

В. Г. Батий, В. Н. Щербин, А. В. Щупленникова

Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины, ул. Кирова, 36а, Чернобыль, 07270, Украина

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНЫХ ПУТЕЙ ОБРАЩЕНИЯ С ТОПЛИВОСОДЕРЖАЩИМИ МАТЕРИАЛАМИ ПОСЛЕ ЗАВЕРШЕНИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА НОВОГО БЕЗОПАСНОГО КОНФАЙНМЕНТА

Проведен анализ проблемы дальнейшего обращения с топливосодержащими материалами с точки зрения требований нормативных документов, критериев ядерной и радиационной безопасности, возможности окончательного преобразования объекта "Укрытие" ЧАЭС в экологически безопасную систему в долгосрочной перспективе. Выделены характерные зоны извлечения топливосодержащих материалов, проведен их анализ с точки зрения безопасности, воздействия на персонал и окружающую среду, возможности извлечения при помощи системы основных кранов нового безопасного конфайнмента.

Ключевые слова: топливосодержащие материалы, обращение с радиоактивными отходами, новый безопасный конфайнмент, объект "Укрытие".

Введение

Стратегия преобразования объекта "Укрытие" [1] предусматривает три основных этапа преобразования объекта "Укрытие" ЧАЭС в экологически безопасную систему: стабилизация строительных конструкций объекта "Укрытие", строительство нового безопасного конфайнмента (НБК) над существующим объектом "Укрытие" и извлечение топливосодержащих материалов (ТСМ). Деятельность по преобразованию объекта "Укрытие" осуществляется в соответствии с принятым в 1997 г. Планом осуществления мероприятий (ПОМ).

Первый этап (стабилизация) успешно завершен. Второй этап состоит из двух пусковых комплексов – ПК-1 и ПК-2. ПК-1 предполагает собственно строительство НБК. ПК-1 сейчас реализуется и должен быть закончен к 2017 г. Рабочее проектирование ПК-2 начнется в ближайшее время. Реализовываться он будет сразу после завершения ПК-1.

В ходе практической реализации вопросы, связанные с разработкой стратегии и технологий извлечения ТСМ из объекта "Укрытие" и проведение модельного полномасштабного эксперимента по извлечению ТСМ, как было предусмотрено первоначальным вариантом ПОМ, были исключены из рассмотрения.

В объекте "Укрытие" находятся десятки тысяч тонн одних только высокоактивных отходов (ВАО). При этом наибольшую опасность представляют ТСМ. Точное количество ТСМ не известно. Оценки выполнены с большой погрешностью. Так, количество топлива на верхних отметках (выше +24.000) находится, по разным оценкам, в диапазоне 20 - 110 т. Ко многим скоплениям ТСМ доступ отсутствует.

Таким образом, необходимо решить проблему дальнейшего обращения с ТСМ – извлечение, консервация, использование НБК в качестве хранилища без всякого воздействия на ТСМ.

Различные аспекты проблемы извлечения ТСМ из объекта "Укрытие" рассматривались в работах [1 - 5] и др. В настоящее время проблема дальнейшего обращения с ТСМ становится все более актуальной в связи с приближением окончания строительства НБК и завершением международной программы ПОМ.

Целью настоящей работы является анализ проблемы дальнейшего обращения с ТСМ с точки зрения требований нормативных документов, критериев ядерной и радиационной безопасности, возможности окончательного преобразования объекта "Укрытие" в экологически безопасную систему в долгосрочной перспективе.

Анализ требований законов и нормативных документов

В соответствии с [7] основными принципами государственной политики Украины в сфере обращения с радиоактивными отходами (РАО) являются, в частности, недопущение неконтролируемого накопления РАО, обеспечение надежной изоляции РАО от окружающей среды при обосновании безопасности хранилищ РАО, хранение РАО у производителей отходов, ограниченное время с последующей передачей специализированным предприятиям по обращению с РАО, активная научно-исследовательская деятельность в сфере обращения с РАО. Таким образом, наличие в объекте

© В. Г. Батий, В. Н. Щербин, А. В. Щупленникова, 2014

"Укрытие" большого количества неконтролируемых РАО с не до конца изученными характеристиками противоречат указанным основными принципами государственной политики Украины в сфере обращения с РАО. Кроме того, при этом не выполняются требования нормативных документов: [8] об учете и контроле РАО и [9] о государственной инвентаризации РАО.

Объект "Укрытие" не является объектом, созданным в соответствии с нормами проектирования и строительства ядерных установок или объектов по обращению с РАО. В настоящее время, в существующем виде, объект "Укрытие" признан ядерно-опасным объектом и временным хранилищем неорганизованных РАО [10, 11], а главным источником его ядерной и радиационной опасности являются ТСМ, образовавшиеся в процессе аварии. При этом, как указано в [12], часть РАО хранится в условиях, которые не полностью соответствуют нормам, правилам и стандартам радиационной безопасности.

Поэтому в соответствии со ст. 6 [13] одной из целей по преобразованию объекта "Укрытие" в экологически безопасную систему является извлечение из него материалов, содержащих ядерное топливо, и РАО. При этом до извлечения материалов, содержащих ядерное топливо, и РАО из объекта "Укрытие" необходимо обеспечить их перевод в контролируемое состояние. Работы по преобразованию объекта "Укрытие" в экологически безопасную систему должны выполняться в соответствии с общегосударственной программой [10], в которой указано, что преобразование объекта "Укрытие" в экологически безопасную систему предусматривает извлечение из объекта "Укрытие" ТСМ, высокоактивных и долгосуществующих РАО, перевод их в безопасное состояние, промежуточное контролируемое хранение и захоронение в глубинных хранилищах (стабильных геологических формациях) в случае, если до начала их извлечения (ориентировочно 30 - 50 лет) не будет предложено альтернативного пути обеспечения безопасности хранения материалов в объекте "Укрытие".

Длительное хранение ТСМ в объекте "Укрытие" не соответствует требованиям [14], в соответствии с которыми долгосуществующие и высокоактивные РАО подлежат долгосрочному хранению только в твердом состоянии, во взрыво-, пожаро- и ядернобезопасной форме. В сопроводительной документации на упаковку РАО должны содержаться следующие показатели: классификация РАО, радионуклидный состав, удельная активность, суммарная активность в упаковке, мощность дозы гамма-излучения на внешней поверхности контейнера, уровень нефиксированного поверхностного загрязнения контейнера.

Необходимость извлечения ТСМ

Помимо требований нормативных документов, необходимость извлечения ТСМ объекта "Укрытие" обусловлена как их потенциальной ядерной и радиационной опасностью, так и с комплексом технологических причин.

Ядерная опасность скоплений ТСМ. Объект "Укрытие" не изучен до конца, во многие помещения доступа нет и не исключено наличие ядерно-опасных скоплений ТСМ. Это следует, в частности, из заключения [15], что зарегистрированное в конце июня 1990 г. аномальное возрастание (более чем в 60 раз), удержание и спад плотности потока нейтронов в объекте "Укрытие" могло быть идентифицировано только как "холодный критический инцидент" [16]. В работах [17 - 19] и других развита и представлена модель такого события.

