

Что делать дальше с энергоблоком № 4 Чернобыльской АЭС? К 30-й годовщине строительства объекта «Укрытие»

Тридцать лет назад, 30.11.1986, Государственная комиссия приняла на техническое обслуживание законсервированный энергоблок № 4 Чернобыльской АЭС. Украина совместно с международным сообществом предпринимает меры по преобразованию объекта «Укрытие» в экологически безопасную систему. На конец 2016 года планируется начало последнего этапа, в результате реализации которого объект «Укрытие» будет закрыт новым безопасным конфайнментом (НБК). Однако, как показано в статье, надвижка НБК является только начальным этапом преобразования и требуется еще множество научных исследований, организационных и технических мероприятий для достижения конечной цели — извлечения топливосодержащих материалов.

Ключевые слова: Чернобыльская АЭС, авария, объект «Укрытие», новый безопасный конфайнмент, преобразование объекта «Укрытие» в экологически безопасную систему.

А. В. Носовський

Що робити далі з енергоблоком № 4 Чернобыльської АЕС? До 30-ї річниці будівництва об'єкта «Укриття»

Тридцять років тому, 30.11.1986, Державна комісія прийняла на технічне обслуговування законсервованій енергоблок № 4 Чернобыльської АЕС. Україна спільно з міжнародною спільнотою вживає заходів щодо перетворення об'єкта «Укриття» на екологічно безпечну систему. На кінець 2016 року планується початок останнього етапу, в результаті реалізації якого об'єкт «Укриття» буде закрито новим безпечним конфайнментом (НБК). Однак, як показано у статті, насування НБК є тільки початковим етапом перетворення й потрібно провести ще багато наукових досліджень, вжити організаційних і технічних заходів для досягнення кінцевої мети — вилучення паливовмісних матеріалів.

Ключові слова: Чернобыльська АЕС, аварія, об'єкт «Укриття», новий безпечний конфайнмент, перетворення об'єкта «Укриття» в екологічно безпечну систему.

© А. В. Носовский, 2016

При проведении 26 апреля 1986 года испытаний одной из систем обеспечения безопасности на энергоблоке № 4 Чернобыльской АЭС (далее — ЧАЭС) ядерная установка была введена в нестабильное состояние, которое привело к взрыву, разрушению активной зоны реактора и здания реакторного отделения. Все барьеры безопасности были разрушены, строительные конструкции реакторной установки повреждены. Радиоактивные элементы попали практически во все помещения энергоблока, на кровли ближайших зданий и площадку станции. Произошел выброс радиоактивных топливных частиц, а также графита в атмосферу. Территория, непосредственно прилегающая к разрушенному энергоблоку, была загрязнена фрагментами активной зоны: обломками тепловыделяющих элементов, кусками графитовой кладки, радиоактивными элементами конструкций реакторной установки [1].

Аварийные работы на блоке № 4 ЧАЭС проводились в первую очередь для создания защитной оболочки над претерпевшим за проектные пределы аварию энергоблоком. В середине мая 1986 года было принято решение о долговременной консервации разрушенного энергоблока с целью предотвращения выхода радионуклидов в окружающую среду и снижения уровней ионизирующих излучений на площадке АЭС [2].

Основная задача на первом этапе строительства объекта «Укрытие» — подавление мощных локальных источников ионизирующих излучений на территории площадки: обломков топливных элементов, графитовой кладки и других конструктивных материалов разрушенного реактора. Возведенные разделительная стена, отделившая поврежденный блок № 4 от помещений блока № 3, а также защитные стены из железобетона по периметру блока № 4 обеспечивали безопасность производства строительно-монтажных работ.

Строительство объекта «Укрытие» завершилось в ноябре 1986-го, и 30 ноября 1986 года Государственная комиссия приняла на техническое обслуживание законсервированный энергоблок № 4 ЧАЭС [3]. Объект «Укрытие», возведенный в условиях сложной радиационной обстановки, изначально представлял собой строительную конструкцию, требующую постоянного наблюдения, контроля и применения корректирующих мероприятий при отклонении параметров безопасности. Невозможность проведения монтажа при непосредственном участии человека и использование в связи с этим дистанционной техники обусловили появление первого недостатка объекта — его негерметичность. Кроме того, большое количество бетона протекло в помещения, затруднил проход в них и существенно увеличил количество радиоактивных отходов (РАО); при этом произошло перераспределение нагрузок на несущие строительные конструкции. Вторым недостатком стала неопределенность прочности ряда опор, в качестве которых использовались либо старые конструкции, подвергшиеся воздействию аварии, либо закрепленные завалы. Из-за отсутствия возможности обеспечить долговременную безопасную эксплуатацию объекта «Укрытие» требовались дополнительные мероприятия по его преобразованию в безопасную систему [4].

Уже в 1991 году сформировались основные подходы к преобразованию объекта «Укрытие» в долговременную, неизменяемую, экологически безопасную систему [5]. А в 1992 году Правительство Украины приняло решение о проведении Международного конкурса проектов и технических решений по преобразованию объекта. Многоплановость поставленной задачи обусловила

(учитывая сложность достижения конечной цели) [6] разделение ее на две главные подзадачи: 1) непосредственное преобразование объекта в долговременную экологически безопасную систему; 2) создание технологий и осуществление разборки, переработки, транспортировки и захоронения топливосодержащих масс и радиоактивных материалов, находящихся в объекте. В 1993 году, в соответствии с решением жюри Международного конкурса, было подготовлено и выдано техническое задание на разработку технико-экономического обоснования по преобразованию объекта «Укрытие»; одновременно разработан перечень первоочередных мероприятий по повышению безопасной эксплуатации объекта, выполнение которых позволяет повысить безопасность ныне существующего объекта и начать реализацию этапов концепции преобразования, принятой в результате международного конкурса [7].

