



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
«КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»

А.А. БОРОВОЙ, Е.П. ВЕЛИХОВ

ОПЫТ ЧЕРНОБЫЛЯ

ЧАСТЬ 4





НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
«КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»

А.А. БОРОВОЙ, Е.П. ВЕЛИХОВ

ОПЫТ ЧЕРНОБЫЛЯ

ЧАСТЬ 4

Москва, 2015

А.А. Боровой, Е.П. Велихов. Опыт Чернобыля (работы на объекте «Укрытие»).
Часть 4. – М.: НИЦ «Курчатовский институт», 2015, 138 с.: ил.

Аннотация

Почти каждый шаг в многолетней эпопее ликвидации последствий аварии на ЧАЭС требовал поиска нестандартных научно технических решений. В результате коллективом инженеров и ученых, работающих в «Курчатовском институте», других НИИ России и Украины, был накоплен уникальный опыт. Многие из найденных решений, созданных методик и приборов могут быть использованы для предотвращения и минимизации последствий даже относительно не больших по масштабам инцидентов в области ядерной энергетики и промышленности. В «Курчатовском институте» были выпущены многочисленные публикации по этой теме, однако они далеко не исчерпали всей накопленной информации.

Поэтому было решено выпустить монографию, аккумулирующую опыт работ на ЧАЭС (в основном на объекте «Укрытие»).

В виду большого объема материала он разделен на несколько частей. Но и при таком подходе книга смогла включить в себя описание только наиболее интересных (с точки зрения авторов) исследований, которые выполнялись при участии «Курчатовского института».

Дизайн и верстка: Е.Р. Осьмакова

Рекомендовано к печати Редакционно издательским советом НИЦ «Курчатовский институт».

ISBN 978-5-904437-96-1

СОКРАЩЕНИЯ И ОБОЗНАЧЕНИЯ

АЗ	Активная зона реакторной установки
АЗФ	Фрагменты активной зоны
«Анализ...»	«Анализ текущей безопасности объекта «Укрытие» и прогнозные оценки развития ситуации»
АЭС	Атомная электростанция
ББ-1	Бассейн-барботер, первый этаж
ББ-2	Бассейн-барботер, второй этаж
БВ	Бассейн выдержки отработавших тепловыделяющих сборок
ВНИИАЭС	Всероссийский научно-исследовательский институт АЭС
ВНИПИЭТ	Всероссийский научно-исследовательский и проектный институт энергетических технологий
ЧАЭС	Государственное специализированное предприятие ЧАЭС
ГЦН	Главный циркуляционный насос
«Д», схема «Д»	Боковая биологическая (водяная) защита
ДТП	Датчик плотности теплового потока
ДСФ	Детектор со съемными фильтрами
«Е», схема «Е»	Верхняя плита биологической защиты
ЗКР	Зона критмассового риска
ИБРАЭ	Институт проблем безопасного развития атомной энергии Российской Академии Наук
ИДК	Информационно-диагностический комплекс
ИПБ АЭС, ИПБ АЭС НАНУ	Институт проблем безопасности атомных электростанций Национальной Академии Наук Украины (ранее – МНТЦ «Укрытие»)
ИЯИ АН УССР	Институт ядерных исследований АН УССР
КДШ	Континуальные дозиметрические шнуры
«КЖ»	Оболочка активной зоны реактора
КИ, «Курчатовский институт»	Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»
КЭ	Комплексная экспедиция при институте атомной энергии им. И.В. Курчатова
K_{∞}	Коэффициент размножения нейтронов в бесконечной среде
$K_{\text{эфф.}}$	Эффективный коэффициент размножения нейтронов
«Л», схема «Л»	Боковая биологическая (водяная) защита
ЛПА	Ликвидация последствий аварии
ЛТСМ	Лавообразные топливосодержащие материалы
МАГАТЭ	Международное агентство по атомной энергии
МЗ	Машинный зал
Минсредмаш	Министерство среднего машиностроения СССР
МКУ	Металлическая конструкция усиления

МНТЦ, МНТЦ «Укрытие»	Межотраслевой научно-технический центр «Укрытие» при Национальной академии наук Украины (в настоящее время ИПБ АЭС НАНУ)
МЭД	Мощность экспозиционной дозы γ -излучения
НБК	Новый безопасный конфайнмент
НВК	Нижние водяные коммуникации
НИКИМТ	Научно-исследовательский и конструкторский институт монтажных технологий
НИО КЭ	Научно-исследовательский отдел КЭ
ОГ	Оперативная группа КИ
«ОР», схема «ОР»	Нижняя плита биологической защиты
ПВК	Пароводяные коммуникации
ПК	Правительственная Комиссия
ПРК	Парораспределительный коридор
РИ, «Радиевый институт»	Научно-производственное объединение «Радиевый институт» им. В.Г. Хлопина
РАО	Радиоактивные отходы
РБМК-1000	Реактор большой мощности канальный, электрической мощностью 1000 МВт
РЗМ	Разгрузочно-загрузочная машина
РНД	Разведывательный нейтронный детектор
СБВ	Северный бассейн выдержки
СК	Строительные конструкции
СНД	Сторожевой нейтронный детектор
СУЗ	Система управления и защиты
СЦР	Самоподдерживающаяся цепная реакция
ТВС	Тепловыделяющие сборки
ТВЭЛ	Тепловыделяющий элемент
ТК	Технологический канал
ТОЯБ	Техническое обоснование ядерной безопасности
ТСМ	Топливосодержащие материалы
Ф1	АЭС Фукусима Дай-ичи
ЦЗ	Центральный зал
ЧАЭС	Чернобыльская атомная электростанция
ЮБВ	Южный бассейн выдержки
RIA	Авария, связанная с вводом положительной реактивности
SIP	Shelter Implementation Plan (План осуществления мероприятий – ПОМ)
GRS	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH, Общество Технической и Ядерной Безопасности (Германия)
IRSN	Institute for Radiological Protection and Nuclear Safety Институт Радиационной Защиты и Ядерной Безопасности (Франция)
LATA	Los Alamos Technical Associates Лос-Аламосская Техническая Ассоциация (США)

ВВЕДЕНИЕ

Уже более четверти века прошло с момента аварии на четвертом блоке Чернобыльской АЭС.

Она произошла ночью 26 апреля 1986 г. и привела к полному разрушению активной зоны реактора, верхней части здания 4-го блока станции, к сильным повреждениям деаэрационной этажерки и машинного зала.

Взрывы и возникший пожар сопровождался выбросом огромной радиоактивности.

Ежесуточно в окружающую среду попадали миллионы Кюри, и этот процесс продолжался до 6 мая, после чего выброс резко упал (в тысячи раз) и в дальнейшем продолжал уменьшаться (рис. 1).

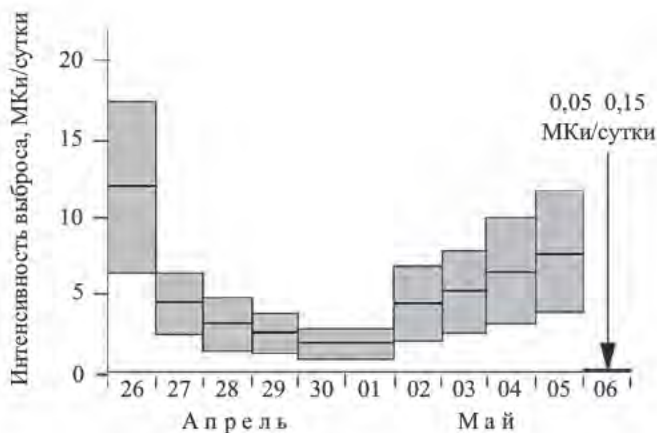


Рис. 1. Интенсивность выброса радиоактивности из разрушенного блока в период активной стадии аварии (в миллионах Кюри в сутки). Погрешность оценки выброса $\pm 50\%$. Значения выброшенной активности пересчитаны на 06.05.86 г. (конец активной стадии) с учетом радиоактивного распада¹ [1]

Всего за пределы разрушенного блока было выброшено (в процентах от накопленного до аварии в реакторе количества радионуклидов) [2]:

- радиоактивных инертных газов — 100%,
- радионуклидов йода, в том числе ^{131}I — (50–70)%,
- ^{137}Cs и ^{134}Cs — (33 \pm 10)%,
- нелетучих радионуклидов в составе частиц диспергированного ядерного топлива (среди них ^{90}Sr , ^{144}Ce , ^{239}Pu , ^{241}Am и многих других) — до 5%.

На рис. 2 представлена карта загрязнения Европы ^{137}Cs .

¹В этом случае все короткоживущие радионуклиды с периодом полураспада порядка 1 дня не вносят заметного вклада в интегральную оценку выброса.

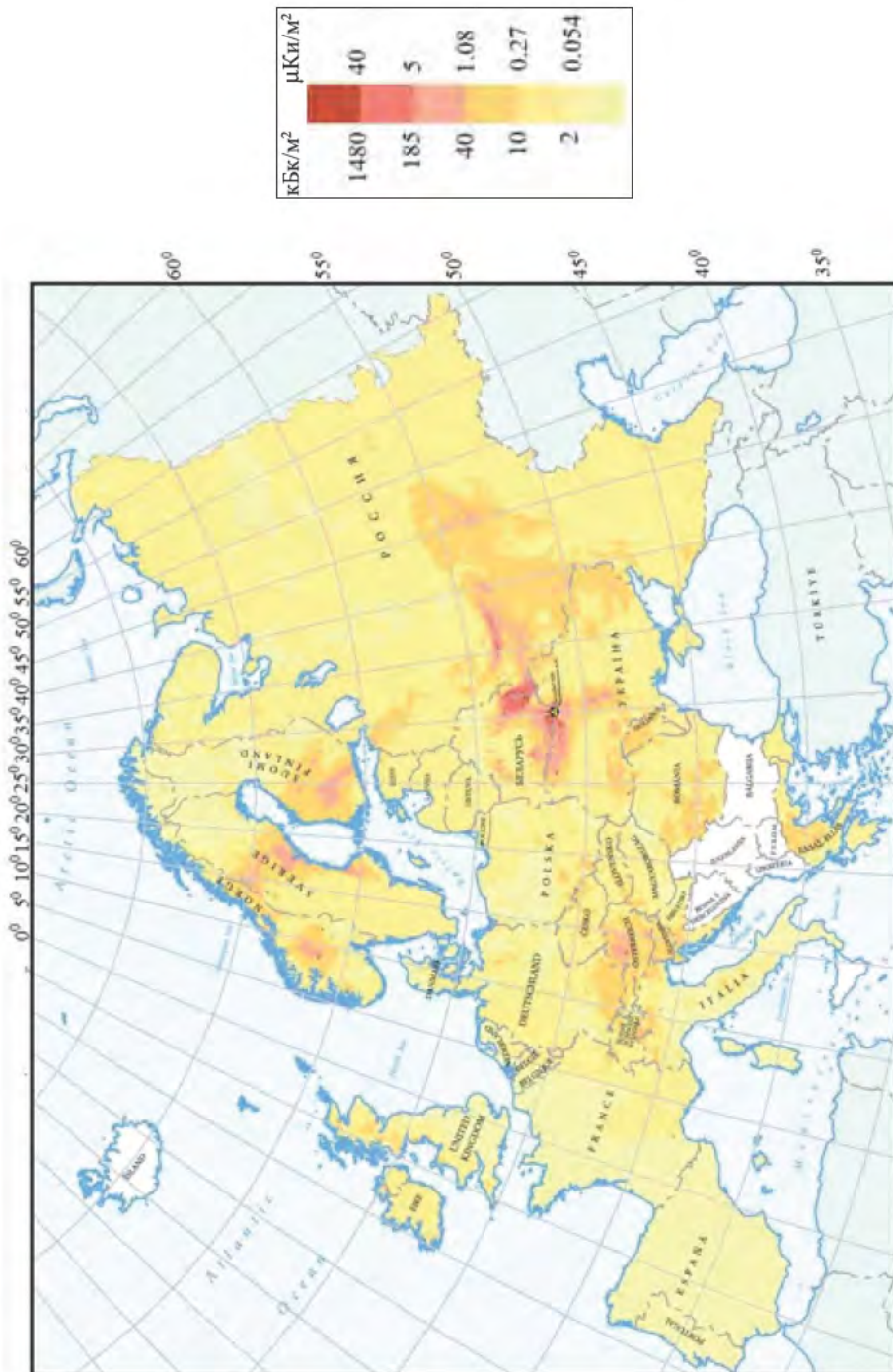


Рис. 2. Европейская карта загрязнения цезием-137 (Чернобыльское + глобальное)

Видно, какие огромные территории затронула авария на ЧАЭС.

Локализация и ликвидация последствий аварии потребовали напряженной, часто поистине героической работы сотен тысяч гражданских и военных специалистов.

Для сопровождения этих работ были привлечены сотрудники десятков научных учреждений страны. От них требовалось в кратчайшее время и с максимальной эффективностью решать задачи, многие из которых не имели ранее даже далеких аналогов.