Так, в работе [19] показано, что в рамках представленных моделей обезвоживание и деградация окружающей среды могут привести к возвратной критичности и возникновению самоподдерживающейся цепной реакции с достаточно быстрой кинетикой. Строительство НБК приведет к обезвоживанию (будет исключено попадание естественных осадков, как в настоящее время), а длительное время его эксплуатации (100 лет и более) приведет к деградации ТСМ за счет роста радиационных дефектов.

Таким образом, если ТСМ будут оставаться внутри объекта "Укрытие" он будет представлять потенциальную ядерную опасность и никогда не сможет быть освобожден от ядерного регулирования и контроля.

Радиационная опасность скоплений ТСМ. Существует два основных фактора воздействия ТСМ на персонал и окружающую среду: гамма-излучение и возможность выбросов радиоактивных аэрозолей.

Значения мощности экспозиционной дозы (МЭД) в зонах производства работ персонала объекта "Укрытия" и НБК возрастут после надвигки арки НБК (за счет перераспределения излучения

из центрального зала – ЦЗ) и, намного больше, после демонтажа нестабильных конструкций, особенно трубного наката. В зонах обслуживания кранов МЭД возрастет до 100 - 200 мР/ч, в локальной зоне, вблизи западной торцевой стены – до 30 - 60 мР/ч [20]. Основной вклад в МЭД дает излучение скоплений ТСМ в ЦЗ. Если не удалить эти скопления, то персонал при эксплуатации НБК будет получать дозы в несколько раз выше, чем персонал объекта "Укрытие" в настоящее время.

Необходимость демонтажа нестабильных конструкций обусловлена тем, что в случае их обрушения подъем радиоактивной пыли приведет к повышенным дозам персонала, загрязнению конструкций НБК, увеличению количества РАО (за счет загрязнения обрушившихся конструкций), усложнению процесса извлечения ТСМ, изменению конфигурации существующих скоплений ТСМ с непредсказуемыми последствиями

В объекте "Укрытие" находится большое количество топливной пыли. По оценкам [21, 22] только на поверхности в подкровельном пространстве находится 4 - 5 т топливной пыли. При нормальной эксплуатации основная опасность наличия большого количества радиоактивной топливной пыли заключается в постепенном загрязнении строительных конструкций и оборудования. Результаты исследований [23] показали, что за 15 лет эксплуатации объекта "Укрытие" уровень снимаемых загрязнений на новых конструкциях достигал 10^4 и более бета-частиц $\text{см}^{-2}\cdot\text{мин}^{-1}$. Уровень полного загрязнения достигал $2\cdot 10^5$ и более бета-частиц $\text{см}^{-2}\cdot\text{мин}^{-1}$. Соответственно можно ожидать заметного загрязнения некоторых конструкций НБК (в зоне выброса) за 100 и более лет эксплуатации. Это приведет к дополнительным дозам персонала при обслуживании и образованию больших объемов РАО в будущем при снятии с эксплуатации НБК.

При максимальной проектной аварии (смерч класса F 3.0) возможен выброс заметного количества (более 1 кг) в окружающую среду и соответствующее загрязнение окружающей территории и повышенное облучение персонала.

Следует заметить, что потенциальная опасность ТСМ со временем может расти вследствие спонтанного разрушения поверхности лавообразных ТСМ (ЛТСМ) с образованием высокоактивной пыли. Данные визуальных наблюдений указывают на то, что происходит разрушение массивов ЛТСМ, их постоянная фрагментация, с постоянным уменьшением размеров фрагментов. Такая фрагментация приводит к значительному (на несколько порядков) увеличению реальной площади поверхности ЛТСМ [24].

Доказано, что в результате охрупчивания и эрозии с поверхностями ЛТСМ происходит самопроизвольное отделение мелкодисперсных частиц и их осаждение на окружающих поверхностях. Процесс имеет спонтанный характер. Скорость поверхностной ветровой эрозии коричневых ЛТСМ при продувке воздухом в лабораторных условиях в 2010 - 2011 гг. достигла $19 \text{ мкг}/(\text{см}^2\cdot\text{год})$, что на два порядка величины выше, чем аналогичное значение, полученное 20 лет назад. При этом носителями радионуклидов, в том числе и трансурановых элементов (ТУЭ), являются одни и те же частицы, сдуваемые с поверхности ЛТСМ. Как следствие этого, концентрации радиоактивных аэрозолей-носителей продуктов Чернобыльской аварии в помещениях, где присутствуют скопления ЛТСМ, значительно выше, чем в других обследованных помещениях объекта "Укрытие" [24]. При этом в значительной степени генерируется высокодисперсная (субмикронная) составляющая пыли. Удержание высокодисперсной пыли внутри НБК является сложной технической проблемой. Кроме того, в работе [25] было показано, что субмикронный аэрозоль, образованный в условиях повышенной радиации, способствует образованию азотной кислоты в атмосферном воздухе. Ее наличие может воздействовать как на персонал, так и на долговечность металлоконструкций НБК вследствие ускорения коррозии. После ввода в эксплуатацию НБК влажность скоплений ТСМ, особенно на нижних отметках, существенно уменьшится.

По результатам экспериментов и проведенной оценки [26] было установлено, что освобождение от воды капиллярной структуры ЛТСМ после их высыхания в условиях НБК приведет к существенной интенсификации процесса доокисления UO_2 в лаве и, как следствие, к значительному повышению скорости пылеобразования (несколько тонн пыли с альфа-активными радионуклидами) в год.

Согласно проведенным измерениям [27] альфа-активность пыли, скопившейся на участке поверхности ЛТСМ помещения 304/3 объекта "Укрытие", составляет $2,15 \text{ кБк на м}^2/\text{год}$. Это свидетельствует о ее приросте за год более чем на 3 %. Максимальная активность пыли соответствовала периоду непосредственно после высыхания конденсационной влаги на поверхности ЛТСМ. Вероятный источник пыли – фрагментарно диспергированные участки лавы с высокой концент-

рацией топлива. Рассчитанная толщина разрушенного за год слоя лавы составляет около 15 мкм. Скорость отрыва пыли от сухой поверхности ЛТСМ в 7,2 раза больше, чем от обводненной, которая уменьшала поступления кислорода к включенным в силикатную матрицу лавы частицам аварийного ядерного топлива.

В ходе проведенных исследований и расчетов в работе [28] также было показано, что зависимость увеличения скорости пылеобразования на поверхности скоплений ЛТСМ со временем связана с высыханием обводненных поверхностей ЛТСМ.

Наличие большой массы пыли, которая к тому же увеличивается, делает извлечение ТСМ без локализирующей оболочки в принципе невозможным и должно быть завершено на протяжении жизненного цикла НБК.