Преобразование объекта «Укрытие» в экологически безопасную систему должно включать несколько этапов:

первый — стабилизация строительных конструкций объекта или принятие комплекса мероприятий, направленных на поддержание его долговременной безопасности;

второй — сооружение новой локализирующей оболочки (нового безопасного конфинмента — НБК), удовлетворяющей установленным нормам и правилам безопасности при переработке и удалении из объекта радиоактивных материалов;

третий — извлечение и захоронение топливосодержащих масс и радиоактивных материалов, снятие энергоблока № 4 с эксплуатации.

Самый основной вопрос преобразования объекта «Укрытие» — извлечение из помещений объекта топливных масс и других РАО и размещение их в специализированном хранилище, которое удовлетворяет международным стандартам безопасности. Чтобы воплотить подобную стратегию в жизнь, необходимо создать и затем использовать дистанционную технику для извлечения, сортировки, кондиционирования, контейнеризации, перевозки и хранения РАО.

С целью реализации первых двух этапов в 1997 году американскими, европейскими и украинскими специалистами был разработан план действий по объекту «Укрытие» — Shelter Implementation Plan (SIP), определивший мероприятия и объем работ по преобразованию объекта в экологически безопасную систему, и в первую очередь — укрепление нестабильных строительных конструкций, строительство новой защитной оболочки с гарантией безопасности объекта «Укрытие» на 100 лет, разработка стратегии извлечения топливосодержащих и радиоактивных материалов.

Начало работ по надвижке НБК в проектное положение планируется на ноябрь 2016 года, а завершение международного проекта SIP — на конец 2017-го; таким образом международное инженерное и научное сообщество за 20 лет реализует наконец первые две задачи SIP: стабилизацию и строительство НБК. Причин затягивания проекта множество; одной из основных, очевидно, является то, что к работам, выполнение которых в соответствии с процедурами ЕБРР предусматривалось на тендерной основе, как правило, привлекались западные компании, организации и лица, не имевшие при этом соответствующей квалификации и практического опыта. В результате ресурсы проекта растрчивались малоэффективно и постоянно ощущалась нехватка финансовых средств на реализацию всех запланированных задач.

По всей видимости, из-за недостаточности финансовых средств произошло отклонение проекта от намеченной Правительством Украины первоначальной цели преобразования объекта «Укрытие», которая, как уже говорилось, заключается в извлечении ТСМ и других РАО из объекта и размещении их в специализированном хранилище, соответствующем международным стандартам по безопасности. Скопления ТСМ, которые образовались в результате аварии, являются главным источником опасности объекта «Укрытие». По состоянию и составу они относятся к долгоживущим РАО. Некоторые скопления ТСМ ядерно опасны. Это значит, что если ТСМ будут оставаться внутри объекта «Укрытие» в неконтролируемом состоянии, объект вообще никогда не сможет быть переведен в ядерно безопасное состояние. Извлечение ТСМ — основное условие преобразования объекта «Укрытие» в экологически безопасную систему и снятия его с эксплуатации. Переход к снятию с эксплуатации может считаться завершенным только тогда, когда ТСМ будут переведены в ядерно безопасное состояние и поставлены на контролируемое хранение или переданы на захоронение.

Практическая деятельность по преобразованию объекта «Укрытие» в экологически безопасную систему в настоящее время проводится в соответствии с требованиями законов Украины [8, 9] и «Стратегией преобразования объекта «Укрытие» [10], согласно которым работы по извлечению ТСМ должны быть осуществлены на заключительном, третьем этапе преобразования объекта. В 2000 году в рамках проекта SIP было принято программное решение [11] с определением предварительной стратегии извлечения ТСМ и обращения с РАО.

Основные положения этой стратегии таковы:

ТСМ должны быть удалены в течение срока службы НБК;

продолжительность извлечения ТСМ — 40...50 лет; приоритетным является перемещение ТСМ и других долгоживущих РАО непосредственно в хранилище для окончательного захоронения;

выборочное изъятие ТСМ следует начать после демонтажа нестабильных конструкций объекта «Укрытие» и завершения испытания технологий извлечения ТСМ;

приступить к массовому извлечению ТСМ после решения вопросов их временного хранения или захоронения.

Подчеркнем, что решение [11] рассматривалось как предварительное, которое должно быть подтверждено результатами демонстрационного эксперимента по извлечению ТСМ, необходимость проведения которого зафиксирована в программном решении [12], принятом в 2001 году. Однако уже в 2005 году в документе «Стратегия обращения с ТСМ и радиоактивными отходами объекта «Укрытие». План дальнейших действий» [13], который был согласован Госатомрегулирования Украины, утверждается:

на текущий момент отсутствуют какие-либо данные по применению новых технологий для извлечения ТСМ, на основе которых возможно на концептуальном уровне извлечение ТСМ. Поэтому продолжение работ по концептуальному исследованию стратегии и технологий извлечения ТСМ нецелесообразно;

на данном этапе реализации проекта SIP не получено дополнительной информации по ТСМ, которая позволила бы принять решение о необходимости их раннего извлечения. Существующая информация о долгосрочном поведении ТСМ указывает на необходимость разработки

программы мониторинга и контроля состояния ТСМ до и в ходе работ по их извлечению;

с учетом стоимости и сроков, проведение детального проектирования и демонстрации прототипа технологии извлечения ТСМ целесообразно.