Часто возникавшие проблемы вызвали необходимость проведения совместных «мозговых штурмов» инженеров и научных работников самых разных, иногда очень далеких друг от друга специальностей. В ходе таких «штурмов» были предложены многие новые научно-технические методы и средства, позволившие в дальнейшем выполнить необходимые работы по ЛПА.

Как известно, особо масштабные работы, включающие создание объекта «Укрытие», закрывшего разрушенный блок и практически предотвратившего дальнейший выход радиоактивности в окружающую среду, пуск 1-го и 2-го, а позднее и 3-го блока Чернобыльской АЭС, были окончены в 1986–87 гг. Однако оставалось еще много незавершенных дел как на самой площадке станции, так и на загрязненных территориях.

Что касается «Укрытия», то в первую очередь было необходимо определить степень опасности, которую представляло ядерное топливо и радиоактивные материалы, находившиеся в нем, создать систему мониторинга ТСМ, а также выполнить целый ряд проектных, строительных и монтажных работ по укреплению внутренних конструкций объекта. Для решения этих задач (а также целого ряда задач в чернобыльской зоне) в конце 1987 г. в Чернобыле была создана комплексная экспедиция при Институте атомной энергии им. И.В. Курчатова (КЭ)². В наиболее напряженный период работ ее численный состав превышал 3000 человек. Стратегию и тактику проводимых работ определял Научный отдел (до 100 человек). В нем были собраны сотрудники ведущих научно-исследовательских институтов Минсредмаша СССР, НИИ Украины и Беларуси (см. [3]).

К 1989 г. стало очевидным, что существующий объект «Укрытие» не может гарантировать ядерную и радиационную безопасность при экстремальных природных воздействиях (землетрясение, ураган). Поэтому специалисты «Курчатовского института» вышли с предложением о преобразовании «Укрытия» в экологически безопасное состояние [4]. Предлагалось возвести над существующим объектом герметичное и прочное сооружение — новый безопасный конфаймент (НБК) или «Укрытие-2», которое могло бы простоять многие десятилетия. А со временем создать технологии и под защитой НБК разобрать разрушенный блок, вывезти и захоронить топливо.

²Основными задачами КЭ были определены следующие.

1. Проведение НИР по обеспечению безопасного состояния объекта «Укрытие».
2. Изучение радиационной обстановки в зоне ЧАЭС и контролируемой зоне.
3. Выполнение конструкторских и проектных работ в обеспечение программы исследований.
4. Выполнение строительно-монтажных работ в обеспечение научных исследований, возложенных на КЭ.

И ряд других задач.

Работа КЭ продолжалась до 1992 г., когда чернобыльская зона перешла под юрисдикцию Украины.

При этом встал вопрос о приемнике КЭ и о продолжении работы российских специалистов на объекте «Укрытие» и ЧАЭС. После обсуждения этого вопроса дирекция «Курчатовского института» совместно с Президиумом Национальной Академии Наук Украины выдвинули предложение о создании в Чернобыле научного центра, в который ежегодно командировались бы сотрудники «Курчатовского института» (и ряда других научных учреждений России) для работы, связанной с безопасностью объекта «Укрытие».

Такой центр был создан (Постановление Кабинета Министров Украины от 4 февраля 1992 г.) на базе КЭ и получил название Межотраслевого Научно-технического Центра «Укрытие» (МНТЦ) при НАНУ. Основной его задачей стало проведение научных и проектных работ по преобразованию «Укрытия» в экологически безопасную систему.

«Курчатовский институт» принял на себя научное руководство Отделением ядерной и радиационной безопасности (ОЯРБ) МНТЦ [3] и продолжил свою деятельность по текущей безопасности «Укрытия» и по подготовке к его преобразованию.

Уже после первых эскизных проработок НБК, а особенно после проведения международного конкурса на его проектирование стало ясно, что преобразование «Укрытия» — очень дорогое мероприятие и потребует международной помощи.

Понадобились масса усилий и значительное время, прежде чем Правительству Украины удалось договориться о создании международного «Чернобыльского фонда». Для этого международной группой в 1996–97 гг. на основе предыдущих исследований русских и украинских специалистов был разработан Shelter Implementation Plan — План проведения работ на объекте «Укрытие» (SIP). 1998 г. можно считать началом его реализации.

Сейчас работы по преобразованию объекта «Укрытие» в экологически безопасное состояние продолжаются на Чернобыльской АЭС при финансовой, технической и организационной помощи всего международного сообщества, в том числе и России.

Как уже говорилось, почти каждый шаг в многолетней эпопее ликвидации последствий аварии на ЧАЭС, обеспечении безопасности объекта «Укрытие» и при подготовке его преобразования требовал поиска нестандартных научно-технических решений.

В результате коллективом инженеров и ученых, работающих в «Курчатовском институте», других НИИ России и Украины, был накоплен уникальный опыт.

Он ценен не только для использования в случае крупных аварий.

Многие из найденных решений, созданных методик и приборов могут быть использованы для предотвращения и минимизации последствий даже относительно небольших по масштабам инцидентов в области ядерной энергетики и промышленности.

Все эти годы в «Курчатовском институте» велась работа по сбору, структурированию, сохранению и предоставлению пользователям информации, накопленной в ходе ЛПА на ЧАЭС в 1986–2010 гг. Были выпущены многочисленные публикации по этой теме (см., например, [3, 5–16]), однако они далеко не исчерпали всего накопленного материала.

В конце 2010 г. в «Курчатовском институте» было решено написать монографию, аккумулирующую опыт работ на ЧАЭС в области научно-технических методов, применявшихся при ЛПА (в основном на объекте «Укрытие»), включающую и часть уже опубликованных материалов.

Никто не мог предположить, что буквально через несколько месяцев произойдет новая крупнейшая радиационная катастрофа.

11 марта 2011 г. в результате землетрясения на японской АЭС Фукусима Дай-ичи (Ф1) произошла авария, характер и последствия которой позволили сравнивать ее масштабы с чернобыльской и даже присвоить ей 7-й уровень по шкале INES³.

Землетрясение и удар цунами вывели из строя внешние средства электроснабжения и резервные дизельные электрогенераторы. Это стало причиной неработоспособности всех систем нормального и аварийного охлаждения и в конечном итоге привело к расплавлению активной зоны ряда реакторов, взрывам водорода и разрушению 1–4 блоков.

Исходные события и характер аварий для Чернобыльской АЭС и для Ф1 были различны.

Если в первом случае имела место так называемая «реактивная авария», первопричиной которой стал разгон реактора на мгновенных нейтронах, то вторая была вызвана потерей охлаждения и перегревом ТВЭЛ-ов.

События, произошедшие в дальнейшем, также отличались. В Чернобыле после взрывов, которые за несколько секунд полностью разрушили реактор и сам блок, в течение 10 дней продолжался выброс радиоактивности.

На Ф1 опасность нарастала постепенно. В течение первых 4 дней (с 11 по 15 марта) один за другим развивались аварии на 4-х блоках, сопровождающиеся взрывами и выбросом летучих радиоактивных элементов (см. рис. 3).

Тем не менее многие проблемы, вставшие перед теми, кто работал над локализацией и ликвидацией последствий аварии на Ф1, оказались схожи с чернобыльскими проблемами как 25-летней давности, так и возникавшими в последующие годы.

Среди этих проблем — очистка территории от радиоактивных завалов, обращение с огромными объемами радиоактивной почвы и воды, проведение разведки в разрушенных и загрязненных радиоактивностью помещениях, дезактивация блоков, создание системы мониторинга скоплений ядерного топлива и еще десятки и десятки проблем.

К сожалению, почти сразу обнаружилось, что «опыт Чернобыля» был практически не известен государственным органам, управляющей компании и персоналу, работающему непосредственно на площадке Ф1. Это признал президент японского агентства по атомной энергии (JAEA) Ацуюки Судзуки, который на заседании группы INSAG в ходе генеральной конференции МАГАТЭ в Вене заявил о том, что Япония не отнеслась с нужной серьезностью к изучению аварий на ТМ1-2 и Чернобыльской АЭС.

³Шкала INES (International Nuclear Event Scale) разработана Международным агентством по атомной энергии в 1988 году и с 1990 года используется в целях единообразия оценки чрезвычайных случаев, связанных с аварийными радиационными выбросами в окружающую среду на атомных станциях.

Авария 7-го уровня характеризуется большим выбросом радиоактивности в окружающую среду (радиологический эквивалент более нескольких десятков тысяч ТБк I-131): тяжелые последствия для здоровья населения и для окружающей среды.



Рис. 3. Состояние энергоблоков АЭС Фукусима Дай-ичи после аварии. На рис. указаны причины разрушения блоков и время, когда это произошло

По оценкам японских специалистов, работы по ликвидации последствий аварии на Ф1 продлятся несколько десятилетий.

В свете произошедших событий предлагаемая работа по сбору и обобщению научно-технического опыта накопленного в «Курчатовском институте» по ЛПА на ЧАЭС приобретает дополнительную актуальность.

Ввиду большого объема материала его было решено разделить на несколько частей. Но и при таком подходе книга смогла включить в себя описание только наиболее интересных (с точки зрения авторов) исследований, которые выполнялись при участии «Курчатовского института».

ЛИТЕРАТУРА

1. USSR State Committee on the Utilization of Atomic Energy. The Accident at the Chernobyl NPP and its Consequences. IAEA Post Accident Review Meeting, Vienna, 25–29 August 1986.
2. Боровой А.А., Гагаринский А.Ю. Выброс радионуклидов из разрушенного блока Чернобыльской АЭС. – Атомная энергия, 2001, т. 90, вып. 2. – С. 137–145.
3. Боровой А.А., Велихов Е.П. К 25-летию аварии на Чернобыльской АЭС. Работы «Курчатовского института» по ликвидации последствий аварии. М.: НИЦ «Курчатовский институт», 2011. – 129 с.

4. Беляев С.Т., Боровой А.А. О преобразовании объекта «Укрытие». Отчет ИАЭ им. И.В. Курчатова. Инв. № 57-05/110 от 29.09.89 г. — 5 с.
5. Абалин С.С., Беляев С.Т., Боровой А.А. и др. Диагностические исследования аварийного реактора ЧАЭС. — Атомная энергия, 1990, т. 68, вып. 5. — С. 355–359.
6. Borovoi A.A. Analytical Report (Post-Accident Management of Destroyed Fuel from Chernobyl). IAEA, Work Material, 1990, p. 1–99.
7. Беляев С.Т., Боровой А.А., Бузулуков Ю.П. и др. Некоторые аспекты послеаварийных работ в контролируемой зоне ЧАЭС. Первая международная рабочая группа по тяжелым авариям и их последствиям. — М., Наука, 1990. — С. 131–143.
8. Беляев С.Т., Бондаренко Л.Н., Боровой А.А. и др. Техника и методы изучения нейтронно-физических характеристик топливосодержащих масс 4-го энергоблока ЧАЭС. Препринт ИАЭ им. И.В. Курчатова № 5312/3. — М., 1991. — 24 с.
9. Borovoi A., Ivanov A., Sich A. Use of robotic technologies and remote systems for diagnostic and research within the Chernobyl Sarcophagus. Proceedings of ANS Fifth Topical Meeting on Robotics and Remote Systems, Knoxville, Tennessee, April 25–30, 1993, p. 211–216.
10. Анализ текущей безопасности объекта «Укрытие» и прогнозные оценки развития ситуации. Отчет МНТЦ «Укрытие». Отв. исполнитель Боровой А.А. Инв. № 216 от 06.09.96 г., Чернобыль. — 188 с.
11. Borovoi A., Bogatov S. Consequences of Chernobyl; a view ten years on. Advances in Nuclear Science and Technology, Vol. 25, Plenum Press, New York and London, 1997, p. 171–214.
12. Арутюнян Р.В., Большов Л.А., Богатов С.А., Боровой А.А., Велихов Е.П. и др. Проблемы объекта «Укрытие», Препринт ИБРАЭ № ИВРАЭ-2002-17, М., 2002 г. — 22 с.
13. Боровой А.А. Ядерное топливо в объекте «Укрытие». — Атомная энергия, 2006, т. 100, вып. 4. — С. 259–267.
14. Арутюнян Р.В., Большов Л.А., Боровой А.А., Велихов Е.П., Ключников А.А. Ядерное топливо в объекте «Укрытие» Чернобыльской АЭС. — М.: Наука, 2010. — 240 с.
15. Боровой А.А., Перфилов А.В. Использование специальных скважин для исследований на объекте «Укрытие» Чернобыльской АЭС. Препринт РНЦ «Курчатовский институт» ИАЭ-6620/3. Москва, 2010. — 33 с.
16. Абалин С.С., Боровой А.А., Перфилов А.В. Роботы на объекте «Укрытие» Чернобыльской АЭС. Препринт НИЦ «Курчатовский институт» ИАЭ-6684/3. Москва, 2011. — 44 с.

18. ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ОБЪЕКТА «УКРЫТИЕ». 1989–1997 гг.

18.1. Первое предложение КИ. Варианты преобразования (см. также [1])

Первое предложение по преобразованию объекта «Укрытие» в безопасное состояние относится к 1989 г.