Технологические причины необходимости извлечения. В объекте "Укрытие" кроме ТСМ находится большое количество других РАО, в том числе 700 т высокоактивного графита, 170 тыс. т радиоактивного бетона (из них 23 тыс. т – ВАО) и др. [29]. Очевидно, что извлечь такое количество отходов быстро невозможно, тем более без кранов НБК. Кроме того, в объекте "Укрытие" есть массивные металлические конструкции (рис. 1), которые невозможно извлечь без кранов. В свою очередь, без их извлечения невозможно извлечь ТСМ.



Рис. 1. Центральный зал объекта "Укрытие".

Другая технологическая причина, по которой необходимо извлекать ТСМ – ограниченный срок эксплуатации НБК. Без извлечения ТСМ, по крайней мере, с верхних отметок, невозможно будет снять с эксплуатации НБК: строить над НБК новый конфайнмент для демонтажа НБК – нереалистично. Это подтверждает необходимость извлечения ТСМ и сопутствующих РАО в течение жизненного цикла НБК. Описанные выше проблемы указывают, что подготовка инфраструктуры и проведение самого извлечения займет десятки лет. Соответственно эту деятельность необходимо начинать непосредственно после демонтажа нестабильных конструкций.

Таким образом, создание безопасных технологий и инфраструктуры для извлечения ТСМ из объекта "Укрытие" и дальнейшего обращения с ними является необходимой предпосылкой решения проблемы преобразования этого объекта в экологически безопасную систему. В свою очередь проблема преобразования объекта "Укрытие" увязана с проблемой снятия с эксплуатации ЧАЭС. Нельзя снять с эксплуатации ЧАЭС, если все ядерное топливо, в том числе поврежденное, не будет помещено в специальные хранилища, и на площадке станции останутся радиационно-опасные объекты.

Зоны извлечения ТСМ

Для решения проблемы дальнейшего обращения с ТСМ перспективным является подход, рассматривающий технологическое пространство объекта "Укрытие" как систему существенно отличающихся друг от друга, но взаимосвязанных зон извлечения ТСМ. При этом для каждой зоны извлечения следует рассматривать свои, оптимизированные для ее условий, технологические подходы к извлечению ТСМ и обращению с сопутствующими РАО. Теоретически каждая зона извлечения ТСМ должна состоять из своих отдельных "горячей" и "промежуточной" зон, а также зоны "управления". Однако наиболее оптимальным представляется вариант зонирования, позволяющий использовать для различных зон извлечения ТСМ одни и те же зоны "управления", а где это возможно – и "промежуточные" зоны либо их части.

Исходя из данных о количестве и расположении ТСМ [29] можно выделить семь специфических зон их извлечения в будущем с использованием разных технологий:

- 1) ЦЗ, помещения выше отметки +24.000, включая южный бассейн выдержки (ЮБВ) (рис. 2);

- 2) шахта реактора, подапаратное помещение (305/2) и другие на отметках от +9.000 до +24.000 (см. рис. 2);
- 3) парораспределительный коридор (помещения 210/5+210/6+210/7) - ПРК, бассейн-барботер, 2-й этаж – ББ-2 (помещения 012/13+012/14+012/15+012/16), бассейн-барботер, 1-й этаж – ББ-1 (помещения 012/5+012/6+012/7+012/8) и коридор обслуживания на отметках от -0.650 до +8.000 (см. рис. 2);
- 4) локальная зона объекта "Укрытие" (рис. 3),
- 5) пространство за пионерными стенами (см. рис. 3);
- 6) завалы под каскадной стеной (см. рис. 2, 3),
- 7) часть машинного зала, относящаяся к объекту "Укрытие" (см. рис. 2, 3).

Подавляющая часть объемов ТСМ находится внутри остатков блока "Б" в зонах 1 - 3. Полная масса топлива, загруженного в активную зону, составляла 190,2 т. В настоящее время можно считать установленным, что внутри объекта "Укрытие" осталось более 95 % ядерного топлива от начальной загрузки реактора. Таким образом, в границах 4-го блока ЧАЭС находится около 180 т облученного ядерного топлива первоначальной загрузки реактора.

При помощи систем строящегося в настоящее время НБК можно извлечь ТСМ из первых трех зон, которые находятся в зоне действия системы основных кранов. В этих зонах находится основное количество ТСМ, представляющих наибольшую опасность. Вопрос извлечения из зон 4 - 6 будет решаться в будущем, после снятия НБК с эксплуатации. Извлечение из зоны 7 может производиться независимо от наличия НБК.