В этом же документе [13] определена программа действий для достижения ключевого решения следующим образом:

на период до принятия решения по извлечению ТСМ в ходе реализации строительных работ по стабилизации строительных конструкций объекта «Укрытие», строительству НБК и осуществлению раннего демонтажа нестабильных конструкций, обращение с РАО, включая ТСМ, будет решаться в рамках «Интегрированной программы обращения с радиоактивными отходами на этапе прекращения эксплуатации Чернобыльской АЭС и преобразования объекта «Укрытие» в экологически безопасную систему»;

необходимо выполнить работу, которая предоставит исходные данные для разработки и создания системы контроля поведения ТСМ и для создания систем, обеспечивающих поддержание оптимальных температуры и влажности при хранения ТСМ внутри объекта «Укрытие». Это позволит получать оперативную информацию о негативных тенденциях поведения ТСМ;

прогнозная модель поведения ТСМ, а также данные, полученные с помощью системы контроля поведения ТСМ и системы контроля ядерной безопасности, позволят своевременно реализовать превентивные меры, направленные на снижение риска неблагоприятных последствий ухудшения состояния ТСМ, а также принять решение о необходимости раннего извлечения ТСМ. На основе прогнозной модели и результатов контроля ТСМ стратегия извлечения ТСМ и обращения с РАО будет доработана.

Но, основываясь на том, что работы по созданию и внедрению системы контроля поведения ТСМ не ведутся, принятия ключевого решения об извлечении ТСМ в ближайшее время ожидать не приходится.

Таким образом, строительство НБК осуществляется в условиях, когда отсутствует четкая стратегия будущего извлечения и последующего обращения с ТСМ. Единственным требованием к НБК пока является резервирование необходимого технологического пространства для дальнейшего размещения и использования технологий извлечения ТСМ и других РАО. Это ведет к определенным рискам, связанным с тем, что извлечение ТСМ с помощью созданных систем НБК может быть затруднено или даже невозможно для отдельных скоплений ТСМ. Кроме того, создание технологий и инфраструктуры обращения с ТСМ займет много времени, а вся деятельность, связанная с изъятием ТСМ, должна завершиться до того, как технологические системы НБК морально и физически устареют.

В процессе извлечения ТСМ могут существенно измениться радиационные параметры НБК, что необходимо учитывать при разработке и обосновании комплекса дополнительных мер по радиационной защите. Потенциальная опасность ТСМ со временем может возрастать вследствие спонтанного разрушения их поверхности с образованием высокоактивной пыли. Поэтому чрезвычайно актуальны извлечение и кондиционирование ТСМ до того, как процесс их разрушения примет масштабный характер.

Следует отметить, что обязательное условие безопасного хранения отработавшего ядерного топлива — создание нескольких герметичных барьеров для предотвращения воздействия радиоактивных материалов на окружающую

среду. НБК не является герметичным сооружением, поэтому риски воздействия остатков ядерного топлива на окружающую среду будут сохраняться до тех пор, пока оно не будет удалено из объекта «Укрытие». Следовательно, чрезвычайно актуальны разработка технологических решений по извлечению ТСМ с использованием систем НБК и обоснование безопасности в процессе их реализации. Такая работа выполнялась в течение 2010—2014 годов Институтом проблем безопасности атомных электростанций Национальной академии наук Украины [14].

Исходя из существующей информации о расположении ТСМ, можно выделить семь специфических зон их изъятия в будущем с использованием различных технологий:

1 — верхние отметки объекта (центральный зал, бассейны выдержки и др.);

2 — промежуточные отметки объекта «Укрытие» (под аппаратное помещение и др.);

3 — нижние отметки объекта (парораспределительный коридор, бассейн-барботер и др.);

4 — локальная зона объекта «Укрытие»;

5 — пространство за пионерными стенами;

6 — завалы под каскадной стеной;

7 — часть машинного зала объекта «Укрытие».

Извлечение ТСМ из зоны 1 является первоочередной задачей, направленной на повышение уровня безопасности при эксплуатации НБК. ТСМ этой зоны в основном формируют радиационную обстановку на кровлях объекта «Укрытие» и на прилегающей территории в настоящее время, а впоследствии будут ее формировать внутри НБК. При этом необходимо учитывать, что после демонтажа трубного наката и легкой кровли мощность дозы в зонах обслуживания НБК увеличится примерно в три раза. Радиоактивная пыль в этой зоне будет основным источником загрязнения конструкций и оборудования НБК как при нормальной эксплуатации, так и при возможных авариях. Этот эффект усилится, когда в результате демонтажа нестабильных конструкций раскроется верхняя часть объекта «Укрытие», т. е. будет удален существующий барьер на пути выхода радиоактивных веществ в пространство НБК. Извлечение ТСМ из зоны 1 в принципе невозможно без использования систем НБК и должно быть завершено в течение жизненного цикла НБК.

ТСМ зоны 2 и зоны 3 окружены многочисленными строительными конструкциями разрушенного энергоблока, выполняющими функцию инженерных барьеров на пути выхода радиоактивных веществ и ионизирующего излучения. Радиационное воздействие ТСМ этих зон на окружающую среду и персонал НБК будет проявляться в значительно меньшей степени, чем радиационное воздействие ТСМ зоны 1. Однако наличие таких барьеров существенно затрудняет выполнение работ по извлечению ТСМ в зонах 2 и 3 ввиду необходимости демонтажа отдельных строительных конструкций для организации доступа к скоплениям ТСМ.

Работы по извлечению ТСМ, локализованных в техногенном грунте зоны 4 объекта «Укрытие», возможны только после снятия с эксплуатации НБК, поскольку ТСМ в зоне 4 расположены под сооружениями НБК (западная стена НБК, технологическое здание, вспомогательные сооружения).