К этому моменту собранная в результате исследований внутренних помещений и строительных конструкций информация показала, что «Укрытие» может представлять опасность для работающих на станции людей и окружающей среды, и эта опасность с течением времени возрастает.

В середине 1989 г. сотрудники КИ С.Т. Беляев и А.А. Боровой выдвинули концепцию особо долговременного и экологически безопасного захоронения топлива [2]¹. Она предлагала создание над существующим объектом герметичного «Укрытия-2», позволяющего полностью изолировать внешнюю среду от ТСМ внутри объекта. Одновременно «Укрытие-2» должно было служить надежной оболочкой, под которой можно было бы провести разборку объекта.

Авторы предложения обратились к Министру атомной энергетики и промышленности В.Ф. Коновалову с докладной запиской, в которой просили предварительную проработку различных вариантов преобразования поручить ВНИПИЭТ.

Министр дал соответствующее поручение.

На основании задания на проектирование, утвержденного 24.11.1989, ВНИПИЭТ подготовил к марту 1991 года ТЭО «Укрытие-2»

В документе рассматривалось несколько вариантов (см. рис. 1):

- **«Зеленая лужайка»** (полная разборка «Укрытия» и захоронение р/а материалов).
- **«Холм»** (полная засыпка объекта, превращение его в большой холм, а в далеком будущем его разборка).
- **«Промежуточное омоноличивание»** (последовательная заливка бетоном помещений объекта, а в далеком будущем его разборка).
- **«Арка»** (создание герметичного «Укрытия-2» над существующим объектом, обеспечивающего длительное хранение топлива, вплоть до его окончательной разборки).

Надо отметить, что к моменту создания ТЭО не были выявлены многие недостатки конструкции «Укрытия», обнаруженные позднее, а все скопления топливосодержащих масс (ТСМ) считались полностью ядерно-безопасными.

Хотя выполненная работа называлась «Технико-экономическое обоснование», но, по сути дела, она представляла собой не более чем первоначальные технические предложения, поскольку не была разработана сколько-нибудь убедительная система подсчета и сравнения дозовых и материальных затрат для различных вариантов преобразования.

¹Экологически безопасная система — экологическая подсистема (то есть составная часть природного кругооборота), состояние которой исключает угрозу ухудшения экологических условий и возникновения опасности для здоровья людей («Стратегия преобразования объекта «Укрытие» от 12.03.2001 г.).

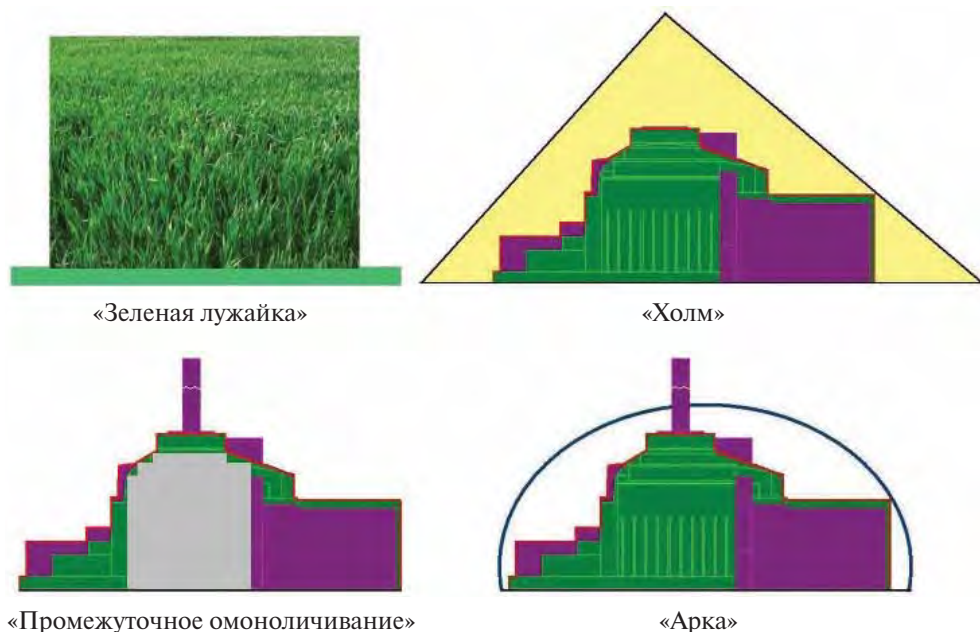


Рис. 1. Варианты преобразования «Укрытия», рассмотренные в работе ВНИПИЭТ

Первый вариант, *«Зеленая лужайка»*, не мог серьезно рассматриваться, так как каждая из последовательных стадий его выполнения — разборка объекта «Укрытие», извлечение РАО и ядерного топлива, вывоз и захоронение этих материалов не был (и не мог быть в это время) проработан в ТЭО даже на эскизном уровне.

Кроме того, вызывало недоумение само понятие — «Зеленая лужайка», существующая посередине сильно загрязненной чернобыльской зоны.

При осуществлении недорогого (на первый взгляд) варианта *«Холм»* контроль над состоянием почти двух сотен тонн ядерного топлива и тысяч тонн РАО был бы чрезвычайно сложен.

К тому же при ближайшем рассмотрении оказывалось невозможным засыпать 4-й блок и превратить его в «пирамиду» без остановки и вывода из эксплуатации работающего 3-го блока.

В результате авторы ТЭО высказывались в пользу варианта *«Промежуточное омоноличивание» (проект «Монолит»)*.

Надо сказать, что такая идея захоронения 4-го блока уже высказывалась при обсуждении этого вопроса в Минсредмаше в середине мая 1986 г. Тогда Министр — Е.П. Славский выступил с предложением забетонировать аварийный реактор и превратить весь четвертый блок в бетонный куб.

Однако против этого возражал директор «Курчатовского института» академик А.П. Александров, объяснивший, что продолжающееся тепловыделение топлива приведет к вскипанию находящейся в бетоне воды и разрушению конструкции.

Неудачный опыт подобного бетонирования к этому времени уже существовал.

Вот что вспоминали очевидцы: «... мы отвал блока залили бетоном, настояли тогда Легасов и Анатолий Петрович, что необходимо залить. Приехали на следующий день, а там фонтанчики – бетон кипит» [3].

Теперь же, по прошествии 4-х лет, остаточное тепловыделение топлива уменьшилось почти в 200 раз и этот эффект не мог столь сильно сказаться на разрушении бетона.

15 марта 1991 г. результаты работы ВНИПИЭТ обсуждались на Научно-техническом Совете Минсредмаша СССР.

Большинство выступавших, в том числе и Министр, поддержали вариант омоноличивания. И в решении Совета было записано: «Принять в качестве 1-го этапа для дальнейшей работы над проектом и практической реализации вариант «Промежуточного омоноличивания» и длительной консервации объекта «Укрытие».

Не все были согласны с этим решением. Ряд экспертов выступил как на Совете, так и после него, против скоропалительных действий в этой области (В.Г. Баряхтар, А.А. Боровой, Г.А. Готовчиц и др.). Их возражения против варианта «Промежуточное омоноличивание» были поддержаны КЭ, а позднее и регулирующими органами Украины.

Сводились они к следующему.

На первый взгляд, предложение заполнить бетоном существующее «Укрытие» и, обезопасив тем самым внешнюю среду от проникновения радиоактивности на 100 и более лет, значительно отодвинуть сроки разборки, кажется привлекательным по многим параметрам. В том числе по стоимости проведения работ, дозозатратам, надежности временного захоронения и т.п.

Однако более внимательное рассмотрение показывает, что при реализации проекта многие преимущества теряются.

Вот несколько примеров.

При омоноличивании огромные массы заливаемой в «Укрытие» «смеси» придут в соприкосновение с радиоактивными и топливосодержащими материалами, перемешаются с ними и во много раз увеличат количество РАО и ТСМ.

Такой подход противоречит основным документам МАГАТЭ.

В сформулированных этой организацией «*Принципах обращения с радиоактивными отходами*»² говорится.

Принцип 7. Контроль за появлением радиоактивных отходов.

Появление радиоактивных отходов должно сохраняться на минимально возможном уровне.

Далее. В проекте «Монолит» окончательное извлечение РАО и ТСМ предполагается предоставить будущим поколениям (мы не обсуждаем пока каких-то оценок этих сроков, однако ясно, что это многие десятки лет).

Снова обратимся к «Принципам обращения с радиоактивными отходами»

Принцип 5. Обременение будущих поколений.

Обращение с радиоактивными отходами должно выполняться таким образом, чтобы не налагать дополнительных трудностей на будущие поколения.

Таким образом, выбор варианта «Монолит» означает сознательное отступление от основополагающих документов по безопасности.

²Основы безопасности МАГАТЭ: принципы обращения с радиоактивными отходами (Safety Series, No III-F, публикация МАГАТЭ в рамках программы RADWASS).

При более детальном рассмотрении организации работ по этому проекту оказывается, что заполнение сотен помещений «Укрытия» бетоном потребует проведения значительных подготовительных работ не только на площадке, но и внутри самого объекта. Даже в целых, не имеющих серьезных повреждений помещениях заполнение «самотеком» вызовет образование объемных воздушных пузырей. Например, под потолком, если «смесь» вливается через дверь.

Пузыри опасны тем, что при заливании следующего этажа, при значительном увеличении нагрузки на перекрытия (часто поврежденных при аварии) могут произойти обрушения, сопровождающиеся выбросом и перемещением радиоактивности.

Можно вспомнить, что неконтролируемое бетонирование при создании опорных конструкций «Укрытия» в 1986 г. сопровождалось обрушением части разрушенных внутренних стен и потолков и ухудшением радиационной обстановки на площадке из-за выброса пыли.

Что бы избежать этого, скорее всего, пришлось бы бурить скважины в помещения и уже контролируемым образом заливать бетон и выпускать воздух. А бурение скважин в объекте связано с проведением большой дополнительной работы по дезактивации помещений для буровых станков, укреплению полов, монтажу оборудования и т.п.

До последнего времени (2012 г.) при рассмотрении проекта «Промежуточное омоноличивание» реалистичной оценки материальных и дозовых затрат, связанных с заполнением бетоном помещений, сделано не было.

Существуют и пессимистические предсказания относительно устойчивости фундамента блока при значительном увеличении нагрузки на него.

Поэтому без конкретной проработки технических и технологических проблем нельзя обсуждать этот проект и считать его более привлекательным по сравнению с другими более детально разработанными сценариями.

Что касается варианта «*Арка*», то после многочисленных (и многолетних) дискуссий именно он был выбран для реализации.

18.2. Стабилизация. Международный конкурс

Впервые об опасности объекта «Укрытие» и проектах по его преобразованию международная общественность детально узнала из доклада КИ на конгрессе «Ядерные аварии и будущее энергетики», проходившей в Париже в апреле 1991 г. [4].

В докладе, в частности, говорилось:

«С нашей точки зрения, было бы весьма желательным привлечь к обсуждению и решению проблем будущего «Саркофага» («Укрытия-2») ученых и инженеров различных специальностей, как в стране, так и за рубежом».

Это сообщение вызвало серьезный интерес. Уже в августе 1991 г. в КЭ в Чернобыль приехал заместитель Министра здравоохранения Франции профессор П. Пелерен (рис. 2). Его визит носил ознакомительный характер, но одновременно он передал в КИ и на ЧАЭС предложения крупнейшей французской компании «Буик» (Bouygues)³ по сотрудничеству в строительстве «Укрытия-2».

³Bouygues — одна из самых крупных строительных компаний в Европе.



Рис. 2. Профессор П. Пелерен (первый справа) обсуждает с руководством КЭ проект «Укрытия-2» (1991 г.)

Можно считать, что это были первые шаги на долгом пути, который через 7 лет привел к реальным результатам по преобразованию «Укрытия».

В 1991 г. Чернобыльская зона, ЧАЭС и объект «Укрытие» перешли под юрисдикцию Украины.

Украинское Правительство поддержало идею проведения Международного Конкурса на преобразование «Укрытие» в экологически безопасную систему.

Его организация была поручена Минчернобылю и Академии Наук Украины⁴.

Активное участие в подготовке Конкурса приняли и российские специалисты КИ, ВНИИПИЭТ, ИБРАЭ РАН, РИ и др. (см. [5]).

Еще до начала составления конкурсного задания КИ и МНТЦ выступили с совместным предложением обязательно включить в план проведения работ по преобразованию (при любых дальнейших действиях) стадию «Стабилизации существующего «Укрытия».

В направленных в Минчернобыль и на ЧАЭС документах [6] говорилось:

«Рассчитывать на возможность за короткий срок в 2, 3, даже 5 лет полностью преобразовать объект или изолировать его от внешней среды с помощью «Укрытия-2» представляется неоправданным оптимизмом. Даже не столько с технической точки зрения, как с финансовой, поскольку потребует затрат в сотни миллионов долларов.

Поэтому любой проект должен включать в себя некую стадию, которую можно назвать «стабилизацией».