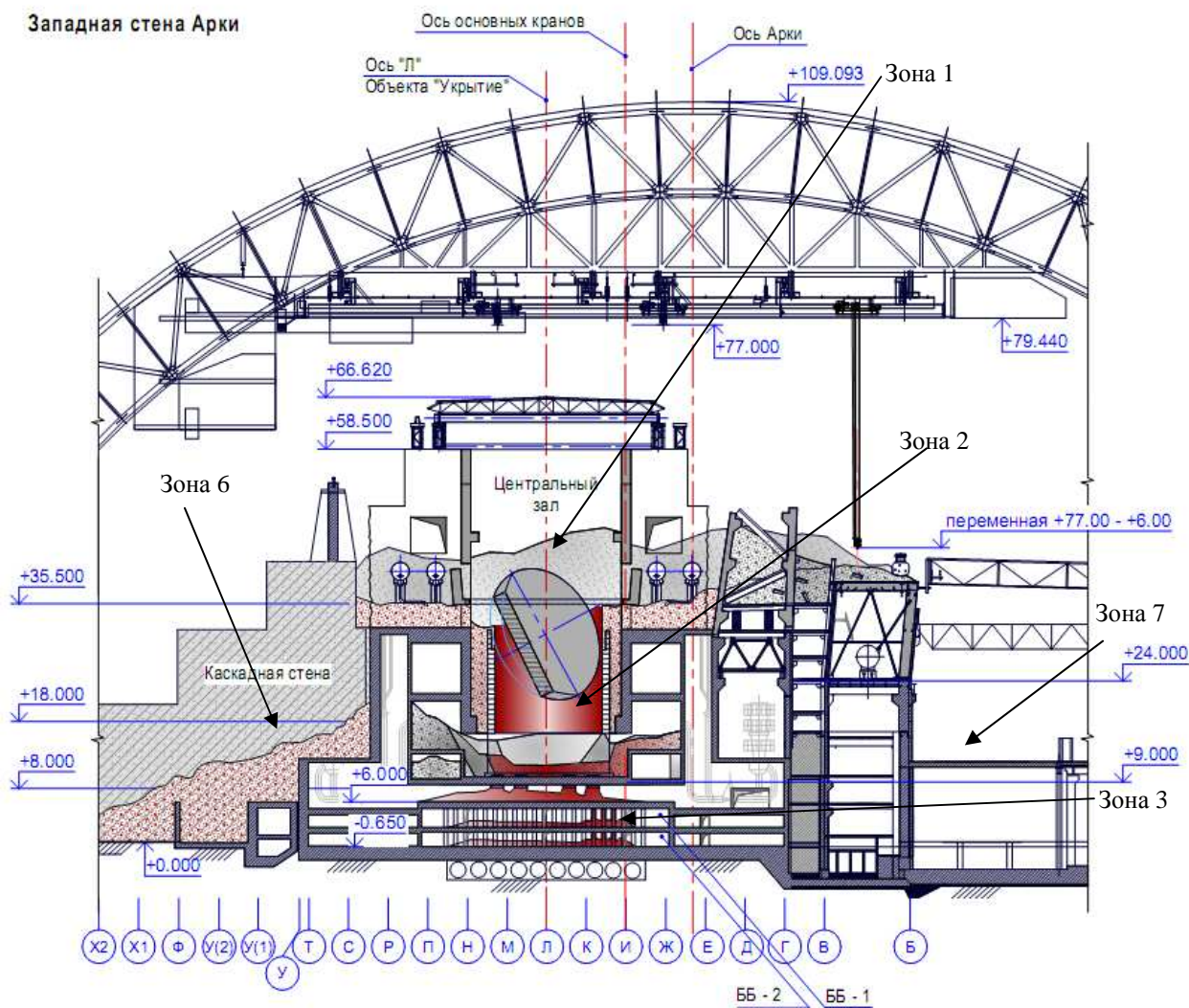


Рис. 2. Зоны извлечения ТСМ.



Рис. 3. Зоны извлечения ТСМ 4 - 7.

Анализ зоны извлечения 1

Извлечение ТСМ из зоны 1 (ЦЗ, помещения выше отметки 18, схема "Е") является первоочередной задачей, направленной на повышение уровня безопасности при эксплуатации НБК.

Необходимость неотложного извлечения ТСМ из зоны 1 обусловлена следующим.

1. ТСМ зоны 1 в основном формируют радиационную обстановку на кровлях объекта "Укрытие" и на прилегающей территории в настоящее время и будут ее формировать впоследствии внутри НБК. При этом необходимо учитывать, что после демонтажа трубного наката и легкой кровли МЭД в зонах обслуживания НБК увеличится в несколько раз [30].

2. Радиоактивная пыль в этой зоне (до 5 т по урану (U), [29]) будет основным источником загрязнения конструкций Арки и оборудования НБК как при нормальной эксплуатации, так и при возможных авариях. Этот эффект усилится, когда в результате демонтажа нестабильных конструкций будет раскрыта верхняя часть объекта "Укрытие", т.е. будет удален существующий барьер на пути выхода радиоактивных веществ в пространство НБК.

3. Самые опасные аварии, приводящие к выбросам в окружающую среду, связаны с наличием топливной пыли в зоне 1. Прежде всего, это авария в результате смерча класса 3, при которой может быть заметный выброс радиоактивных аэрозолей [30].

4. Извлечение ТСМ из этой зоны в принципе невозможно без использования систем НБК и должно быть завершено на протяжении жизненного цикла НБК.

5. Без извлечения ТСМ из зоны 1 невозможно демонтировать нестабильные строительные конструкции, поврежденные при аварии.

6. Без извлечения ТСМ из зоны 1 невозможно будет снять с эксплуатации НБК.

Альтернативным решением может быть отказ от удаления схемы "Е" в краткосрочной перспективе при условии, что удастся удалить с нее технологических каналов с остатками топлива.

Основные проблемы, которые необходимо учитывать при планировании извлечения ТСМ из зоны 1, следующие.

Сложная радиационная обстановка. МЭД достигает 1000 Р/ч в ЦЗ и до 2000 Р/ч на дне ЮБВ [29]. Вблизи половины металлических и железобетонных конструкций МЭД достигает 10 Р/ч [29]. Радиационная опасность в основном обуславливается фрагментами активной зоны (ФАЗ).

Наличие большого количества (до 30 т, в том числе в ЦЗ до 5 т) топливной пыли [29]. Этот фактор обуславливает необходимость разработки целого ряда мероприятий, чтобы не допустить превышения допустимых концентраций радионуклидов в подарочном пространстве, допустимых выбросов из НБК, допустимых уровней загрязнения его конструкций и используемого оборудования при производстве работ по извлечению ТСМ из этой зоны.

Наличие массивных конструкций, прежде всего перевернутой при аварии верхней крышки реактора (схемы "Е"), разгрузочно-загрузочной машины и др. Такие конструкции невозможно будет удалять целиком и необходимо предусмотреть применения специальных дистанционно управляемых механизмов для фрагментации.

Наличие больших завалов. Количество и характеристики ТСМ под ними не известны. Их разборка также потребует применения специальных технологий.

Наличие тысяч тонн "засыпки" различных материалов (доломит, песок, глина, свинец и пр., сброшенных в ЦЗ при ликвидации аварии в 1986 г.).

Наличие графита. ЦЗ является основным местом сосредоточения сохранившейся части графитовой кладки. Графит относится к ВАО, требующим специальной технологии переработки. Поэтому потребуется технология его сортировки и сбора отдельно от других отходов. Кроме того, в процессе аварии графитовые блоки получили высокое дополнительное поверхностное радиоактивное загрязнение долгоживущими продуктами деления и ТУЕ. Отличительной особенностью этого вида РАО является его высокая пылегенерирующая способность поверхности, что требует принятия специальных мер пылеподавления при обращении с ним.

Большие объемы ТСМ. По современным оценкам количество ТСМ в зоне 1 находится от 30 до 115 т (У), в том числе ЛТСМ (более 1 т (У)), 49 сборок с необлученным топливом (5,5 т (У)), 129 отработанных тепловыделяющих сборок (ОТВС) (14,8 т (У)) в ЮБВ, ФАЗ, до 30 т топливной пыли и пр. Из-за отсутствия воды в ЮБВ ОТВС хранятся в условиях, не соответствующих регламенту. Достоверная информация о состоянии этих ОТВС отсутствует. В ЦЗ находится более 21 т (У). Объем ТСМ и РАО, сильно загрязненных топливной пылью, в этой зоне составляет, по оценкам, 140 ± 20 тыс. м³.

Анализ зон извлечения 2 и 3

ТСМ зоны 2 (шахта реактора, подапаратное помещение (305/2) и другие на отметках от +9.000 до +18.000) оказывают существенно меньшее воздействие на персонал, конструкции "Арки" и окружающую среду, чем ТСМ зоны 1.