В зоне 5, в «пионерной» стене под толщей бетона, размещено около 1700 контейнеров (объем каждого — 1 м³) с высокоактивными РАО. Данная зона находится за пределами действия основных кранов НБК, поэтому работы

по изъятию ТСМ могут осуществляться с использованием других механизмов без привязки к работам в других зонах. Потенциально возможно извлечение ТСМ из зоны 5 во время работ по снятию с эксплуатации НБК.

Зона 6 характеризуется присутствием ТСМ в завале под каскадной стеной. По оценкам, количество ТСМ в завале составляет от 0,7 до 1,2 т. Данная зона также расположена за пределами действия основных кранов НБК, и работы по извлечению ТСМ могут осуществляться с использованием других механизмов без привязки к работам в других зонах. Извлечение ТСМ из зоны 6 не относится к первоочередным задачам — ТСМ могут быть изъятые на заключительном этапе эксплуатации НБК.

В зоне 7 могут находиться только отдельные небольшие фрагменты ТСМ, их количество и характеристики нужно уточнить в процессе дополнительных обследований. Данная зона, как и зоны 5 и 6, расположена за пределами действия основных кранов НБК, и работы по извлечению ТСМ тоже могут осуществляться с использованием других механизмов без привязки к работам в других зонах. Однако желательно извлечь ТСМ из этой зоны на начальном этапе эксплуатации НБК, потому что надежность конструкций покрытия машинного зала со временем будет снижаться и, соответственно, увеличатся риски их обрушения. В случае обрушения конструкций покрытия машинного зала деятельность по извлечению ТСМ будет затруднена.

Таким образом, учитывая наибольшую радиационную и ядерную опасность скоплений ТСМ, находящихся в зонах 1—3, деятельность по их извлечению является приоритетной. В зонах 4—7 отсутствуют ядерно опасные скопления ТСМ, их влияние на состояние радиационной безопасности объекта «Укрытие» гораздо меньше по сравнению с влиянием ТСМ, расположенных в зонах 1—3. Деятельность по извлечению ТСМ из зон 5—7 может осуществляться в любой период эксплуатации НБК при условии, что такая деятельность не воспрепятствует изъятию ТСМ из зон 1—3. ТСМ из зоны 4 могут извлекаться в период ведения работ по снятию с эксплуатации НБК.

Транспортно-технологическая схема обращения с ТСМ после их изъятия из помещений объекта «Укрытие» должна базироваться на максимальном использовании инфраструктуры НБК. Анализ инфраструктуры НБК позволяет сделать следующие предварительные выводы:

система основных кранов и другие транспортные средства НБК (погрузчик, самоходные тележки) соответствуют требованиям к обеспечению работ на этапе извлечения ТСМ;

размеры площадки временного складирования соответствуют требованиям к обеспечению работ на этапе извлечения ТСМ (в части размещения необходимых технологических участков);

системы технологического здания для дезактивации, технического обслуживания и ремонта сменных рабочих инструментов соответствуют требованиям к обеспечению работ на этапе извлечения ТСМ.

Однако системы обращения с РАО, размещаемые в технологическом здании, а также системы НБК для дезактивации, технического обслуживания и ремонта не соответствуют требованиям к обеспечению работ на этапе извлечения ТСМ. Поэтому при подготовке к этапу извлечения ТСМ в пространстве под НБК необходимо строительство горячей камеры с участком дезактивации и всеми другими системами жизнеобеспечения.

Извлеченные из объекта «Укрытие» ТСМ по классификации НРБУ-97/Д-2000 [15] являются долгоживущими отходами и подлежат захоронению только в хранилищах, расположенных в стабильных геологических формациях. Поскольку таких хранилищ в Украине не существует и их создание возможно только в очень отдаленной перспективе, нужно принять решение о временном долгосрочном хранении ТСМ, т. е. об организации промежуточного хранилища ТСМ. Зарубежный и отечественный опыт свидетельствует, что для долгосрочного контейнерного хранения ОЯТ могут использоваться открытые площадки, оборудованные системами физической защиты и другими системами, которые позволяют безопасное хранение в специальных контейнерах. Такая схема долгосрочного хранения вполне пригодна и для ТСМ, изъятых из объекта «Укрытие». В качестве площадки для подобного хранилища ТСМ предлагается использовать существующую бетонную монтажную платформу для сборки металлоконструкций НБК, расположенную на расстоянии около 300 м от объекта «Укрытие». По окончании сборки металлоконструкций и достройки НБК бетонная платформа будет иметь действующую осветительную сеть, систему отвода ливневых вод с бассейнами-отстойниками, ограждения, а также действующую инфраструктуру физической защиты и контроля доступа. Существующую ограждающую систему можно дополнительно модернизировать в соответствии со специфическими требованиями охраны такого типа хранилищ. Согласно генеральному плану НБК, основная автодорога, ведущая к НБК, расположена на одной оси с южным воздушным шлюзом технологического здания, через который и будут транспортироваться контейнеры с ТСМ за пределы НБК. Для проезда специального транспортера с защитным контейнером к площадке необходимо обустроить от существующей автодороги только проезд с твердым покрытием длиной около 20 м.

По оценкам [14], продолжительность периода извлечения ТСМ из объекта «Укрытие» составит примерно 50 лет при односменной работе и пятидневной рабочей неделе. С учетом наличия различных рисков, в том числе финансовых, работы по созданию инфраструктуры извлечения ТСМ должны начаться не позднее 2040 года. К этому времени необходимо закончить демонтаж нестабильных конструкций объекта «Укрытие» и вывоз их за пределы НБК.

