение ТСМ и долгоживущих РАО; 5 — дальнейшее использование конфайнмента.

Подготовительный этап. Его продолжительность составляет от 7 до 15 лет, начинается в рамках ПОМ и может реализоваться во время строительства НБК. В соответствии с ПОМ на этом этапе создается прототип технологии для демонстрации извлечения ТСМ. После завершения ПОМ продолжается отработка технологий обращения с ТСМ. В стратегическом плане отрабатываются технологические и процедурные вопросы, прежде всего ориентированные на перевод ТСМ и РАО в контролируемое состояние, а также на создание технических средств обращения с ТСМ в аварийных ситуациях. Содержанием работ подготовительного этапа является создание буферных хранилищ, в частности внутри системы локализации аварии блока «Б»; внутри блока «В»; внутри машзала или блока «Г»; секции внутри нового безопасного конфайнмента; в локальной зоне вне нового безопасного конфайнмента. Для выполнения этих работ необходимо провести стабилизацию конструкций в зонах извлечения (схема «Е» и др.) и в транспортных коридорах.

Наиболее важными элементами содержания работ на предварительном этапе являются разработка методов создания локальных конфайнментов, адаптация дистанционно управляемых механизмов для фрагментации, транспортировки и упаковки ТСМ, отработка буферного хранения, создание системы учета и контроля содержания ядерных материалов в упакованных ТСМ.

В результате на подготовительном этапе будут созданы инженерная инфраструктура и безопасные условия внутри НБК для перевода ТСМ в контролируемое состояние и последующего извлечения ТСМ.

Отработка технологии извлечения ТСМ. Продолжительность этапа составляет 10–20 лет, в том числе демонстрационных экспериментов — два-три года. На этом этапе отрабатываются перевод в контролируемое состояние, буферное хранение, зонирование и дезактивация, возможность создания локальных конфайнментов, технологии фрагментации и транспортировки, обращение с продуктами дезактивации.

Основные результаты второго этапа:

создание детальной компьютерной трехмерной модели «зон извлечения» и технологического, в том числе дистанционно-управляемого, оборудования и агрегатов, совместная эксплуатация с моделью последовательного демонтажа и/или укрепления строительных конструкций для целей демонстрационного извлечения и оптимизации технологии извлечения ТСМ и обращения с РАО;

практическое доказательство осуществимости всех элементов комплексной технологии извлечения ТСМ и получение исходных данных для детального проектирования;

разработка, согласование и утверждение концептуального проекта извлечения ТСМ (ключевое решение ПОМ П8) и детальных проектов по зонам извлечения.

Перевод доступных ТСМ и других РАО в контролируемое состояние. Поскольку более 90 % ТСМ и других РАО представляют собой открытые источники ионизирующих излучений, которые вышли из-под контроля в результате радиационной аварии, то восстановление контроля или перевод ТСМ и других РАО в контролируемое состояние является первоочередной задачей для уменьшения или предотвращения потенциального облучения персонала и населения. Перевод ТСМ и других РАО в контролируемое состояние достигается путем:

характеризации, т. е. определения местонахождения, количества и свойств ТСМ и других РАО;

Таблица 1. Рекомендованные технические решения для сухого извлечения ТСМ

Зоны извлечения	Метод доставки исполнительных механизмов	Направление доступа	Транспортировка первичных контейнеров за пределы зоны извлечения
Помещения на отметках 0...+9 м	Гусеничный транспорт	Горизонтально из деаэрационной этажерки	Гусеничный транспорт
Реакторный зал, южный бассейн выдержки, шахта реактора	Мостовой кран + строительные механизмы	Вертикально, через проемы в кровле	Мостовой кран + рельсовый транспорт
	Мостовой кран + независимая опора		Рельсовый транспорт
Пионерные стены	Мостовой кран + гусеничный механизм	Вертикально/ горизонтально	Мостовой кран + гусеничный транспорт
Каскадная стена	Мостовой кран + тяжелая техника	Вертикально	

сбора и контейнеризации доступных ТСМ и/или имобилизации других ТСМ, т. е. предотвращения неконтролируемого распространения ТСМ и других РАО;

создания технических условий для постоянного мониторинга и управления свойствами ТСМ и других РАО.