Существует ряд проблем, связанных с возможностью извлечения ТСМ при помощи систем НБК, а именно:

лава сплавлена с перекрытием пола и извлечение ТСМ потребует полного демонтажа перекрытий, на которых находятся ТСМ. Это в свою очередь потребует демонтажа всех строительных конструкций, находящихся над скоплениями ТСМ;

необходимость усиления конструкций для обеспечения безопасного процесса демонтажа. Применение ручного труда приведет к большим дозозатратам;

низкая производительность систем НБК, прежде всего скорость перемещения кранов;

основная масса ТСМ, расположенных на отметке +9.000 (здесь расположены основные скопления ЛТСМ) практически полностью залитые бетоном 1986 г.;

наличие потоков расплавленного металла;

в зоне находятся большие объемы ТСМ и их обязательная паспортизация для соблюдения баланса ядерных материалов займет много времени;

извлечение ТСМ из зоны 1 займет много времени и времени для полного извлечения ТСМ из зон 2 и 3 до снятия НБК с эксплуатации может не хватить. А существующие барьеры будут разрушены;

извлечение ТСМ из зон 2 и 3 не решит задачу преобразования объекта "Укрытие" в экологически безопасную систему: ТСМ находятся под каскадной стеной и в контейнерах за пионерными стенами, причем, приблизительно на тех же отметках. Их невозможно будет извлечь при помощи систем НБК. Удаление их будет производиться после снятия с эксплуатации НБК.

Возможный вариант отложенного извлечения ТСМ из зоны 3 (ББ-1, ББ-2, ПРК и помещения 217/2) может быть обусловлен следующими причинами:

строительные конструкции этих помещений имеют удовлетворительное состояние и эффективно выполняют функцию инженерных барьеров;

организация горизонтального доступа в эти помещения связана с необходимостью выполнения большого объема работ по разборке железобетонных конструкций стен;

не используется крановое оборудование НБК.

Технически одной из самых сложных задач будет удаление ТСМ из зон 2 и 3. Основные проблемы, которые необходимо учитывать при планировании извлечения ТСМ из этих зон, следующие.

Сложность доступа. Использование кранов НБК, которые будут находиться на верхних отметках (отметка +90.000) при работах на нижних отметках представляется сложной задачей. Для доступа "сверху" потребуются удаления толстых перекрытий и, кроме того, эти работы невозможно проводить до удаления ТСМ с верхних отметок, что существенно увеличит сроки решения задачи удаления ТСМ. Поэтому целесообразно рассмотрение горизонтального доступа. В этом случае проблема связана с тем, что потоки застывших ЛТСМ залили много помещений (самый длинный горизонтальный поток имеет протяженность до 50 м), во многих местах лава залита бетоном при строительстве объекта "Укрытие". Доступ во многие помещения, особенно в зоне 2, отсутствует. В ББ-1 и ББ-2 доступ затруднен наличием большого количества паросбросных труб, некоторые из них заполнены застывшими ЛТСМ.

Сложная радиационная обстановка. МЭД достигает 1000 Р/ч. Вместе с фактором сложности доступа это приводит к необходимости использования сложной и автономной дистанционно управляемой техники.

Сложная структура ТСМ и РАО – ФАЗ, ЛТСМ (коричневые, черные, полихромные), топливная пыль. Другие типы ТСМ, не поддающиеся точной классификации, например, "рыхлые ТСМ", "черные, твердые, хрупкие кусочки" с концентрацией урана до 50 %, остывший расплавленный металл и пр. Кроме того, бетонные перекрытия в отдельных местах проплавлены, в других – радиоактивные материалы диффундировали в бетон на большую глубину. Это создаст дополнительные трудности при фрагментации и удалении таких РАО.

Понижение прочности строительных конструкций. Прочность перекрытий существенно уменьшилась из-за воздействия высоких температур при аварии. Это создаст сложности при проектировании участков загрузки в контейнеры, складирования контейнеров, размещения тяжелой техники, создания экранирования, при необходимости, и пр.

Большие объемы ТСМ. В зоне 2 количество топлива, по оценкам, составляет примерно 90 ± 30 т (U), в зоне 3 – 22 ± 8 т (U). Объем ТСМ будет составлять несколько тыс. м³ и в значительной степени будет зависеть от эффективности систем фрагментации и сортировки.

Однако если последующие исследования подтвердят ускоренную деградацию ЛТСМ и образование пыли, то удалять ТСМ из зон 2 и 3 надо будет параллельно с удалением из зоны 1.

Исходя из вышеизложенного, для этих зон необходимо рассмотреть как вариант удаления ТСМ в краткосрочной перспективе (используя различные альтернативные пути доступа), так и возможность их консервации до 300 лет. В последнем случае необходимо предотвратить воздействие этих скоплений ТСМ на персонал и окружающую среду и обеспечить надежный контроль их состояния.

Анализ зон извлечения 4, 5 и 6

Извлечение ТСМ из зон 4 - 6 при помощи систем НБК невозможно, так как они находятся вне зоны действия кранов НБК. Еще одной особенностью этих зон является то, что в них практически нет доступа к ТСМ и достоверных данных о количестве ТСМ (есть только очень приблизительные оценки).

При извлечении ТСМ из техногенного слоя локальной зоны (зона 4) проблемой будет необходимость организации сортировки больших объемов (сотни тыс. м³) грунта и бетона для извлечения хаотически расположенных ФАЗ, их масса, по оценкам, составляет $0,75 \pm 0,25$ т. При этом работы можно будет проводить на этапе снятия с эксплуатации НБК, после демонтажа "Арки" и технологического корпуса по обращению с РАО, который планируется построить в локальной зоне.

Проблемой при извлечении ТСМ, помещенных в контейнеры, из пространства за пионерными стенами (зона 5) и каскадной стены, где скопление ТСМ залито бетоном (зона 6), является необходимость фрагментации больших объемов бетона и организации эффективной и высокопроизводительной системы сортировки, чтобы добиться минимизации образуемых ВАО и долгосуществующих РАО. При удалении ТСМ из зон 5 и 6 в максимальной степени будет необходимо учитывать опыт разборки бермы пионерной стены (см. рис. 3). Работы по извлечению можно будет проводить тоже только на этапе снятия с эксплуатации НБК, так как в эти зоны доступ будет затруднен, а при проведении работ нельзя исключить возможности повреждения "Арки". По имеющимся данным за

пионерными стенами в зоне машинного зала 4-го блока (зона 5) захоронено около 1700 контейнеров с ВАО (объемом 1 м³ каждый). По приблизительным оценкам под каскадной стеной может находиться от 0,7 до 1,2 т топлива.

Анализ зоны извлечения 7

При извлечении ТСМ из машинного зала (зона 7) основной проблемой будет необходимость применения маневренных и небольших по размеру дистанционно управляемых механизмов, пригодных для проведения работ внутри помещений. Нет данных о наличии больших скоплений ТСМ. В машинном зале могут находиться отдельные ФАЗ. Необходимо будет провести дополнительное обследование для уточнения их наличия и характеристик. Возможно, они будут удалены вручную в соответствии с правилами обращения с ВАО на ЧАЭС и помещены на хранение в хранилище ВАО на ЧАЭС.

Необходимость такой деятельности обусловлена тем, что в условиях отсутствия обслуживания машинного зала фермы перекрытия на протяжении 100 лет могут потерять свои механические характеристики и обрушиться вместе с перекрытием. В этом случае извлечение ТСМ приведет к увеличению затрат и доз персонала.