Все мероприятия по преобразованию объекта «Укрытие» в экологически безопасную систему преследуют цель защиты персонала, населения и окружающей среды от опасности ядерных и радиоактивных материалов путем их извлечения, изоляции и захоронения. При этом предназначение НБК, как первого шага к началу преобразования объекта «Укрытие» в экологически безопасную систему, определено Законом Украины от 26.04.2001 «О внесении изменений в некоторые законы Украины в связи с закрытием Чернобыльской атомной электростанции» [16]. Закон предусматривает, что «конфайнмент — защитное сооружение, включающее в себя комплекс технологического оборудования для извлечения и разрушенного четвертого энергоблока Чернобыльской АЭС материалов, содержащих ядерное топливо, обращения с радиоактивными отходами, и другие системы, предназначенные для осуществления деятельности по преобразованию этого блока в экологически безопасную систему и обеспечения безопасности персонала, населения и окружающей среды».

Завершение строительства нового безопасного конфайнмента будет означать и укрепленные строительные

конструкции, и новые системы безопасности и мониторинга, а также инфраструктуру, которую можно будет использовать при проведении в дальнейшем работ по окончательному преобразованию объекта «Укрытие» в экологически безопасную систему.

Однако в последнее время начинает преобладать точка зрения, что, поскольку не существует необходимых технологий и технических средств по обращению с ядерными и высокоактивными радиоактивными материалами, расположенными в объекте «Укрытие», необходимо отложить их извлечение как минимум на 50 лет, а на это время превратить объект «Укрытие» в бетонный куб, т. е. реализовать вариант захоронения на месте. Такая позиция, как оправдание бездеятельности в этом направлении, скорее всего, приведет к тому, что таких технологий не будет и через 50 лет.

Напомним, что идея варианта захоронения на месте объекта «Укрытие» вовсе не нова. Еще в 1986 году, при обсуждении в Минсредмаше СССР вопроса, что же делать с разрушенным энергоблоком, министром Е. П. Славским высказывалось предложение забетонировать аварийный реактор и превратить энергоблок в бетонный куб. Против этого возразили ученые Института атомной энергии им. И. В. Курчатова во главе с академиком А. П. Александровым, объяснив свою позицию тем, что тепловыделение ядерного топлива приведет к разрушению бетонной конструкции. В 1991 году, когда остаточное тепловыделение ядерного топлива значительно уменьшилось, на заседании научно-технического совета Минатомэнергопрома СССР было принято предложение использовать для длительной консервации объекта «Укрытие» вариант его омоноличивания. Не все члены совета поддержали это решение. Специалисты и ученые В. Г. Барьяхтар, Г. А. Готовиц, А. А. Боровой и другие, знаящие объект «Укрытие» не по бумагам, категорически возражали против такого подхода, аргументируя тем, что при бетонировании огромные массы бетонной смеси придут в соприкосновение с топливосодержащими и радиоактивными материалами и, перемешавшись с ними, во много раз увеличат количество РАО. Таким образом, принятие варианта омоноличивания будет прямым отступлением от основополагающих принципов безопасности, сформулированных в рекомендациях МАГАТЭ [17].

Несмотря на кажущиеся преимущества варианта омоноличивания, заполнение бетоном помещений объекта «Укрытие» потребует проведения значительных подготовительных работ внутри самого объекта. Заполнение бетоном бетонной смесью вызовет образование объемных воздушных пузырей, которые могут привести к обрушению строительных конструкций перекрытий, сопровождающемуся выбросом и перемещением радиоактивных материалов. Во избежание этого, скорее всего, пришлось бы бурить скважины в помещениях и уже с надежным контролем заливать полости. Кроме того, имеются и пессимистические предсказания по устойчивости фундамента энергоблока при значительном увеличении нагрузки на него.

Еще одним поводом для отказа от извлечения ядерных материалов является отсутствие в Украине хранилища в стабильных геологических формациях, предназначенного для захоронения долгосуществующих отходов. Тем не менее, отсутствие такого хранилища не должно сдерживать работы по преобразованию объекта «Укрытие» в экологически безопасную систему. Ведь можно пойти по пути варианта отложенного решения (как это и делается

в мировой практике с отработавшим ядерным топливом), создав временные приповерхностные хранилища.

Следует учесть, что после демонтажа нестабильных строительных конструкций объекта «Укрытие» (а демонтаж должен быть выполнен сразу же после создания конфайнмента) единственным барьером, препятствующим распространению радиоактивных веществ в окружающую среду, станет НБК. Поэтому разработка технологии извлечения и контейнеризации ТСМ с целью создания дополнительного барьера для фактически открыто лежащих ядерно опасных материалов должна стать приоритетным направлением в преобразовании объекта «Укрытие» после надвижки НБК.

По мнению многих специалистов, после ввода в эксплуатацию НБК возникнет ряд новых научных проблем, связанных как с текущей безопасностью объекта, так и с безопасностью планируемых работ по демонтажу его нестабильных конструкций, а также с последующим извлечением ТСМ и обращением с ними.