⁴Постановление Кабинета министров Украины № 94 от 27 февраля 1992 г.

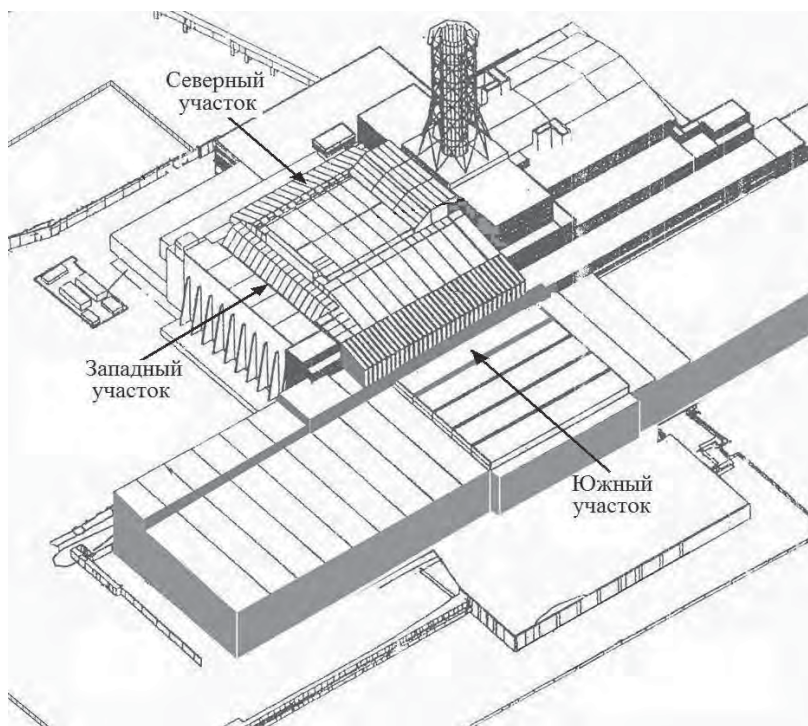


Рис. 3. Общий вид «Укрытия» с указанием трех предполагаемых участков стабилизации

Во время этой стадии принимаются меры по достаточно долгосрочной (для «Укрытия» ≥ 10 лет) стабилизации объекта и минимизации его влияния на окружающую среду.

Для «Укрытия» проведение этих мероприятий позволит безопасно и тщательно подготовить и провести преобразование объекта. Стоимость мероприятий по стабилизации на порядок меньше стоимости полного преобразования, а работы могут быть выполнены силами организаций Украины.

В случае проведения соответствующих работ по стабилизации не будет представлять опасности задержка с окончательным преобразованием, которая может произойти по самым различным причинам».

Далее приводилось описание необходимых (согласно представлениям 1992 г.) мер по стабилизации конструкций «Укрытия».

Наибольшую тревогу вызывали следующие конструкции.

На западном участке.

Хотя уже предпринимались меры по укреплению конструкций, находящихся с западной стороны «Укрытия» (см. Часть 2, Глава 11), но они оказались недостаточными для того, чтобы полностью обезопасить объект от разрушения при экстремальных сейсмических и ветровых воздействиях.

Речь шла о контрфорсной стене и стене по оси 50 (рис. 4), на которую опирались балки Б1 и Б2.

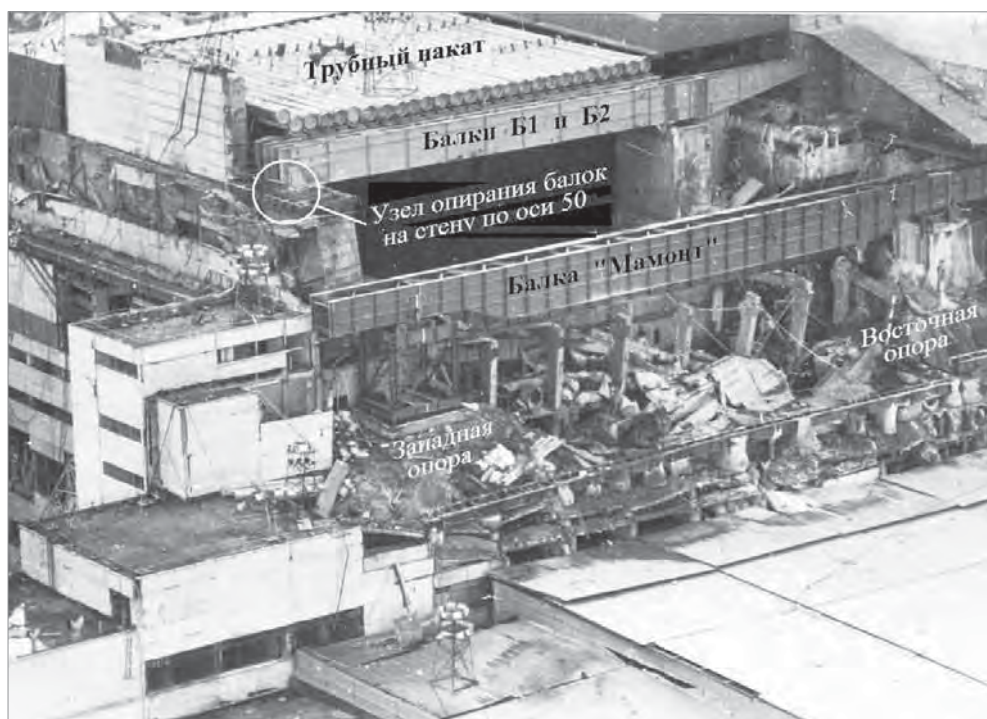


Рис. 4. Вид на конструкции «Укрытия» с юго-западной стороны, во время его строительства

На южном участке.

Здесь предлагалось продолжить работы, выполненные КЭ (см. Часть 2, Глава 11), и дополнительно укрепить западную и восточную опоры балки «Мамонт»⁵ и деаэрационную этажерку⁶ (рис. 4).

На северном участке.

Здесь укрепления требовала северная контрфорсная стена.

В результате положение о необходимости проведения стабилизации конструкций «Укрытия» была отражена в требованиях Международного Конкурса.

⁵Она поддерживает южные щиты — «клюшки», принимая на себя значительную часть их веса.

Ее собственный вес — 127 т, длина — 70 м, высота — 5.5 м, расстояние между опорами 54 м.

При сооружении опор из-за больших радиационных полей работа велась дистанционными методами. Это привело к ряду дефектов, которые могли сказаться при воздействии на конструкции экстремальных сейсмических нагрузок. Требовалось продолжить работы по стабилизации опор.

⁶Геодезические наблюдения указывали на то, что, несмотря на меры по укреплению, в железобетонных конструкциях ДЭ процесс деформации продолжается. В случае возникновения сейсмических нагрузок это могло привести к разрушению колонн и обрушению металлоконструкций южной части «Укрытия».

Сам конкурс был проведен в июне 1993 г.⁷

Председателем жюри был назначен Б.Е. Патон — президент Академии наук Украины.

К экспертизе конкурсных предложений были приглашены ведущие специалисты Украины, России, Беларуси, Англии и Бельгии.

От России в состав жюри (заместителем председателя) вошел академик С.Т. Беляев — директор отделения КИ, научный руководитель КЭ.

Условия конкурса предполагали, что участники могут присылать как проекты всего преобразования, так и отдельные идеи и предложения технических решений.

За время, на протяжении которого проходил прием конкурсных предложений под девизами, обеспечивающими анонимность авторов, оргкомитет получил 394 документа из Украины, России, Беларуси, Англии, Франции, Италии и Германии.

Диапазон содержания конкурсных предложений был достаточно широк: 13 предложений можно было отнести к категории «проектов», 76 — к техническим решениям, остальные были признаны техническими идеями.

По совокупности оценочных критериев, учитывающих специфику объекта «Укрытие», его безопасность, обращение с радиоактивными отходами, долговечность и надежность, стоимость и сроки реализации, 19 предложений были признаны лучшими.

По результатам открытого обсуждения, проходившего с 8 по 10 июня 1993 г., определились шесть проектов, в наибольшей степени отвечающие условиям и целям Конкурса.

17 июня 1993 г. конкурс был завершен.

Первую премию было решено не присуждать, поскольку ни один из проектов в полной мере не отвечал условиям конкурса.

По результатам тайного голосования лучшим проектом, удостоенным второй премии, был признан проект «**Resolution**» (авторский коллектив — консорциум, возглавляемый французской фирмой «Campenon Bernard SGE») (см. рис. 5).

Проекты, отмеченные поощрительными премиями, разместились в следующем порядке:

- «German proposal»;
- «Rainbow»;
- «British Entry »;
- «Монолит»;
- «Плутон».

Представления об идеях, выдвинутых в отобранных проектах (4-х из 6) и об оценках стоимости предложенных вариантов можно получить из таблицы 1.

Главным результатом Конкурса стала выработка стратегической линии преобразования.

Она должна была включать несколько этапов.

⁷Подробно о проведении Международного Конкурса см. [7].



Рис. 5. Разрез «Укрытия-2» (проект «Resolution»)

Таблица 1. Основные идеи и оценка стоимости реализации проектов

Название проекта	Основная идея проекта	Авторские оценки стоимости (US \$ миллионов)
«Resolution» – представлен французским консорциумом с участием украинских фирм (лидер – «Campeon Bernard SGE»).	Предлагалось построить «Укрытие-2» вокруг старого объекта, затем под его защитой провести разборку, кондиционирование и захоронение отходов.	Возведение «Укрытия-2» – 200÷300. Разборка «Укрытия» и обращение с РАО – 1500
«Rainbow» – представлен объединением французских и украинских фирм (лидер – Bouygue).	Предлагалось надвинуть на старое «Укрытие-2», новое бетонное – «Укрытие-2», весящее 250 тысяч тонн. Затем под его защитой провести разборку, кондиционирование и захоронение отходов.	«Надвижение» – 200–300. Разборка «Укрытия» и захоронение РАО – 1500÷2000
«British Entry» – представлен британским консорциумом с участием украинских фирм (лидер – AEA Technology).	Предлагалось надвинуть на старое «Укрытие» металлическую арку – «Укрытие-2», существенно более легкую, чем бетонная арка (см. предыдущий пункт). Затем под его защитой провести разборку, кондиционирование и захоронение отходов.	Арка + «Надвижение» – 100. Разборка «Укрытия» и захоронение РАО – 1500÷2000
«Монолит» – представлен российскими и украинскими институтами (лидер – ВНИИПИЭТ).	Предлагалось залить помещения «Укрытия» бетоном. Осуществление проекта должно было превратить объект в сплошной бетонный куб, который мог бы простоять сотни лет	Заливка – 300

1. Исследование состояния объекта «Укрытие» и мониторинг окружающей среды.

2. Информационное обеспечение общественности о состоянии объекта «Укрытие» и окружающей его территории.

3. Стабилизация состояния объекта «Укрытие»⁸.

4. Сооружение нового защитного сооружения вокруг объекта «Укрытие» («Укрытие-2»).

5. Сооружение приповерхностных хранилищ радиоактивных отходов.

6. Создание технологического участка по сортировке и переработке РАО.

7. Извлечение, кондиционирование и складирование в хранилищах радиоактивных материалов, находящихся внутри «Укрытия-2».

Конкурс еще раз позволил оценить порядок стоимости работ по преобразованию «Укрытия». Финансовые затраты должны были составлять многие сотни миллионов долларов. Стало очевидным, что без помощи всего международного сообщества выполнить эти работы не представляется возможным.

18.3. После проведения Международного Конкурса

В декабре 1993 года Альберт Гор посетил Россию в качестве вице-президента США с официальным визитом. Во время одной из встреч руководитель КИ познакомил его с проблемами «Укрытия» и по просьбе вице-президента передал ему памятную записку, в которой содержалась просьба помочь в реализации преобразования объекта (рис. 6).

Через некоторое время в Вашингтон был вызван представитель КИ, который подробно рассказал о состоянии «Укрытия» на встречах в Белом доме, Государственном Департаменте и в Комитете по ядерному регулированию (NRC).

Обсуждались возможности участия США в работах по преобразованию и создание специального международного Фонда для финансирования работ.

Надо сказать, что и в дальнейшем с российской стороны делались постоянные шаги по привлечению внимания международной общественности к вопросу о безопасности «Укрытия».

Но, безусловно, главную роль в решении проблемы преобразования объекта сыграла последовательная и настойчивая политика Президента Украины и украинского Правительства⁹.

Очень кратко мы остановимся на дальнейших этапах (см. рис. 7), которые были пройдены на пути к созданию детального плана работ по преобразованию «Укрытия» (с ними можно ознакомиться на сайте ГСП «Чернобыльская АЭС», по работам [7–8] и многим другим).

⁸Отметим, что идея необходимости стабилизации выдвинутая КИ и МНТЦ подтверждалась решениями Международного конкурса и окончательно оформилась в «Основных мероприятиях по безопасности объекта «Укрытие» — документе, принятом на Правительственном уровне в 1995 г.