Заключение

1. После завершения строительства НБК и демонтажа нестабильных строительных конструкций объекта "Укрытие" необходимо будет начинать работы по подготовке к обращению с ТСМ.

2. Показано, что с точки зрения требований законодательных и нормативных документов необходимо извлечь ТСМ из объекта "Укрытие", кондиционировать и обеспечить долговременное контролируемое хранение до создания хранилища в стабильных геологических формациях. Извлечение должно начаться примерно в 2040 - 2060 гг.

3. Извлечение самых опасных скоплений ТСМ необходимо также для повышения уровня ядерной и радиационной безопасности. Основным фактором опасности является наличие большого количества пыли. Вследствие деградации ЛТСМ количество пыли возрастает. Особую опасность представляет мелкодисперсная составляющая. После ввода в эксплуатацию НБК влажность, особенно на нижних отметках уменьшится, что приведет к увеличению интенсивности пылеобразования.

4. Извлечение скопления ТСМ и сопутствующих РАО с верхних отметок невозможно без использования системы основных кранов НБК и оно должно быть завершено на протяжении жизненного цикла НБК. Без извлечения ТСМ с верхних отметок невозможно будет снять с эксплуатации НБК. Без извлечения всех ТСМ невозможно будет снять с эксплуатации ЧАЭС.

5. При невозможности извлечения сразу всех скоплений ТСМ можно рассмотреть возможность их долговременного хранения, обеспечив необходимый уровень безопасности и контроля.

6. Выделены зоны извлечения ТСМ по критериям безопасности, специфики технологии и срокам извлечения.

7. Подготовка к извлечению ТСМ с верхних отметок, в первую очередь из ЦЗ, должно начаться сразу после окончания демонтажа нестабильных конструкций объекта "Укрытие". Необходимость неотложного извлечения ТСМ верхних отметок обусловлена следующими причинами: ТСМ этой зоны в основном формируют радиационную обстановку в НБК и окружающей среде; радиоактивная пыль в этой зоне является основным источником загрязнения конструкций и оборудования НБК; самые опасные аварии, приводящие к выбросам в окружающую среду, связаны с наличием топливной пыли в этой зоне; извлечение ТСМ из этой зоны в принципе невозможно без использования систем НБК и должно быть завершено на протяжении жизненного цикла НБК; без извлечения ТСМ из этой зоны невозможно демонтировать конструкции блока (поврежденные при аварии) и невозможно будет, в будущем, снять с эксплуатации НБК.

8. Для ТСМ на нижних отметках необходимо провести сравнительный анализ извлечения или организации долговременного контролируемого хранения. Во многом решение этого вопроса будет зависеть от исследования скорости деградации ЛТСМ и пылеобразования. При подтверждении ожидаемого увеличения скорости этих процессов необходимо будет извлекать ТСМ и с нижних отметок.

9. Необходимо продолжить изучение процессов деградации ЛТСМ и других свойств ТСМ.

10. Создание безопасных технологий и инфраструктуры для извлечения ТСМ из объекта "Укрытие" и дальнейшего обращения с ними является необходимой предпосылкой решения проблемы преобразования этого объекта в экологически безопасную систему. Решение этой проблемы очень важно как для обеспечения экологической безопасности в будущем для Украины и соседних стран, так и для улучшения мирового общественного мнения по вопросам развития атомной энергетики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Стратегия* преобразования объекта "Укрытие", согласованная решением Межведомственной Комиссии по вопросам комплексного решения проблем Чернобыльской АЭС. Протокол № 2 от 12.03.2001 г.
2. *Ключников А.А., Щербин В.Н., Рудько В.М. и др.* Концептуальный проект извлечения топливосодержащих материалов и обращения с радиоактивными отходами объекта "Укрытие" (проект "Старт") // *Проблемы Чернобиля*. - 1998. - Вып. 2. - С. 11 - 23.
3. *Батий В.Г., Подберезный С.С., Рудько В.М. и др.* Перспективы извлечения топливосодержащих материалов из объекта "Укрытие" с использованием систем нового безопасного конфайнмента // *Проблемы безопасности атомных станций і Чернобиля*. – 2007. - Вып. 7. - С. 76 - 84.
4. *Батий В.Г., Стоянов А.И., Щуленикова А.В.* Модельный эксперимент по извлечению топливосодержащих материалов из объекта "Укрытие" // *Сотрудничество для решения проблемы отходов: Материалы VI Междунар. конф., Харьков, 8 - 9 апреля 2009 г.* - Харьков, 2009. – С. 38 - 40.
5. *Батий В.Г., Лагуненко А.С., Подберезный С.С., Щуленикова А.В.* Проблемы извлечения топливосодержащих материалов объекта "Укрытие" // *Матеріали Міжнар. наук.-техн. конф. рятівників "Проблеми поводження з радіоактивними відходами в Україні"*, 22 - 23 вересня 2010 р. – К., 2010. - С. 23 - 28.
6. *Токаревский В.В.* Стратегия извлечения топливосодержащих материалов из объекта "Укрытие" // *Ядерная та радіаційна безпека*. - Т. 55, вип. 3. - 2012. - С. 43 - 47.
7. *Закон України "Про поводження з радіоактивними відходами" № 255/95-вр від 30.06.1995.*
8. *НП 306.5.04/2.060-2002.* Умови і вимоги безпеки (ліцензійні умови) провадження діяльності з переробки, зберігання та захоронення радіоактивних відходів.
9. *НП 306.5.04/2.059-2002.* Порядок проведення державної інвентаризації радіоактивних відходів.
10. *Закон України "Про загальнодержавну програму зняття з експлуатації Чернобыльської АЕС та перетворення об'єкта "Укриття" на екологічно безпечну систему" № 886-VI від 15.01.2009.*
11. *НРБУ-97/Д-2000.* Норми радіаційної безпеки України. Доповнення: Радіаційний захист від джерел потенційного опромінення. Державні гігієнічні нормативи ГГН 6.6.1.-6.5.061. - 2000.
12. *Стратегія* поводження з радіоактивними відходами в Україні. Постанова КМУ № 990-р від 19.08.2009.
13. *Закон України "Про загальні засади подальшої експлуатації і зняття з експлуатації Чернобыльської АЕС та перетворення зруйнованого четвертого енергоблока цієї АЕС на екологічно безпечну систему" № 309-XIV від 11.12.1998.*
14. *НП 306.4.143-2008.* Вимоги та правила довгострокового зберігання довгоіснуючих та високоактивних радіоактивних відходів до їх захоронення в глибоких геологічних формаціях.
15. *Заключение* экспертной комиссии о причинах аномального события в пом. 304/3 объекта "Укрытие" в июне 1990 г. / ИБРАЭ РАН. – М., 1992. – 67 с.
16. *Фролов В.В.* Аномальный инцидент 27 – 30 июня 1990 г. в объекте "Укрытие" Чернобыльской АЭС // *Атомная энергия*. – Т. 80, вып. 3.
17. *Высотский Е.Д., Ключников А.А., Щербин В.Н., Шостак В.Б.* Нейтронно-физические характеристики ядерноопасных скоплений топливосодержащих материалов // *Проблемы безопасности атомных электростанций і Чернобиля*. - 2009. - Вып. 12. - С. 93 - 102.
18. *Высотский Е.Д., Ключников А.А., Лагуненко А.С. и др.* Ядерноопасные скопления топливосодержащих материалов в разрушенном четвертом блоке Чернобыльской АЭС // *Радиохимия*. – 2011. - Т. 53, № 2. – С. 178 - 183.
19. *Шостак В.Б., Щербин В.Н., Олейник Е.Е.* Определение величин параметров модели, описывающей ядерноопасное скопление топливосодержащих материалов в объекте "Укрытие" // *Проблемы безопасности атомных электростанций і Чернобиля*. - 2014. - Вып. 22. - С. 98 - 107.
20. *SIP-N-LI-22-E002-SCR-002-01.* Отчет о соответствии требованиям санитарного законодательства.
21. *Анализ* текущей безопасности объекта "Укрытие" и прогнозные оценки развития ситуации: Отчет о НИР / МНТЦ "Укрытие". - Арх. № 3836. - Чернобыль, 2001. - 337 с.