Результатом перевода ТСМ и других РАО в контролируемое состояние является создание дополнительных инженерных барьеров путем помещения доступных ТСМ и других долгоживущих РАО в контейнеры (или их имобилизации путем омоноличивания на месте). Контейнеры хранятся внутри НБК в специально оборудованных буферных хранилищах, которые оснащены необходимыми техническими средствами для контроля, физической защиты и последующего извлечения.

Этот этап продолжительностью 20–30 лет начинается во время разборки нестабильных конструкций после завершения строительства НБК и становится основным содержанием работ персонала по эксплуатации НБК после сдачи его в эксплуатацию. Работы осуществляются внутри нового безопасного конфайнмента. ТСМ после предварительной сортировки помещаются в контейнеры. Производится контроль и учет ядерных материалов. Затем контейнеры размещаются в буферных хранилищах ТСМ, оборудованных системами контроля и техническими средствами для извлечения контейнеров. Сопутствующие радиоактивные отходы помещаются в контейнеры РАО и поступают в буферные хранилища РАО.

Основные результаты третьего этапа:

ТСМ извлечены и находятся в контейнерах в буферных хранилищах;

фрагменты разрушенной активной зоны и отработавшее топливо из бассейна выдержки извлечены, кондиционированы и находятся в буферных хранилищах.

Извлечение и захоронение ТСМ и долгоживущих РАО. Продолжительность этапа составляет 15–25 лет. На протяжении трех предыдущих этапов, длительность которых может измеряться несколькими десятилетиями, в Украине завершится создание системы обращения с ОЯТ и РАО всех типов [15, 16]. Тем самым будут созданы предпосылки для реализации основного этапа преобразования объекта «Укрытие» в экологически безопасную систему путем извлечения из нового безопасного конфайнмента ТСМ и других долгоживущих РАО. Работы будут осуществляться при участии эксплуатационного персонала НБК. Из буферных хранилищ, расположенных в НБК, извлекаются контейнеры с ТСМ и помещаются в транспортные упаковки, которые транспортируются за пределы НБК для

последующей обработки и захоронения. Извлечение ТСМ и долгоживущих РАО из северной каскадной стены, пионерных стен и других скрытых мест осуществляется одновременно с разборкой соответствующих строительных конструкций. В результате будут созданы условия для снятия с эксплуатации энергоблока № 4 Чернобыльской АЭС, так как все ядерное топливо будет извлечено (табл. 1).

Рекомендуемые технические решения, несмотря на очевидные различия, имеют ряд общих черт:

все они направлены на перемещение ТСМ из неорганизованного состояния в контролируемое, обеспеченное многобарьерными системами безопасности;

все они осуществляют уменьшение размеров ТСМ для выполнения требований ядерной безопасности и соответствия геометрии транспортных контейнеров;

первичное разделение между ТСМ и сопутствующими РАО выполняется непосредственно в месте извлечения путем радиационного контроля и теленаблюдения;

предварительно отсортированные ТСМ и сопутствующие РАО размещаются в первичных контейнерах, затем транспортируются на установки переработки и упаковки внутри НБК, где дальнейшая сортировка минимизирует количество ТСМ и высокоактивных РАО;

до начала работ по извлечению ТСМ для каждой зоны извлечения создается необходимая инфраструктура (пути доступа и транспортные пути, энергообеспечение, вспомогательные инженерные сети);

в каждой области извлечения используется концепция зонирования для обеспечения безопасных условий труда, при этом в первой зоне работы выполняются исключительно с использованием дистанционно управляемых механизмов;

международные требования соблюдения гарантий для делящихся материалов реализуются объединением ОУ и НБК в зону баланса материала с одной ключевой точкой измерений.