⁹Здесь нельзя не отметить и огромную работу, проведенную с зарубежными экспертами специалистами ЧАЭС во главе с руководителем объекта «Укрытие» в 1995–2002 гг. В.И. Купным.

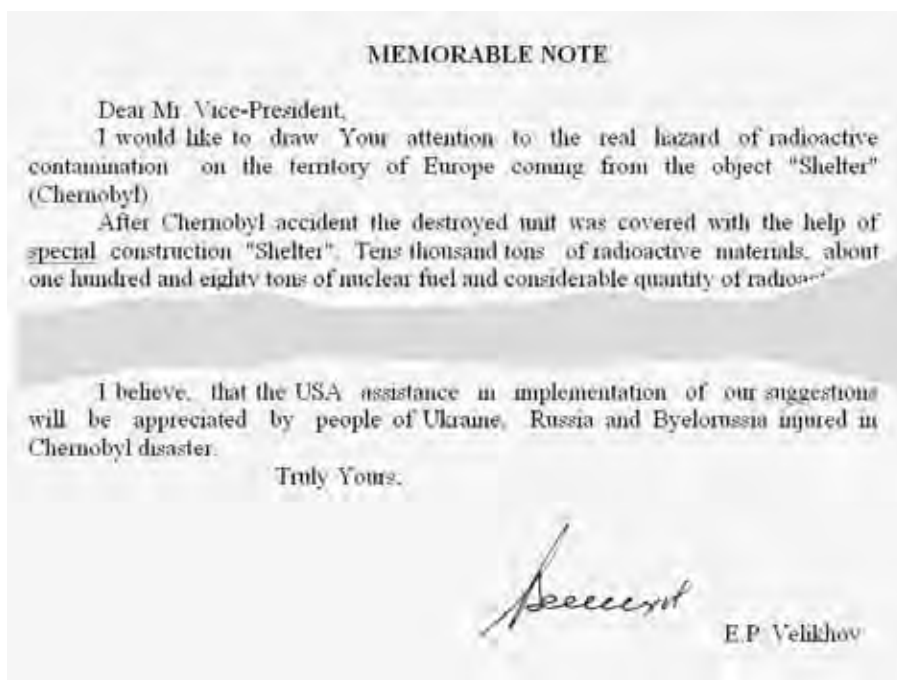


Рис. 6. Первая и последняя страницы памятной записки о необходимости преобразования объекта «Укрытие», переданной вице-президенту США А. Горы



Рис. 7. Этапы выработки детального плана по преобразованию объекта «Укрытие»

После проведения Международного Конкурса стало очевидным, что прежде, чем договариваться о финансовой и технической помощи, требуется дальнейшее уточнение и детализация многих вопросов, связанных с преобразованием «Укрытия».

Кроме того, международное сообщество хотело узнать мнение независимых западных экспертов по ситуации с безопасностью этого объекта.

Поэтому весной 1994 г. первым департаментом Европейского Сообщества был объявлен тендер на разработку ТЭО преобразования объекта «Укрытие», а осенью — заключен контракт с консорциумом «Alliance» во главе с фирмой «Campenon Bernard SGE», призером Международного Конкурса¹⁰.

В состав консорциума входили следующие известные европейские компании:

- AEA Technology (Англия),
- Bouygue (Франция),
- SGN (Франция),
- Tavud Engineering (Англия),
- Walter Bau (Германия).

Активно сотрудничал с консорциумом и «Курчатовский институт»¹¹.

В 1995 г. работа была завершена.

На главный из поставленных вопросов, о том надо ли принимать какие-либо меры по преобразованию «Укрытия» или пока можно подождать, был дан однозначный ответ — существующий объект не может считаться стабильным и безопасным.

Меры по его преобразованию надо принимать максимально быстро.

Необходимо строительство новой защитной оболочки, которая позволит осуществить демонтаж четвертого блока.

В качестве такой оболочки «Alliance» предлагал конструкцию из бетонных стен и арочного перекрытия. На основании предлагаемых технических решений делался вывод и о том, что стоимость преобразования «Укрытия» составит ~1.3 миллиарда долларов (с учетом стоимости извлечения ТСМ и РАО).

А отсюда еще раз следовало то, что Украина не сможет самостоятельно обеспечить финансирование подобного проекта. Более того международное сообщество также было не готово сразу выделить столь значительную помощь.

После проведения консультаций стал ясен дальнейший реальный путь — определить сначала первоочередные (краткосрочные) мероприятия, которые могли бы гарантировать долговременную безопасность «Укрытия» и приступить к их реализации. Отложив пока завершение работ по окончательному преобразованию объекта в экологически безопасную систему (путь, который с самого начала рассматривался в предложении КИ).

В сентябре 1995 г. состоялось заседание Европейской Комиссии при участии делегации Украины, на котором было решено, что Европейская Комиссия заключает с консорциумом «Alliance» и фирмой «Trischler und

¹⁰Заказчиком выступила Европейская Комиссия, которая выделила на финансирование технико-экономического обоснования 3,0 млн экю в рамках программы TACIS для оказания технической помощи Украине.

¹¹Среди украинских организаций, сотрудничавших с «Alliance»: Национальная академия наук, Минчернобыль, Госкоматом, «Союз строителей Украины», МНТЦ и др.

Partner GmbH» контракт на разработку первоочередных мероприятий¹². В результате в ноябре 1996 г. появился документ — «Краткосрочные и долгосрочные мероприятия» («Мероприятия 2+4») (см. рис. 7).

В нем краткосрочными мерами названы те, которые необходимо осуществить в кратчайшие сроки с целью снижения риска и установления контроля над радиоактивными материалами в «Укрытии».

Долгосрочные меры в сочетании с краткосрочными должны позволить преобразовать 4 блок в экологически безопасный объект с учетом экономической оптимизации.

Документ предусматривал три основных фазы преобразования.

- **Фаза 1. Стабилизация и другие краткосрочные мероприятия.**
- **Фаза 2. Подготовка к преобразованию в экологически безопасную систему (сооружение «Укрытия-2»).**
- **Фаза 3. Преобразование в экологически безопасную систему (извлечение и захоронение ТСМ и РАО).**

При этом третья фаза относилась к долгосрочным мероприятиям.

Одно, как нам представляется, существенное замечание.

Все перечисленные выше документы международных экспертов целиком основывались на работах, выполненных российскими и украинскими организациями на «Укрытии».

И все время, пока они готовились и обсуждались, эти работы продолжались.

Так, в ходе исследований, которые проводились специалистами МНТЦ, КИ, ряда других организаций при постоянном участии работников ЧАЭС, в 1994–1997 гг. был получен большой объем новой информации. Она касалась состояния ТСМ и строительных конструкций «Укрытия», динамики ядерной и радиационной безопасности объекта, его влияния на окружающую среду, усовершенствования диагностических систем, новых методов проведения измерений.

Определяющее значение для дальнейших работ на объекте имел выпущенный МНТЦ и КИ летом 1996 г. и утвержденный ЧАЭС отчет — «Анализ текущей безопасности объекта «Укрытие» и прогнозные оценки развития ситуации» [9] (см. Часть 1, Глава 8 и рис. 8)¹³.

В нем не только суммировались результаты десятилетней работы всех организаций, но, что очень важно, впервые делались экспертные оценки риска различных аварий на «Укрытии» (пожар, обрушение кровли, ядерный инцидент и т.п.), рассчитывались возможные последствия этих аварий и рекомендовались контрмеры.

«Анализ...» стал необходимым документом для выдачи ЧАЭС лицензии на осуществление масштабных работ по преобразованию объекта в безопасное состояние.

Он послужил основой для разработки «Стратегии преобразования объекта «Укрытие», утвержденной Правительственной комиссией по вопросам комплексного решения проблем Чернобыльской АЭС (Протокол № 5 от 18 апреля 1997 г.).

¹²В рамках проекта TACIS «Чернобыльский блок 4».

¹³См. также [10, 11].

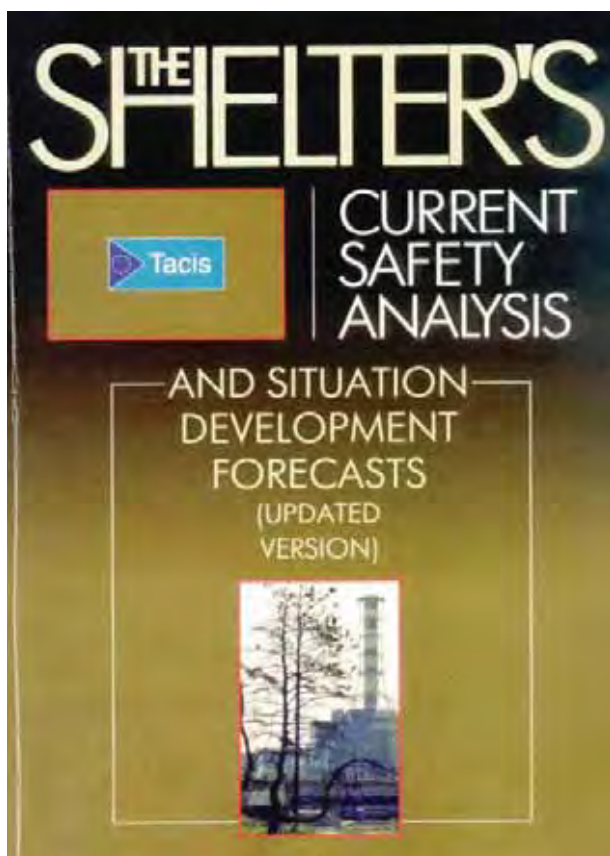


Рис. 8. «Анализ...», перевод на английский, издание 1998 г.

В то же время отчет консорциума по проекту «Краткосрочные и долгосрочные мероприятия» обнаруживал, что его авторы не использовали многие результаты, полученные МНТЦ и КИ (в особенности за 1994–1996 гг.).

Например, те, в которых проблемы стабилизации были проработаны глубже и конкретнее, чем это сделано в отчете.

Сказанное касается и обращения с радиоактивной пылью, с водой, попадающей в «Укрытие», организации мониторинга, обращения с РАО и целого ряда других проблем, которые должны были возникнуть в процессе преобразования «Укрытия». А они уже были обозначены в документах «Концепция и программа проведения работ на объекте «Укрытие» (КИ и МНТЦ 1995 г.) и, главное, в «Анализе...» (КИ и МНТЦ 1996 г.) и др.

К сожалению, такой подход положил начало тому, что и в дальнейшей работе по плану SIP часто не использовались или использовались далеко не в полной мере (и с запозданием) результаты, уже полученные КИ и МНТЦ, не привлекались в достаточной мере специалисты «Курчатовского института», проработавшие много лет на «Укрытии».

Это явилось одной из причин постоянного «повторения уже пройденного», замедления и пробуксовывания работы, отставания ее по срокам и удорожания.

18.4. Shelter Implementation Plan (План осуществления мероприятий на объекте «Укрытие»)

На заключительном этапе работы по подготовке документов о преобразовании «Укрытия» в результате взаимодействия Комиссии Европейского Содружества, Украины, США и групп международных экспертов в 1997 году был выпущен «План осуществления мероприятий на объекте «Укрытие» (SIP) [12–14] (рис. 7 и 9).

Вот, что пишет В.И. Купный:

«В феврале 97-го был принят документ по Рекомендуемому курсу действий, а 31 мая 1997 года появился SIP. Между этими двумя документами прошло всего почти три месяца. Почему так мало? Потому что работа над SIP велась параллельно с работой над краткосрочными и долгосрочными мероприятиями. Они взаимопроникающие, взаимосвязанные. Работая над краткосрочными мероприятиями, создавался и объем SIP. Фактически можно сказать, что на подготовку SIP ушел год. С мая 96-го по май 97 г.» [8].

В июне 1997 г. на встрече стран Большой семерки в г. Денвере (Канада) SIP был окончательно согласован и утвержден.

В ноябре 1997 г. в Нью-Йорке состоялась конференция стран-доноров, которые взяли обязательства по выделению средств на реализацию данного плана в специально созданный Чернобыльский Фонд «Укрытие» (ЧФУ).

Управление Фондом было поручено Европейскому Банку Реконструкции и Развития (ЕБРР). На конференции было подписано соглашение между Украиной и ЕБРР о деятельности Фонда — «Рамочное соглашение между Украиной и ЕБРР относительно деятельности Чернобыльского Фонда «Укрытие».

В окончательный вариант SIP вошли 22 задачи (см. рис. 10), из которых 19 краткосрочных предусматривают сбор и анализ информации, мероприятия по стабилизации разрушенных конструкций и элементов Укрытия, меры по повышению ядерной и радиационной безопасности.