22. *Исследование* влияния изменений свойств топливосодержащих материалов объекта "Укрытие" на его ядерную, радиационную и радиэкологическую безопасность. Т. 1. Анализ процессов образования и поведения лавообразных топливосодержащих материалов при аварии на ЧАЭС: Отчет о НИР (заключительный) / ИПБ АЭС НАН Украины. - Арх. № 4003. - Чернобыль, 2011. - 124 с.
23. *Отчет* по результатам исследований радиационной обстановки в зонах производства работ по стабилизации строительных конструкций ОУ / Отчет 5. - ПОМ. - Пакет А. - Проект № 4967. – Международный консорциум "Чернобыль" – ИСС (МК) JV. – 2002 г.
24. *Исследование* влияния изменений свойств топливосодержащих материалов объекта "Укрытие" на его ядерную, радиационную и радиэкологическую безопасность: Отчет о НИР (заключительный). Т. 2. Изучение поведения топливосодержащих материалов объекта "Укрытие" как фактора ядерной, радиационной и радиэкологической опасности под воздействием внешних и внутренних факторов / ИПБ АЭС НАН Украины. - Арх. № 4003. - Чернобыль, 2011. - 216 с.
25. *Смирнов И.Н.* Мониторинг фонового загрязнения природной среды. – Л.: Гидрометеиздат, 1982. – С. 134 - 147.
26. *Бадковский В.П., Ключников А.А., Меленевский А.Э. и др.* Генерация топливосодержащей пыли лавообразными материалами объекта "Укрытие" // Проблемы безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля. - 2013. - Вип. 20. - С. 68 - 76.
27. *Габелков С.В., Меленевський О.Е., Ушаков І.О.* Дослідження фізико-хімічних процесів, що визначають деградацію ПВМ об'єкта "Укриття", на період до їхнього контрольованого зберігання чи переробки // Проблемы безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля. - 2014. - Вип. 22. - С. 123.
28. *Бадковский В.П., Ключников А.А., Меленевский А.Э. и др.* Генерация топливосодержащей пыли лавообразными материалами объекта "Укрытие". – Чернобыль, 2012. – 12 с. – (Препр. / НАН Украины. Ин-т проблем безопасности АЭС; 12-4).
29. *ОСБОУ-2008.* Отчет о состоянии безопасности объекта "Укрытие", 2008.
30. *SIP-N-LI-22-E002-SCR-002-01.* Отчет о соответствии требованиям санитарного законодательства. Новый безопасный конфайнмент. Пусковой комплекс 1. Лицензионный пакет 6. Проект "Защитное сооружение с технологическими системами жизнеобеспечения и необходимой инфраструктурой".

В. Г. Батій, В. М. Щербін, А. В. Щулепнікова

Інститут проблем безпеки АЕС НАН України, вул. Кірова, 36а, Чорнобиль, 07270, Україна

АНАЛІЗ МОЖЛИВИХ ШЛЯХІВ ПОВОДЖЕННЯ З ПАЛИВОВІСНИМИ МАТЕРІАЛАМИ ПІСЛЯ ЗАВЕРШЕННЯ БУДІВНИЦТВА НОВОГО БЕЗПЕЧНОГО КОНФАЙНМЕНТА

Проведено аналіз проблеми подальшого поводження з паливовісними матеріалами з точки зору вимог нормативних документів, критеріїв ядерної та радіаційної безпеки, можливості остаточного перетворення об'єкта "Укриття" ЧАЕС на екологічно безпечну систему в довгостроковій перспективі. Виділено характерні зони вилучення паливовісних матеріалів, проведено їхній аналіз з точки зору безпеки, впливу на персонал і навколишнє середовище, можливості вилучення за допомогою системи основних кранів нового безпечного конфайнмента.

Ключові слова: паливовісні матеріали, поводження з радіоактивними відходами, новий безпечний конфайнмент, об'єкт "Укриття".

V. G. Batiy, V. M. Scherbin, A. V. Shchulepnikova

Institute for Safety Problems of Nuclear Power Plants NAS of Ukraine, Kirova str., 36a, Chornobyl, 07270, Ukraine

ANALYSIS OF POSSIBLE WAYS OF THE FUEL CONTAINING MATERIALS MANAGEMENT AFTER COMPLETION OF THE NEW SAFE CONFINEMENT CONSTRUCTION

The problems of the further fuel-containing materials management from the point of view of regulatory requirements, criteria, nuclear and radiation safety, the possibility of the final transformation of the "Shelter" object of the Chornobyl NPP into ecologically safe system in the long term was analyzed. Special retrieve zones of the fuel-containing materials are allocated, their analysis from the point of view of safety, impacts on personnel and the environment, the possibility of removal using the main cranes of New Safe Confinement were carried out.

Keywords: fuel-containing materials, radioactive waste management, the New Safe Confinement, the "Shelter" object.