После надвижки НБК в проектное положение прогнозируется ухудшение радиационной обстановки в ряде его помещений. Повышение радиоактивного загрязнения воздуха в помещениях объекта будет происходить в результате высыхания загрязненных поверхностей конструкций и различных скоплений материалов, включая скопления ТСМ. Во многих случаях такие поверхности и скопления окажутся недоступными для штатной системы пылеподавления, из-за чего потребуются новые нестандартные решения по минимизации негативного влияния такого фактора. Повышение мощности дозы будет обусловлено рассеиванием гамма-излучения на конструкциях НБК. По мере демонтажа нестабильных конструкций, выполняющих экранирующие функции, мощность дозы внутри НБК возрастет. Поэтому одна из задач научного сопровождения деятельности по демонтажу нестабильных конструкций — прогнозирование изменения радиационной обстановки в процессе демонтажа, разработка и обоснование комплекса защитных мероприятий, обоснование последовательности демонтажа, экранирование, внедрение дистанционных технологий и др.

Перечень научных задач по реализации ключевого этапа преобразования объекта «Укрытие» (извлечения ТСМ и безопасного обращения с ними) достаточно обширен. Чтобы обеспечить эффективное и безопасное выполнение работ на всех этапах обращения с ТСМ объекта «Укрытие», необходим комплекс научно-технических исследований и разработок, в частности:

- углубленное изучение физико-химических свойств ТСМ с целью прогнозирования процесса их деградации и количественной оценки параметров пылеобразования;
- разработка методов характеризации и первичной сортировки ТСМ и других РАО в процессе их извлечения;
- совершенствование методов паспортизации ТСМ, в том числе прямых методов измерения содержания в них ядерных материалов;
- разработка современных методов кондиционирования ТСМ для длительного хранения с учетом их будущего захоронения;
- разработка эффективных методов дезактивации загрязненных строительных конструкций и оборудования;
- разработка критериев приема ТСМ на захоронение в стабильных геологических формациях с учетом необходимости их предварительного длительного хранения;
- исследования и разработки по созданию хранилища ТСМ в стабильных геологических формациях.

Остается не до конца решенной и проблема ядерной безопасности некоторых скоплений ядерных материалов объекта «Укрытие», по которой от недостатка имеющихся в распоряжении ученых знаний об этих скоплениях есть много недосказанностей, различных мнений и критики. Чтобы полностью закрыть вопрос ядерной безопасности, необходимо выполнить дополнительные исследования, результаты которых могут лечь в основу обоснования ядерной безопасности этих скоплений и убедить общество в невозможности возникновения ядерной аварии. В 2016 году в Институте проблем безопасности АЭС состоялись научные семинары, в ходе которых особое место заняли вопросы определения критичности ТСМ и прогнозных оценок возможного изменения параметров критичности после надвижки НБК в проектное положение. При обсуждении этих тем акцентировалось внимание на необходимости постоянного контроля нейтронных потоков в местах основных скоплений ТСМ, а также рассмотрены различные сценарии изменения температурно-влажностного состояния ТСМ, которые существенно влияют на их размножающие свойства. Отсутствие достоверной научной информации о материальном составе некоторых скоплений ТСМ дает основание сомневаться в их ядерной безопасности и требует проведения дополнительных исследований. Ученые рекомендовали эксплуатирующей организации обеспечить непрерывный мониторинг мест скопления ТСМ, организовать проведение дополнительных исследований, внедрить систему активного перевода скоплений ТСМ в контролируемое подкритическое состояние. Чтобы гарантировать надежность контроля интенсивности реакции вынужденного деления и степени подкритичности, предложено использовать альтернативные методы контроля активности воды и воздуха по реперным радионуклидам вблизи мест скопления ТСМ. Решение перечисленных задач позволит обеспечить надежный мониторинг состояния ТСМ после надвижки НБК в проектное положение и подтвердить ядерную безопасность.

Таким образом, в настоящее время можно выделить следующие основные научные проблемы по объекту «Укрытие», которые требуют решения и постоянного внимания после надвижки НБК:

- мониторинг уровня ядерной и радиационной безопасности;
 - контроль и прогноз состояния ТСМ;
 - обращение с ядерными материалами и РАО;
 - разработка технологий извлечения ядерных материалов.
- И каждая из перечисленных научных проблем влечет за собой громадное число исследований, экспериментов, построения аналитических моделей и расчетов.

Выводы

Завершение работ по созданию НБК является сегодня главной задачей обеспечения безопасности объекта «Укрытие», что позволит существенно снизить риск возможного радиоактивного загрязнения территории в результате обрушения нестабильных строительных конструкций объекта. Но это не конечный, а лишь начальный этап преобразованием объекта «Укрытие» в экологически безопасную систему.

С учетом уже имеющихся и полученных новых знаний необходимо разработать программу преобразования объекта «Укрытие» с указанием ключевых дат и затрат на ее

выполнение для достижения конечной цели преобразования — извлечения и захоронения ТСМ и других РАО. Эта программа должна быть четко детализирована по последовательности выполнения всех работ с разработкой их графиков.

Требуется извлечь ядерные материалы из объекта, упаковать их в контейнеры и разместить контейнеры в специально созданном хранилище, соответствующем международным стандартам по безопасности. Именно на этих работах должны быть сосредоточены усилия Украины и международного сообщества. Время, когда первый контейнер с ядерными материалами будет удален с территории объекта «Укрытие», станет реальной точкой отсчета по его действительному преобразованию в экологически безопасную систему.

Некоторые скептики могут возразить против такого подхода, аргументируя тем, что место захоронения высокоактивных отходов в геологических формациях Украины так до настоящего времени и не определено. Да, это так, но ведь Украина собирается принимать высокоактивные отходы от переработки ядерного топлива отечественных реакторов, возвращаемых из России. И собирается строить для этого временное приповерхностное хранилище. Вот как раз в таком хранилище должно быть предусмотрено место и для размещения высокоактивных отходов объекта «Укрытие». А после надвижки НБК в проектное положение останется бетонная монтажная площадка, которую можно легко перепроектировать и лицензировать под место временного хранения контейнеров с высокоактивными отходами.