Остальные задачи являются долгосрочными и предусматривают разработку стратегии и технологии удаления ТСМ, а также разработку стратегии и осуществление модернизации действующего Укрытия, с целью превращения его



Рис. 9. Первая страница проекта Shelter Implementation Plan

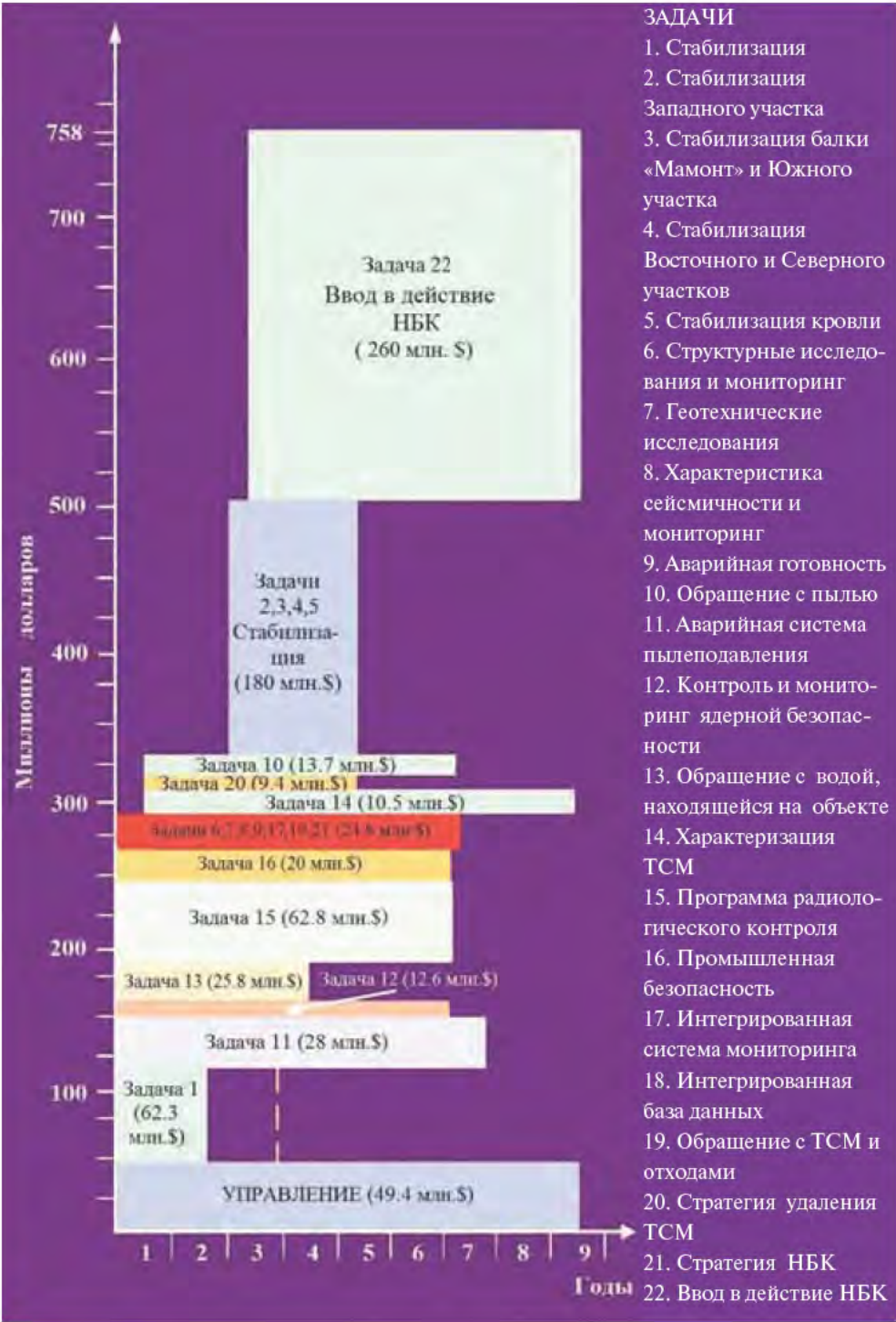


Рис. 10. Диаграмма выполнения задач SIP и их стоимость¹⁴ [14]

¹⁴В диаграмме округлена стоимость задач (в дальнейшем она часто менялась).

в стабильный и экологически безопасный объект, который в дальнейшем позволил бы выполнить работы по разборке разрушенного реактора и удалению радиоактивных и топливосодержащих материалов.

Таким образом, действия по задачам SIP планировались в основном в рамках 1, 3 и 4 этапов, намеченных решениями Международного конкурса (см. выше).

В техническом задании на SIP основные проекты были сгруппированы в 4 пакета.

- **Пакет А.** *«Стабилизация и конфайнмент. Гражданское строительство».*
- **Пакет В.** *«Эксплуатация и Мониторинг» (Сейсмология, радиационная защита, общетехническая и пожарная безопасность, комплексная система мониторинга, интегрированная база данных).*
- **Пакет С.** *«Аварийные системы» (Программа аварийной готовности, система аварийного пылеподавления, ядерная безопасность, обращение с пылью, обращение водой).*
- **Пакет D.** *«Топливосодержащие материалы» (Описание ТСМ. Стратегия обращения с ТСМ и РАО. Разработка технологии извлечения ТСМ).*

Для руководства всем проектом была бы создана Группа управления (ГУП)¹⁵. После проведения тендерных процедур из 11 участвовавших фирм для ГУП был выбран консорциум, состоящий из трех фирм. Это — американские компании «Bechtel» и «Bettelle» и французская «EDF».

На рис. 10 приведена диаграмма запланированных работ по SIP, их стоимость и время выполнения, взятая из работы [14]. Из нее следует, что срок реализации работ по SIP первоначально определялся до 9 лет (т.е. до 2007 г.).

Стоимость всех запланированных работ оценивалась в 758 миллионов долларов США.

Несмотря на очень большую работу, выполненную при подготовке SIP, и многих его несомненных достоинствах уже с первых дней претворения плана в жизнь стали видны его недостатки, о которых частично говорилось выше.

Вот что тогда писал один из ведущих украинских ученых:

«Сейчас ясно, что Украина могла в момент одобрения SIP предложить частично покрыть свой вклад имеющимися материалами по Укрытию, что послужило бы базой новым документами, а не повторением уже ряда выполненных работ.

Но трудность осуществления проекта проявилась вначале из-за нашего незнания менталитета зарубежного подрядчика — каждый из них считает, что до него никто ничего не делал, а если и делал, то он сделает это лучше, и с самого начала. Стало преобладать желание «съесть» отведенные деньги самому, а в этом случае не нужны дополнительные умы и дополнительные данные...

«Святой отец» для подрядчика — заказчик (ЧАЭС и Энергоатом), которых обязаны слушать, не действовал в желаемом направлении, не требовал подключения специалистов, использования имеющихся данных. Первый грант с Банком для первоочередных проектов был составлен неудачно — оплата по нему производилась по представлению документов, без указания времени, характера и содержания документа, без ряда ключевых требований к качеству».

¹⁵ГУП осуществляет управление графиком, объемами работ, бюджетом проекта, управление изменениями непосредственно в проекте, управление строительными работами и административное управление контрактами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Боровой А.А., Велихов Е.П. К 25-летию аварии на Чернобыльской АЭС. Работы «Курчатовского института» по ликвидации последствий аварии. НИЦ «Курчатовский институт», Москва, 2011. – 129 с.
2. Беляев С.Т., Боровой А.А. О преобразовании объекта «Укрытие». Отчет ИАЭ им. И.В. Курчатова № 57-05/110 от 29.09.89 г., 5 с.
3. Велихов Е. и Письменный В. О Чернобыле, 20 лет спустя. <http://trv.trovant.ru/arhiv/707/trv-707.pdf>.
4. Беляев С.Т., Боровой А.А., Бузулуков Ю.Г. Работы на площадке ЧАЭС. Настоящее и будущее «Саркофага». Доклад на международном конгрессе «Ядерные аварии и будущее энергетики. Уроки, вынесенные из Чернобыльской аварии». (Париж, 15–17 апреля 1991 года).
5. Описание объекта «Укрытие» и требования к его преобразованию. Минчернобыль Украины, Академия Наук Украины. Киев: Наукова думка, 1992. – 50 с.
6. Служебная записка, направленная Министру Минчернобыля Готовчицу Г.А. и Генеральному директору ПО ЧАЭС Сорокину Н.М., 2 апреля 1993 г.
7. Купный В.И. «Укрытие-2». Патовая ситуация сегодня, что делать завтра. <http://pripyat.com/articles/valentin-kupnyi-ukrytie-2-patovaya-situatsiya-segodnya-chto-delat-zavtra-ch1.html>.
8. Купный В.И. Что нам делать с Укрытием? http://www.antiatom.ru/2008_10-22.php.
9. Анализ текущей безопасности объекта «Укрытие» и прогнозные оценки развития ситуации. Отв. Исполнитель Боровой А.А. Отчет МНТЦ «Укрытие», № 3601, Чернобыль, 1996. – 272 с.
10. Боровой А.А., Ключников А.А., Щербин В.Н. Проблемы безопасности объекта «Укрытие». В сборнике «Объект «Укрытие» – 10 лет», основные результаты научных исследований, Национальная Академия Наук Украины, Чернобыль, 1996. – С. 7–22.
11. Borovoi A.A. Chernobyl Sarcophagus: Safety Problems. IAEA International forum «One decade after Chernobyl: nuclear safety aspects», Vienna, April 1–3, 1996, IAEA-J4-TC972, Working Material, p. 265–286.
12. Tasic. Chernobyl Unit 4- Shelter Impelmentation Plan, 1997.
13. SIP. Цель, задачи, структура. http://www.chnpp.gov.ua/index.php?option=com_content&view=article&id=40&Itemid=42&lang=ru.
14. Shelter implementation plan <http://chernobyl.undp.org/russian/docs/shelter.pdf>.

19. РАБОТА КИ НАД ПРОБЛЕМАМИ «УКРЫТИЯ» В КОНЦЕ ДЕВЯНОСТЫХ – НАЧАЛЕ ДВУХТЫСЯЧНЫХ ГОДОВ

19.1. Регламентные работы и работы по подготовке к преобразованию «Укрытия»

В годы, когда решался вопрос о международном сотрудничестве при преобразовании «Укрытия» и начали разворачиваться работы по SIP, сотрудники КИ, работавшие над проблемами «Укрытия» в Чернобыле (в составе ОЯРБ МНТЦ) и на московской площадке, продолжали проводить исследования, которые можно разделить на два типа.

К первому из них относились постоянные наблюдения за динамикой процессов, уже изучавшихся ранее и связанных с проблемами ядерной и радиационной безопасности объекта. Это — так называемые регламентные работы.

На рис. 1 представлены примеры таких регламентных работ, проводимых внутри и вне объекта. Они подробно описаны в предыдущих разделах этой книги.

Для примера объема выполнявшихся в ОЯРБ МНТЦ регламентных работ в таблице 1 приведены данные о числе проб воды и воздуха, отобранных и проанализированных в 1997–2000 гг.

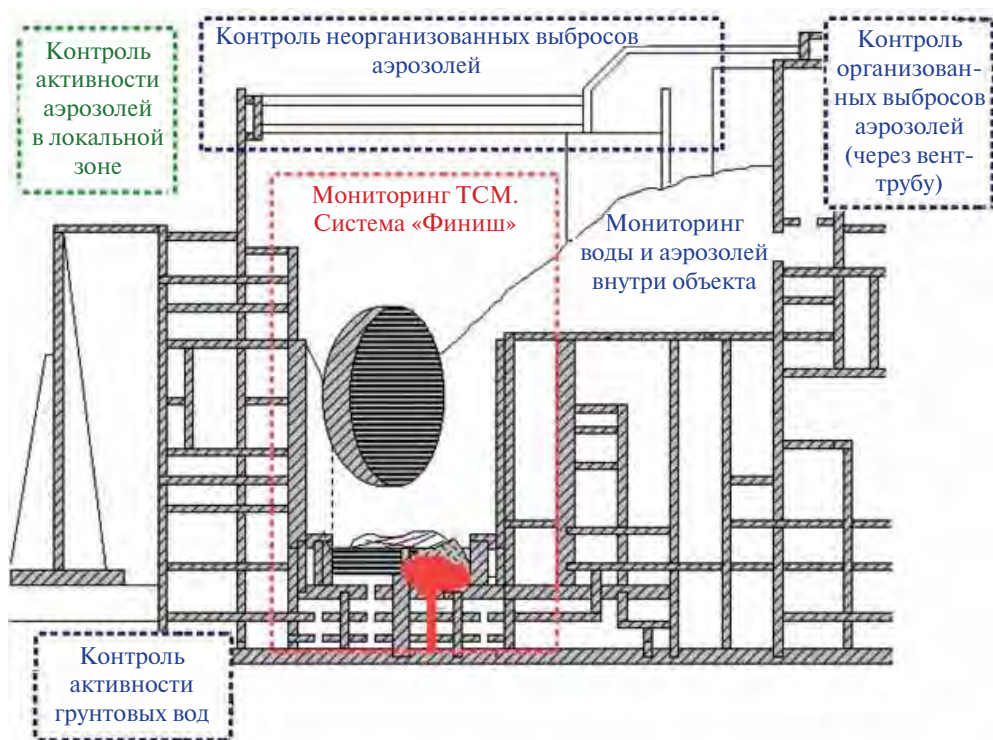


Рис. 1. Системы контроля состояния «Укрытия», созданные КИ и ОЯРБ МНТЦ

**Таблица 1. Число проб, исследованных в 1997–2000 гг. в ОЯРБ МНТЦ
в рамках некоторых регламентных работ**

Год	Предмет исследований			
	Вода из помещений «Укрытия»	Грунтовая вода в локальной зоне «Укрытия»	Воздух в локальной зоне «Укрытия»	Неорганизованный выброс аэрозолей
1997	170	174	71	144
1998	102	156	84	139
1999	157	133	63	132
2000	132	144	72	124

Общим выводом из проведенных наблюдений было то, что значения измеряемых параметров не превышали установленные контрольные уровни.