Дальнейшее использование конфайнмента. НБК после завершения расчетного срока службы может быть демонтирован или использоваться как вспомогательное помещение Чернобыльской АЭС для снятия ее с эксплуатации. Весьма привлекательный вариант — использования НБК в качестве вспомогательного сооружения для приповерхностного захоронения короткоживущих РАО, оставшихся после извлечения ТСМ и других долгоживущих РАО (так называемое захоронение «на месте»). Возможный сценарий реализации такого проекта выглядит следующим образом. Помещения ОУ, входящие в систему прочноплотных боксов блока № 4, практически не пострадали в результате

аварии, хотя возможно, что собственно система локализации аварии (СЛА) нарушена вследствие демонтажа (отсечения) части коммуникаций. В процессе извлечения ТСМ некоторое штатное оборудование из помещений СЛА будет демонтировано и помещено в буферные хранилища. При подготовке внутренних помещений СЛА для складирования в них короткоживущих РАО эти помещения должны быть дополнительно очищены от долгоживущих радионуклидов. Затем происходит разборка на верхних отметках ОУ, фрагментация крупногабаритных узлов и размещение на нижних отметках, перемещение всех короткоживущих РАО в пределы СЛА и, наконец, цементирование нижних отметок. В результате СЛА блока № 4 превращается в поверхностное захоронение короткоживущих РАО.

Новые возможности для извлечения ТСМ. Предлагаемая программа извлечения ТСМ и обращения с РАО должна быть частью стратегии снятия с эксплуатации Чернобыльской АЭС и максимально использовать преимущества, которые возникают в связи с остановкой и прекращением эксплуатации блока № 3 ЧАЭС, а именно:

допускается использование помещений блока «В» для буферного хранения ТСМ и других РАО в контейнерах, а также для технологического доступа с востока к зонам извлечения ТСМ в ОУ;

после завершения выгрузки ОЯТ из блока № 3 допускается использование транспортных схем и технологического оборудования блока № 3 для обеспечения работ по извлечению ТСМ и обращению с РАО, а также отработки технологий демонтажа и подготовки персонала;

в перспективе возможно создание единого технологического комплекса, состоящего из блоков А, Б, В и машзала для обращения с РАО как ОУ, так и блока № 3 с максимальным привлечением эксплуатационного персонала.

Выводы

При выполнении задач 19 и 20 ПОМ было показано, что извлечение ТСМ из объекта «Укрытие» технически осуществимо с использованием известных технологий и существующих технических средств в течение 45–50 лет при односменной работе и пятидневной рабочей неделе. Предложено применение дистанционно управляемых технологий, апробированных при снятии с эксплуатации АЭС и ядерных установок, демонтаже оборудования в тяжелых радиационных условиях. Необходимое для извлечения ТСМ оборудование доступно на современных рынках и нуждается только в ограниченной адаптации к условиям объекта «Укрытие».

Автор с признательностью отмечает, что материалы, обобщенные в статье, получены в международном консорциуме «Техноцентр», куда входят ГСП «Техноцентр» (г. Чернобыль, Украина, лидер консорциума), General Atomics (г. Сан-Диего, США), Colenco (г. Баден, Швейцария), Preussag Noell (г. Вюрцбург, Германия) и UIT (г. Дрезден, Германия). В разработке вариантов и отдельных элементов технологии извлечения ТСМ принимали также участие BNFL Instruments (г. Калдербридж, Англия), КАВ (г. Берлин, Германия), Kraftanlagen Nucleartechnik (г. Гайдельберг, Германия), Физико-энергетический институт им. А. И. Лейпунского (г. Обнинск, Россия), Радиевый

институт им. В. Г. Хлопина (г. Санкт-Петербург, Россия), Государственное конструкторское бюро «Южное» им. М. К. Янгеля (г. Днепропетровск, Украина), Институт атомной энергии им. И. В. Курчатова (г. Москва, Россия), Институт электросварки им. Е. О. Патона (г. Киев, Украина). Коллектив привлеченных специалистов состоял из 88 высококвалифицированных специалистов и экспертов, в том числе из Украины — 37, из России — 21 и от западных фирм — 30. Каждый из них заслуживает особой благодарности.