Список использованной литературы

1. Баряхтар В. Е. Чернобыльская катастрофа / В. Е. Баряхтар. — К. : Наук. думка, 1995. — 568 с.
2. Багрянский В. М. Захоронение 4-го энергоблока Чернобыльской АЭС / В. М. Багрянский, В. А. Курносков, И. К. Моисеев // Атомная энергия. — 1988. — Т. 64, № 4. — С. 248.
3. Объект «Укрытие». История, состояние и перспективы : Монография / В. Н. Герасько, А. А. Ключников, В. И. Купный, А. В. Носовский, В. Н. Щербин; под ред. А. А. Ключникова. — К. : Интерграфик, 1997. — 224 с.
4. Об'єкт «Укриття»: 30 років після аварії : Монографія / В. О. Краснов, А. В. Носовський, В. М. Рудько, В. М. Щербін; НАН України, Ін-т проблем безпеки АЕС. — Чорнобиль, 2016. — 512 с.
5. Решение НТС Минатомэнергопрома СССР от 15.03.1991 : Принципиальные подходы к вопросу преобразования объекта «Укрытие» в долговременную, неизменяемую экологически безопасную систему.
6. Описание объекта «Укрытие» и требования к его преобразованию. — К. : Наук. думка, 1992. — С. 48.
7. Носовский А. В. Опыт обеспечения безопасности работ по консервации четвертого энергоблока Чернобыльской АЭС: к двадцатилетию окончания строительства объекта «Укрытие» / А. В. Носовский // Ядерная и радиационная безопасность. — К., 2006. — Т. 9, вып. 3. — С. 5—11.
8. Закон України «Про загальні засади подальшої експлуатації і зняття з експлуатації Чорнобильської АЕС та перетворення зруйнованого четвертого енергоблока цієї АЕС на екологічно безпечну систему» / Відомості Верховної Ради (ВВР). — 1999. — № 4, ст. 33.
9. Закон Украины от 15.01.2009 № 886-VI «Об Общегосударственной программе снятия с эксплуатации Чернобыльской АЭС и преобразования объекта «Укрытие» в экологически безопасную систему». [Электронный ресурс]. — Режим доступа : http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/T090886.html

10. Стратегия преобразования объекта «Укрытие». — Согласовано решением Межведомственной Комиссии по вопросам комплексного решения проблем Чернобыльской АЭС, протокол № 2 от 12.03.2001. [Электронный ресурс]. — Режим доступа : fireprevention2009.io.ua/.../preobrazovanie_obekta_ukrytie...

11. Стратегия извлечения ТСМ и обращения с РАО. П7 / НАЭК «Энергоатом». — К., 2000.

12. Решение по прототипу извлечения ТСМ. П9 / НАЭК «Энергоатом». — К., 2001.

13. *SIP-P-DI-19-120-STG-083-02*. Стратегия обращения с ТСМ и радиоактивными отходами объекта «Укрытие». План дальнейших действий. — 2005.

14. Розробка науково-технічних засад та обґрунтування принципів технологічних рішень щодо вилучення ПВМ із об'єкта «Укриття» з використанням майбутнього безпечного конфайнмента та створення відповідної інфраструктури для подальшого поводження з ними: Звіт з НДР, заключний / ІПБ АЕС НАН України. — Арх. № 4018. — Чорнобиль, 2015. — 443 с.

15. *НРБУ-97/Д-2000*. Норми радіаційної безпеки України. Доповнення: Радіаційний захист від джерел потенційного опромінення. [Электронный ресурс]. — Режим доступа : http://www.uazakon.com/documents/date_ck/pg_gbnooc/index.htm

16. Закон України «Про внесення змін до деяких законів України у зв'язку із закриттям Чорнобильської атомної електростанції» (із змінами і доповненнями, внесеними Законом України від 05.07.2012 р. № 5067-VI // Відомості Верховної Ради України (ВВР). — 2001. — № 27, ст.133.

17. *Боровой А. А.* Опыт Чернобыля (работы на объекте «Укрытие»). — Ч. 4. / А. А. Боровой, Е. П. Велихов. — М. : НИЦ «Курчатовский институт», 2015. — 138 с.

References

1. *Bariakhtar, V.G.* (1995), “Chornobyl Accident” [Chernobylskaia katastrofa], Kyiv, Naukova Dumka, 568 p. (Rus)

2. *Bahrianskii, V.M., Kurnosov, V.A., Moiseev, I.K.* (1988), “Disposal of Chornobyl NPP Unit 4” [Zakhoroneniie 4-go energobloka Chernobylskoi AES], Nuclear Energy, V. 64, No. 4, P. 248 (Rus)

3. *Gerasko, V.N., Kliuchnikov, A.A., Kupnyi, V.I., Nosovsky, A.V., Shcherbin, V.N.* (1997), “Shelter. History, State and Prospects: Monography” [Obiekt “Ukrytie”. Istoriia, sostoiianiie i perspektivy: Monografiia], Kyiv, Intergrafik, 224 p. (Rus)

4. *Krasnov, V.O., Nosovsky, A.V., Rudko, V.M., Shcherbin, V.M.* (2016), “Shelter: 30 Years after the Accident: Monography” [Obiekt “Ukrytie”: 30 rokiv pislia avarii: Monografiia], National Academy of Sciences of Ukraine, Institute for Safety Problems of NPP, Chornobyl, 512 p. (Ukr)