Ко второму направлению относились работы, выполнявшиеся по специальным программам и направленные на дальнейшее, более глубокое, изучение процессов, происходящих в «Укрытии» и подготовку к его преобразованию.

Удельный вклад последних работ постепенно возрастал.

Важнейшей их составляющей стал новый цикл изучения ТСМ, проведенный в конце 90-х годов.

К этому времени бурение скважин внутри объекта было практически прекращено. Однако продолжалась работа разведывательных групп и накапливалась информация от систем контроля и диагностики ТСМ. Проводились многочисленные анализы проб.

В этот период сотрудниками ОЯРБ были предложены новые методы оценки количества ЛТСМ в нижних помещениях «Укрытия» — по выбросу радиоактивного цезия и по химическому составу лавы (подробнее см. Часть 1, разделы 7 и 8 настоящей работы а также работы [1, 2] и ссылки в них).

Ряд объективных и субъективных причин (остывание ТСМ, обнаружение новых композиций топлива и т.п.) заставил вернуться к вопросам ядерной безопасности «Укрытия» и пересмотреть их, что и было сделано в «Анализе...» (см. Часть 1, раздел 8.3.4).

С 1997 г. начались комплексные исследования радиоактивной пыли и аэрозолей на верхних этажах объекта (рис. 2). (См. Часть 2, раздел 12.3.3).

Позднее была модернизирована система пылеподавления, позволяющая максимальным образом снизить опасность выброса (см. Часть 2, раздел 12.2.3).

В 1997 г. начаты работы по подробному изучению ТСМ в пом. 305/2 (см. Часть 1, раздел 7.3.2 и рис. 21, 22).

В 1998 г. выполнен анализ всех имевшихся данных по количеству и расположению топливных масс в помещении 304/3 [3]. Отобраны и исследованы десятки новых проб черной керамики, находящейся в этом помещении (рис. 4). (См. Часть 1, раздел 7.3.2, рис. 23.)

В 1999 г. аналогичная работа была проведена для нижних отметок «Укрытия» (0.00 м, 3.00 м и 6.00 м) [4]. См. рис. 5, 6. (См. Часть 1, раздел 7.3.2, рис. 25–32.)

С самого начала работ по SIP руководство КИ стремилось всеми возможными способами помочь их выполнению. К ГУП прикомандировывались научные сотрудники «Курчатовского института», имеющие большой опыт работ на «Укрытии», им передавались самые последние материалы исследований и расчетов.



Рис. 2. Исследование р/а пыли на кровле «Укрытия» (руководитель работы С.А. Богатов)



Рис. 3. Разрушенное топливо в пом. 305/2



Рис. 4. Отбор проб в пом. 304/3 (руководитель работы Э.М. Пазухин)



Рис. 5. Измерения радиационных полей и отбор проб в ББ-1



Рис. 6. Лаз в ББ

19.2. Создание базы данных по ТСМ, находящихся в «Укрытии»

В конце 90-х стало ясно, что важнейшая для безопасности «Укрытия» и его преобразования информация по расположению и целому ряду физико-химических свойств ТСМ, полученная за многолетний период исследований (в том числе и за последние годы), нуждается в дополнительном анализе, структуризации, организованном хранении и представлении.

Необходимо было разработать и наполнить информацией базу данных по ТСМ.

Работа была выполнена в КИ в рамках осуществления программы «Франко-Германская инициатива для Чернобыля» [5–8].

Программа предусматривала финансирование со стороны Франции и Германии трех больших проектов.

Проект 1. Безопасность «Саркофага» (объекта «Укрытие»).

Проект 2. Изучение радиоэкологических последствий аварии.

Проект 3. Воздействие на здоровье людей.

По поручению своих Правительств немецкая организация GRS и французский институт IRSN организовали поддержку украинских, российских и белорусских организаций, выполняющих отдельные направления по этим проектам. Работы проводилась при участии «Чернобыльского центра по вопросам ядерной безопасности, радиоактивным отходам и радиоэкологии».

Цель Проекта 1 «Безопасность «Саркофага» состояла в сборе, анализе, структурировании и верификации всех существующих данных, которые характеризуют состояние безопасности объекта «Укрытие», а также создания базы данных с использованием современных технологий.

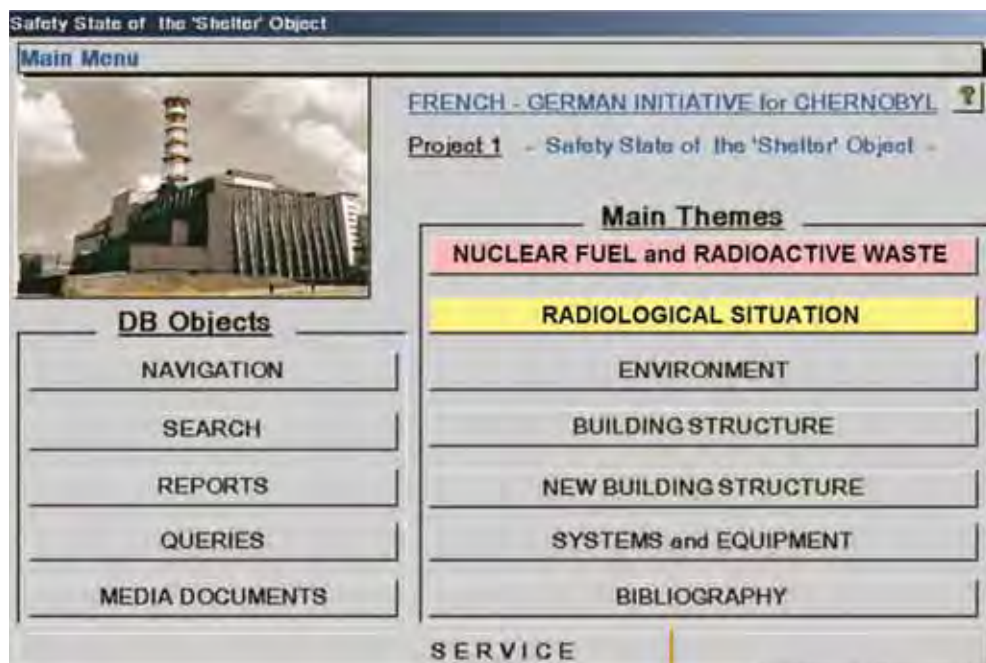


Рис. 7. Проект 1. Главное окно первого варианта базы данных (английский вариант). Раздел «Ядерное топливо и радиоактивные отходы», разработанный в КИ, выделен розовым цветом. Раздел «Радиационная обстановка в «Укрытии» («Радиологическая ситуация»), в создании которого также участвовали специалисты КИ – желтым

Он начал осуществляться с 1998 г. и был завершен субподрядчиками в трех-летний срок.

За наполнение информацией раздела базы данных – «Ядерное топливо и радиоактивные отходы» отвечал «Курчатовский институт». Одновременно он участвовал в создании раздела «Радиационная обстановка в «Укрытии» (см. рис. 7).

Оболочка БД для этого раздела разрабатывалась украинской фирмой ЕСОММ (при постоянных контактах с КИ и GRS).

Ниже мы остановимся на ее первом варианте [5, 7], поскольку на таком примере легче познакомиться с характером информации, помещенной в базу.

В КИ работа над базой началась с просмотра и отбора материалов.

Была изучена информация, которая находилась в библиотеках и архивах «Курчатовского института», ЧАЭС, МНТЦ «Укрытие», «Радиового института», ИБРАЭ РАН, ВНИПИЭТ, НИКИМТ, НИКИЭТ, ИИИ НАНУ и ряда других учреждений, а также у физических лиц.

Часть данных содержалась на бумажных носителях – в рабочих журналах, справках, актах, отчетах, статьях и фотоснимках. Часть информации находилась на электронных носителях (в том числе и на многочисленных видеофильмах).

Общее число просмотренных при подготовке материалов превысило 600 единиц. Из них были выбраны около 100 основных источников информации для внесения в каталог и дальнейшего использования.

Была разработана и предложена система ключевых слов для проведения поиска информации по базе.

Собранная из самых разных источников информация обладала различной полнотой и достоверностью. Поэтому перед занесением в базу она подвергалась тщательной проверке и верификации.

Основную информацию о состоянии ТСМ дают анализы отобранных проб. Здесь приходилось проверять все этапы работы:

- представительность и правильность (например, привязка к координатам) проведения пробоотбора;
- использованные методы при анализе проб;
- правильность обработки результатов измерений.

Особо учитывалось то обстоятельство, что в 1986–90 гг. выполнение анализов и обработка результатов часто проводились одновременно с доработкой и отладкой методик, аппаратуры, алгоритмов программного обеспечения и т.п.

К тому же многие работы проводились силами специалистов, откомандированных в Чернобыль на срок один-два месяца, не всегда обладающих необходимой квалификацией и опытом.

Крайне сжатые сроки, большие объемы работ и отсутствие на первых порах жесткой системы контроля за полученными данными часто приводили к появлению ошибок.

Для отбраковки неверных данных были разработаны специальные критерии.

Так все данные радиохимических анализов ЛТСМ были подвергнуты верификации. Критерии отбора были получены на основании опыта почти 15-летних исследований ТСМ в объекте «Укрытие».

Например, выгорание топлива для основной массы проб составляло в среднем 12,5 МВт·сут/кг U (см. Часть 1, раздел 7.12). В то же время для нескольких проб имело место значительное превышение этого значения (вплоть до 20 МВт·сут/кг U). При детальном анализе обнаружили возможные погрешности в методах измерения, и эти пробы не вошли в основной массив базы, а были отнесены в раздел малодостоверных результатов (также представленный в базе).

Такой же отбор был проведен и по другим параметрам:

- по обеднению цезием — в подавляющем большинстве проб оно составляло от 2,2 до 2,5 раз по сравнению с его расчетным количеством и не зависело от типа керамики;
- по валовому содержанию урана;
- цезиевому отношению ($^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$);
- кюриевому отношению ($^{242}\text{Cm}/^{244}\text{Cm}$) и т.п.

19.2. Структура базы данных

Структура раздела БД «Ядерное топливо...» построена таким образом, что центральным ее элементом стало «скопление ТСМ» (рис. 8).

Элементы верхнего уровня — строительная отметка объекта «Укрытия», затем — помещение, его описание и состояние после аварии (в том числе текстовая и иллюстративная информация).

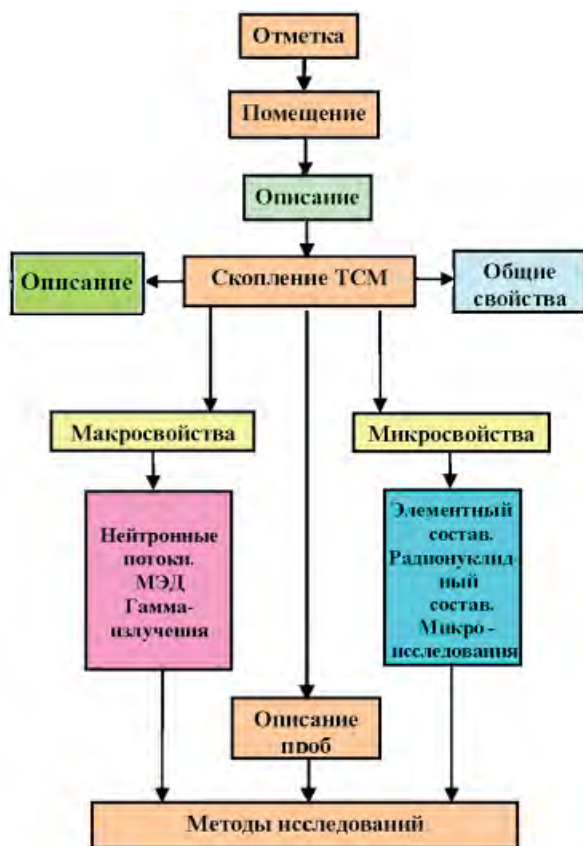


Рис. 8. Структура раздела базы данных «Ядерное топливо...»

Иногда в помещении находится одно скопление, чаще — несколько, например, для пом. 305/2 выделяют 7 отдельных скоплений, в том числе коричневой керамики, черной, фрагментов активной зоны и т.п.

Элементы нижнего уровня связаны с характеристиками выбранного скопления ТСМ — его макро- и микросвойствами.