Список использованной литературы

1. Токаревский В. В. Пакет D: топливосодержащие материалы / В. В. Токаревский // Проблемы Чернобыля: Материалы междунар. науч.-практ. конференции «Укрытие-98». — 1999. — Вып. 5. — С. 46–58.
2. Міжнародні проекти перетворення об'єкта «Укриття» в екологічно безпечну систему / В. І. Купний, В. П. Кухар, М. І. Проскура, В. В. Токаревський, В. І. Холоша // Бюлетень екологічного стану зони відчуження і зони безумовного (обов'язкового) відселення. — 1999. — № 13. — С. 19–25.
3. Стратегія перетворення об'єкта «Укриття»: Рішення Урядової комісії з питань комплексного вирішення проблем Чорнобильської АЕС від 18 квітня 1997 року.
4. Chernobyl Unit 4 Shelter Implementation Plan, Published 31 May 1997 by TACIS services DG-IA, European Commission and US Department of Energy.
5. Решение П7 НАЭК «Энергоатом». Стратегия извлечения ТСМ и обращения с РАО, SIP-PMU P7, 20.12.2000
6. Решение П9 НАЭК «Энергоатом». Решение по прототипу извлечения ТСМ // SIP-PMU P9, 08.06.2001.
7. Список технологий, потенциально применимых для целей извлечения ТСМ и обращения с сопутствующими РАО // Отчет SIP-EBPD-R-0021-T20-R4, 19.08.1999.
8. Комплексная технология извлечения ТСМ. Список рекомендуемого оборудования // Отчет SIP-EBPD-R-0064-T20-R5&R6 — 150 с.
9. Планы демонстрационных экспериментов по извлечению ТСМ и обращению с сопутствующими отходами. Список рекомендуемого оборудования: Части 1 и 2 // Отчет SIP-EBPD-R-0097-T20-R7&R8. — 109 с.
10. Анализ альтернатив технологий извлечения ТСМ. Планы демонстрационных экспериментов по извлечению ТСМ // Отчет SIP-EBPD-D-0109-T20-D1&R9. — 34 с.
11. Определение и описание вариантов стратегии извлечения ТСМ и обращения с РАО // SIP-EBPD-D-0059-T19-D2. — 16.06.2000 — Вып. 2. — 173 с.
12. Анализ «затраты—выгода» альтернативных вариантов стратегии извлечения ТСМ и обращения с отходами // SIP-EBPD-D-0084-T19-D3. — 139 с.
13. Анализ стратегии извлечения ТСМ и обращения с РАО. Итоговый отчет SIP-EBPD-D-0091-T19-D4, Консультант по Первоочередным Проектам ПОМ по Пакету Д. — 17.11.2000. — Вып. 2. — 136 с.
14. Strategy Study on the Removal of Fuel Containing Material from the Chernobyl Shelter and on the Related Waste Management / P. Leister, Colenco (Switzerland), W. R. Davison, J. F. Follin, J. McNair, General Atomics (USA), W. Lins, Kraftanlagen (Germany), Yu. A. Shybetsky, V. V. Tokarevsky, Technocentre (Ukraine) // WM'02 Conference, Tucson, Arizona, USA, 2002.
15. Стратегія поводження з радіоактивними відходами в Україні. — Розпорядження Кабінету Міністрів України від 19.08.2009 № 990-р.
16. Закон України «Про загальнодержавну цільову екологічну програму поводження з радіоактивними відходами» // Відомості Верховної Ради України (ВВР). — 2009. — № . — Ст. 8.

Получено 17.04.2012.