5. “Decision of the Scientific and Technical Council of the Ministry of Nuclear Energy and Industry of the USSR dated 15 March 1991: Principal Approaches to the Shelter Transformation into Long-Term Unchangeable Environmental Safe System” [Resheniie NTS Minatomenergopoma SSSR ot 15.03.1991: Printsipialnyie podkhody k voprosu preobrazovaniia obiekta “Ukrytie” v dolgoremennuiu, neizmeniaemuiu ekologicheski bezopasnuiu sistemu]. (Rus)

6. “Description of the Shelter and Requirements for its Transformation” [Opisaniie obiekta “Ukrytie” i trebovaniia k iego preobrazovaniuu], Kyiv, Naukova Dumka, 1992, P. 48. (Rus)

7. *Nosovsky, A.V.* (2006), “Experience of Ensuring Safe Activities on Temporary Shutdown of ChNPP-4: for 20th Anniversary of Shelter Completion” [Opyt obespecheniia bezopasnosti rabot po konservatsii chetvortogo energobloka Chernobylskoi AES: k dvadtsatiletiiu okonchaniia stroitelstva obiekta “Ukrytie”], Nuclear and Radiation Safety, Kyiv, V. 9, No. 3, pp. 5-11. (Rus)

8. Law of Ukraine “On General Principles of Further Operation and Decommissioning of Chornobyl NPP and Transformation of Destroyed Unit 4 into the Environmentally Safe System” [Zakon Ukrainy “Pro zahalni zasady podalshoi ekspluatatsii i zniattia z ekspluatatsii Chornobylskoi AES ta peretvorennia zruinovanohto chetvertoho enerhobloka tsiiei AES na ekolohichno bezpechnu systemu], Bulletin of the Verkhovna Rada of Ukraine, 1999, No. 4, 33 p. (Ukr)

9. Law of Ukraine No. 886-VI dated 15 January 2009 “On National Program of Chornobyl NPP Decommissioning and Shelter Transformation into the Environmentally Safe System [Zakon Ukrainy ot 15.01.2009 No. 886-VI “Ob Obschegosudarstvennoi programme sniatiia s ekspluatatsii Chernobylskoi AES i preobrazovaniia obiekta “Ukrytie” v ekologicheski bezopasnuiu sistemu], available at: http://search.ligazakon.ua/1_doc2.nsf/link1/T090886.html (Rus)

10. “Strategy of Shelter Transformation” [Strategiia preobrazovaniia obiekta “Ukrytie”], approved by Decision of the Interdepartmental Commission on Comprehensive Solution of Chornobyl NPP Problems, Minutes No. 2 dated 12 March 2001, available at: fireprevention2009.io.ua/.../preobrazovanie_obekta_ukrytie... (Rus)

11. “Strategy of Fuel Containing Material Retrieval and Radioactive Waste Management. P7” [Strategiia izvlecheniia TSM i obrashcheniia s RAO. P7], Energoatom Company, Kyiv, 2000. (Rus)

12. “Decision on Fuel Containing Material Retrieval Prototype. P9” [Resheniie po prototipu izvlecheniia TSM. P9], Energoatom Company, Kyiv, 2001. (Rus)

13. *SIP-P-DI-19-120-STG-083-02*. Strategy for Management of Fuel Containing Materials and Radioactive Waste of the Shelter. Action Plan [Strategiia obrashcheniia s TSM i radioaktivnymi otkhodami obiekta “Ukrytie”. Plan dalneishykh deistvii], 2005. (Rus)

14. “Development of Scientific and Technical Framework and Justification of Principal Process Decisions on the Retrieval of Fuel Containing Materials from the Shelter Using Future Safe Confinement and Creation of Relevant Infrastructure for their Further Management”, R&D Report, Final [Rozrobka naukovo-tekhnichnykh zasad ta obhruntuvannia pryntsyprovnykh tekhnolohichnykh rishen shchodo vyluchennia PVM iz obiekta “Ukrytie” z vykorystanniam maibutnioho bezpechnoho konfaimenta ta stvorennia vidpovidnoi infrastruktury dlia podalshoho povodzhennia z nymy: Zvit z NDR, zakliuchnyi], Institute for Safety Problems of NPPs, NAS of Ukraine, Archive No. 4018, Chornobyl, 2015, 443 p. (Ukr)

15. *NRBU-97/D-2000*. Radiation Safety Standards of Ukraine. Extended: Radiation Protection against Potential Radiation Sources [NRBU-97/D-2000. Normy radiatsiinoi bezpeky Ukrainy. Dopovneniia: Radiatsiinyi zakhyst vid dzherel potentsiinoho oprominennia], available at: http://www.uazakon.com/documents/date_ck/pg_gbnooc/index.htm (Ukr)

16. Law of Ukraine “On Amendment of Some Ukrainian Laws due to the Closure of Chornobyl Nuclear Power Plant” (with Amendments and Additions Implemented by Law of Ukraine No. 5067-VI dated 05 July 2012) [Zakon Ukrainy “Pro vnesennia zmin do deiakykh zakoniv Ukrainy u zviazku iz zakryttiam Chornobylskoi atomnoi elektrostantsii” (iz zminamy i dopovnenniamy, vnesenyme Zakonom Ukrainy vid 05 July 2012 No. 5067-VI)], Bulletin of the Verkhovna Rada of Ukraine, 2001, No. 27, P. 133. (Ukr)

17. *Borovoi, A.A., Velikhov, Ye.* (2015), “Chornobyl Experience (Activities on the Shelter)” [Opyt Chernobylia (raboty na obiekte “Ukrytie”)], Part 4, Moscow, Kurchatov Institute, 138 p. (Rus)

Получено 23.09.2016.