REFERENCES

1. *Strategy of Shelter Conversion.* Coordinated by Interdepartmental Commission on Chernobyl NPP Problems Complex Resolution.. Minutes № 2 of March 12, 2001. (Rus)

2. *Kliuchnykov A.A., Scherbin V.N., Rudko V.M. et al.* Conceptual design of extraction of fuel containing materials and "Shelter" object radwaste management (project "Start") // *Problemy Chornobylya*. - 1998. - Iss. 2. - P. 11 - 23. (Rus)
3. *Batiy V.G., Podbereznyi S.S., Rudko V.M. et al.* Prospects of extract of fuel containing material from the Chernobyl Nuclear Power Plant "Shelter" using systems of the New Safe Confinement // *Problemy bezpeky atomnyh electrostantsiy I Chornobylya (Problems of Nuclear Power Plants' Safety and Chornobyl)*. - 2007. - Iss. 7. - P. 76 - 84. (Rus)
4. *Batiy V.G., Stoyanov A.I., Shchulepnikova A.V.* Model experiment of extracting fuel containing material of the Chernobyl nuclear power plant "Shelter" // *Abstracts of the 6th International conference "Collaboration for the decision of problem of wastes"*, Kharkov, April 8 - 9, 2009. - P. 38 - 40. (Rus)
5. *Batiy V.G., Lagunencko A.S., Podbereznyi S.S., Shchulepnikova A.V.* Problems of extracting fuel containing material of the "Shelter" object // *Abstracts of International Science and technical conference rescuers "Problems of radioactive waste management in Ukraine"*, IX International Exhibition Forum "Protection Technologies-2010", September 22 - 23, 2010, Kiev. - Kiev, 2010. P. 23 - 28. (Rus)
6. *Tokarevskiy V.V.* Strategy of extraction of fuel-containing materials from the "Shelter" object // *Nuclear and radiation safety*. - Vol. 55. - Iss. 3. - 2012. - P. 43 - 47. (Rus)
7. *Law of Ukraine "Radioactive Waste Management"*, № 255/95-vr of 30.06.1995. (Ukr)
8. *RD 306.5.04/2.060-2002*. Terms and safety requirements (license conditions) the exercise of the processing, storage and disposal of radioactive waste. (Ukr)
9. *RD 306.5.04/2.059-2002*. Procedure of the State inventory of radioactive waste. (Ukr)
10. *Law of Ukraine "On the National Program decommissioning of Chernobyl NPP and the transformation of the "Shelter" into an ecologically safe system"*, № 886-VI of 15.01.2009. (Ukr)
11. *Standards of nuclear safety, addition: Potential radiation source protection. State Hygienic Regulations NRBU-97/D-2000 DGR*. (Ukr)
12. *The strategy of radioactive waste management in Ukraine. Res. CM № 990-p of 19.08.09*. (Ukr)
13. *Law of Ukraine "On General Principles of Chernobyl NPP Further Operation and Decommissioning, and Conversion of Destroyed Unit 4 into an Environmentally Safe System"*, № 309-XIV of 11.12.98. (Ukr)
14. *RD 306.4.143-2008*. Requirements and rules for long-term storage of long-lived and highly radioactive waste their disposal in deep geological formations. (Ukr)
15. *Conclusion of expert commission about reasons of anomalous event in pom. 304/3 object "Shelter" in July 1990 / IBRAE RAN*. - Moskva, 1992. - 67 p. (Rus)
16. *Frolov V.V.* the Anomalous incident of June, 27 - 30, 1990 in an object "Shelter" Chernobyl'skoy AES of // *Atomnaya energiya*. - 1996. - Vol. 80, Iss. 3. (Rus)
17. *Vysotskiy E.D., Kliuchnykov A.A., Scherbin V.N., Shostak V.B.* Neutron and physical characteristics of nuclear-dangerous accumulation of fuel containing materials // *Problemy bezpeky atomnyh electrostantsiy I Chornobylya (Problems of Nuclear Power Plants' Safety and Chornobyl)*. - 2009. - Iss. 12. - P. 93 - 102. (Rus)
18. *Vysotskiy E.D., Kliuchnykov A.A., Lagunencko A.S. et al.* The nuclear-dangerous accumulations of fuel-containing materials in the blasted fourth block of Chernobyl'skoy AES // *Radiokhimiya*. - 2011. - Vol. 53, № 2. - P.178 - 183. (Rus)
19. *Shostak V.B., Scherbin V.N., Oliynyk Ye.Ye.* Determination of sizes of parameters of model of describing nuclear-dangerous accumulation of fuel contained materials in object "Ukryttya" // *Problemy bezpeky atomnyh electrostantsiy I Chornobylya (Problems of Nuclear Power Plants' Safety and Chornobyl)*. - 2014. - Iss. 22. - P. 98 - 107. (Rus)
20. *SIP-N-LI-22-E002-SCR-002-01*. Report on compliance with health legislation. (Rus)
21. *Analysis of current safety of object "Shelter" and prognosis estimations of development of situation (Report) / NAS of Ukraine. ISTC "Shelter"*. - Chernobyl, 2001. - Arkh. № 3836. (Rus)
22. *Investigation of influence of changes in the properties of fuel-containing materials of the "Shelter" object on its nuclear, radiation and the radiological safety. Vol. 1. Analysis of the formation and behavior of lava-like fuel materials during the Chernobyl accident (Report) / NAS of Ukraine. IPB AES*. - Chernobyl, 2011. - Arkh. № 4003. (Rus)
23. *Report on the results of studies of the radiation situation in the areas of production stabilization works Shelter building structures / Report. 5 - SIP*. - Package A. - Project № 4967. - International consortium "Chernobyl" - ICC (MK) JV. - 2002. (Rus)
24. *Investigation of influence of changes in the properties of fuel-containing materials of the "Shelter" object on its nuclear, radiation and the radiological safety. Vol. 2. Study of the behavior of fuel containing materials of the*

- "Shelter" object as a factor in nuclear, radiation and radio-ecological hazard under the influence of external and internal factors (Report) / NAS of Ukraine. IPB AES. - Chernobyl, 2011. - Arkh. № 4003. (Rus)
25. *Smirnov I.N.* Background monitoring of environmental pollution: – Leningrad: Gidrometeoizdat, 1982. – P. 134 - 147. (Rus)
 26. *Badovsky V.P., Kliuchnykov A.A., Melenevsky A.E., et. al.* Fuel containing dust generation by object "Ukryttya" lava materials // Problemy bezpeky atomnyh electrostantsiy I Chornobylya (Problems of Nuclear Power Plants' Safety and Chornobyly). - 2013. - Iss. 20. - P. 68 - 76. (Rus)
 27. *Gabelkov S.V., Melenevsky A.E., Ushakov I.A.* The study of physical and chemical processes that determine the degradation of FCM of "Shelter" for the period prior to their controlled storage or processing // Problemy bezpeky atomnyh electrostantsiy I Chornobylya (Problems of Nuclear Power Plants' Safety and Chornobyly). - 2014. - Iss. 22. - P. 123. (Ukr)
 28. *Badovsky V.P., Kliuchnykov A.A., Melenevsky A.E. et. al.* Fuel containing dust generation by object "Ukryttya" lava materials. – Chernobyl, 2012. – 12 p. – (Prepr. / NAS of Ukraine. IPB AES; 12-4). (Rus)
 29. *Shelter* Safety Status Report for 2008 (annual). (Rus)
 30. *SIP-N-LI-22-E002-SCR-002-01.* Report on compliance with health legislation // New Safe Confinement. Starting complex 1. License package - 6. Draft "Protective structure with technological life-support systems and the necessary infrastructure". (Rus)

Надійшла 21.07.2014
Received 21.07.2014