При описании макросвойств приводятся такие данные как: общий вид ТСМ (описание, фотографии, схемы), размеры скопления, его объем, среднее содержание ядерного топлива, средняя плотность, состояние поверхности. Интегральные радиационные характеристики — мощность дозы в нескольких точках на поверхности скопления и на определенном расстоянии от него, величины нейтронных потоков вблизи скопления.

Даны схемы расположения точек измерений и текстовые файлы с описанием условий измерений. Текст сопровождается иллюстративными материалами.

Описание микросвойств содержат данные по координатам точек отбора проб, их элементному и радионуклидному составу и результаты структурно-минералогического микроанализа образцов ТСМ.

Здесь текст также сопровождается иллюстративными материалами.

База позволяет пользователю обращаться как к усредненным свойствам скопления, так и непосредственно к экспериментальному материалу — дан-

ным измерений гамма и нейтронных полей и к анализам проб, отобранных в различных точках.

В разделе, относящемся собственно к пробам, помещен их список (для выбранного скопления ТСМ) и состав каждой из них — элементный и радионуклидный.

Вот некоторые статистические данные, характеризующие базу данных, как источник информации.

- *Общее количество описанных скоплений топливосодержащих материалов* — 97.
- *Количество данных по общим свойствам ТСМ (микро- свойства и макросвойства)* — 965.
- *Количество данных по элементному и радионуклидному составу проб* — 5918.

19.3. Пример использования базы

Мы проиллюстрируем возможности использования базы на примере скопления ЛТСМ, находящегося в пом. 304/3 (см. рис. 9—21 и подписи к ним).

Лава проникла в это помещение через пролом в стене, образовавшийся при взрыве, и залила весь пол слоем в (0,6÷1.0) м. Здесь — начало «горизонтального потока лавы» (см. Часть 1, раздел 7.3.2).

Из окна «Безопасность Саркофага» (рис. 7) мы переходим к окну «Ядерное топливо и радиоактивные отходы» и нажимаем клавишу «Каталог ТСМ» (рис. 9).

В «Каталоге ТСМ» в «Списке ТСМ» выделяем строчку «Открытые ТСМ — Помещение 304/3» (см. рис. 10, строчка выделена черным цветом) и нажимаем клавишу «Подробности».

Открывается окно (рис. 11), в котором приведены общие данные о помещении 304/3 и скоплении ТСМ. Его координаты, связь с главными потоками лавы.

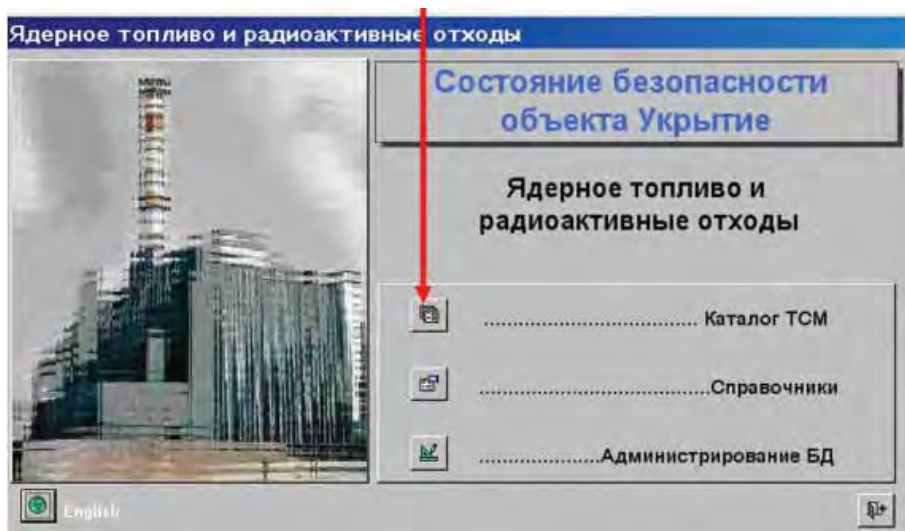


Рис. 9. Окно «Ядерное топливо и радиоактивные отходы»

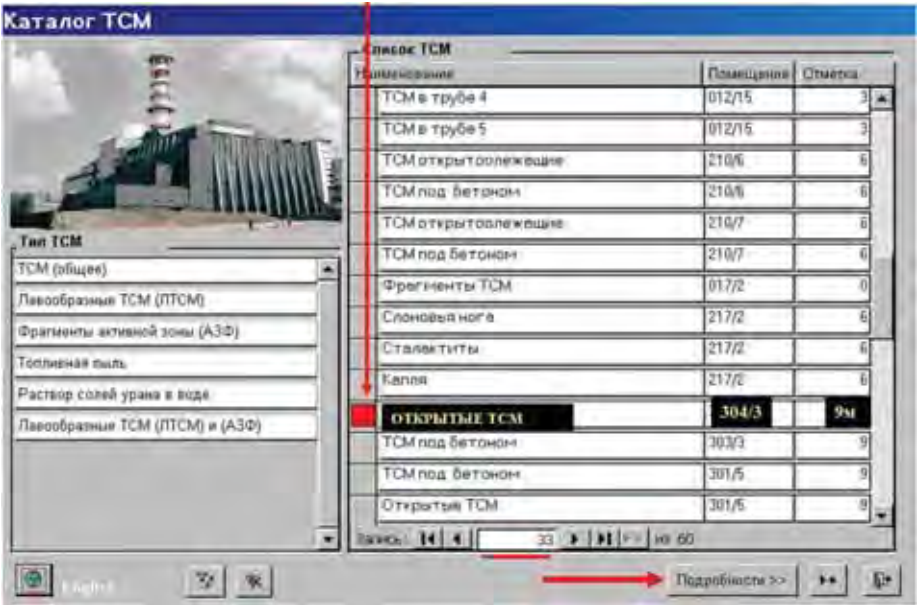


Рис. 10. Окно «Каталог TCM». Из него мы переходим к описанию скопления открытых TCM в пом. 304/3 на отметке 9 м (клавиша – подробности)

Более подробное текстовое описание помещения и иллюстративный материал можно найти, перейдя к клавишам «ОПИСАНИЕ» (выделено черным цветом) и «ФОТО».

Описание представляет собой набор текстовых файлов, включающих иллюстративные материалы. В числе этих материалов – схема расположения помещений на отметке 9 м (см. рис. 12) И картина расположения конструкций в

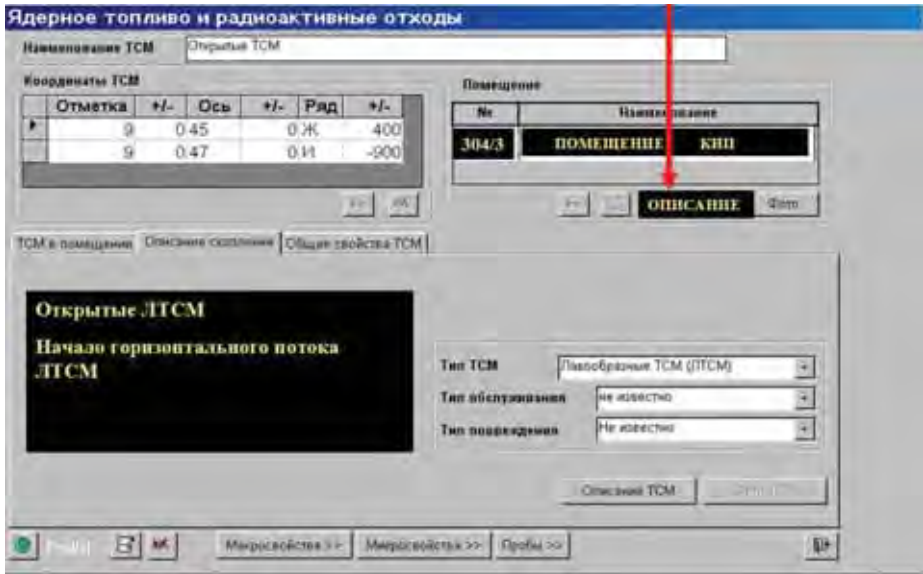


Рис. 11. Окно, в котором приведены общие данные о пом. 304/3 и скоплении TCM в нем

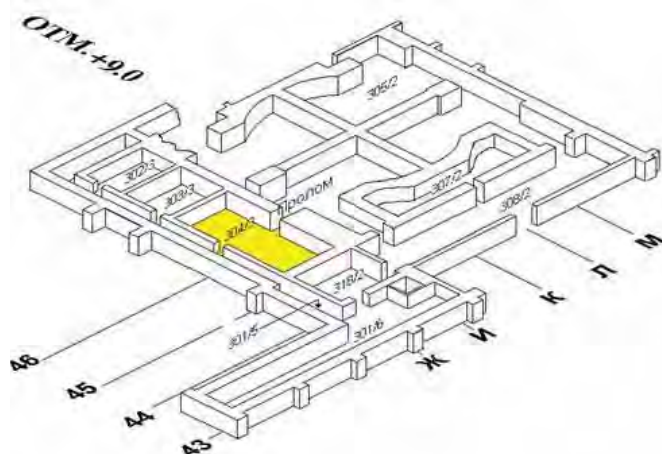


Рис. 12. Схема расположения помещений, содержащих ТСМ, на отм. 9.00. Желтым цветом выделено пом. 304/3

пом. 304/3, сложившаяся после аварии (рис. 13). Она была реконструирована по данным исследований с помощью скважин, а также по фото- и видео-информации, полученной разведывательными группами.

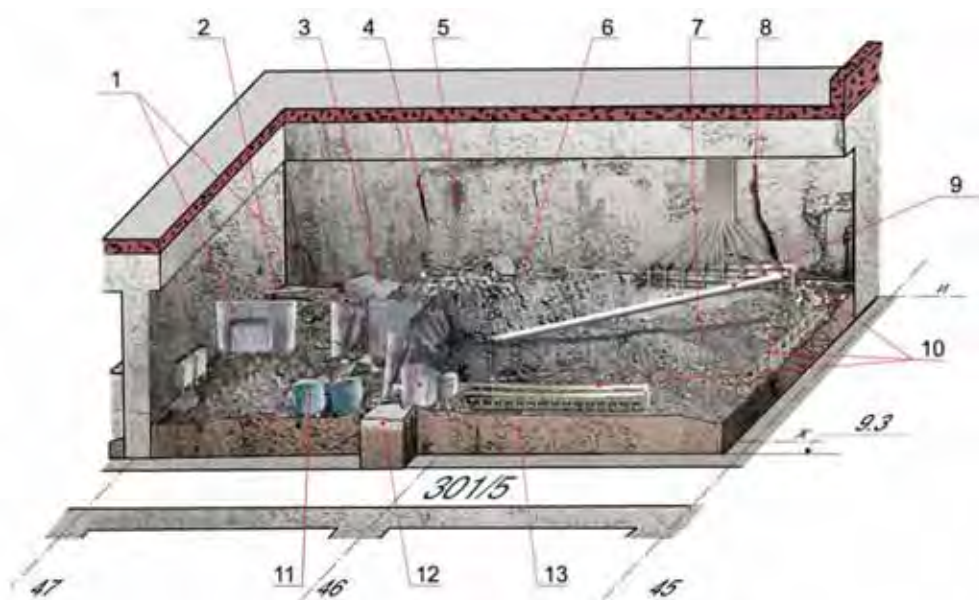


Рис. 13. Расположения конструкций в пом. 304/3.

Обозначения: 1 – ограждение электрошкафов; 2 – датчик плотности нейтронного потока (скважина 3–10-Г); 3 – упавший электрошкаф; 4 – трещины в стене; 5 – арматура; 6 – возвышение у стены, разделяющей пом. 304/3 и 305/2 (отм. +10.3); 7 – «холмистая» поверхность; 8 – вертикальная трещина; 9 – обсадная труба скважины, пробуренной из пом. 318/2; 10 – пробоотборные гребенки; 11 – слой лавы, заполнивший помещение; 12 – бетон в дверном проеме пом. 304/3; 13 – контейнеры с мусором и ТСМ



Рис. 14. Пом. 304/3. Обсадная труба скважины, пробуренной из пом. 318/2 (см. пункт 9 на рис. 13 и рис. 12)

Пример фотографий, открывающихся после нажатия клавиши «Фото» (см. рис. 11), приведен на рис. 14 и 15 (см. также рис. 23 в разделе 7.3.2, Часть 1).

Еще раз вернемся к окну, которое изображено на рис. 11, и нажмем клавишу «Описание ТСМ» (на рис. 16 выделена черным цветом).

В «Описании ТСМ» (рис. 17) сначала откроем окно — «Общие свойства ТСМ» (клавиша подчеркнута красной линией).

Эти общие свойства — средняя плотность вещества в скоплении, его объем и полное количество ядерного топлива (по урану) (на рис. 17).

Теперь обратимся к клавишам «Макросвойства», «Микросвойства и «Пробы» (указаны внизу на рис. 16). Нажав на кнопку «Макросвойства»¹,



Рис. 15. Черная керамика из пом. 304/3

¹Наиболее общие из них для черной керамики, находящейся на полу пом. 304/3, были описаны в разделе 7, Часть 1.

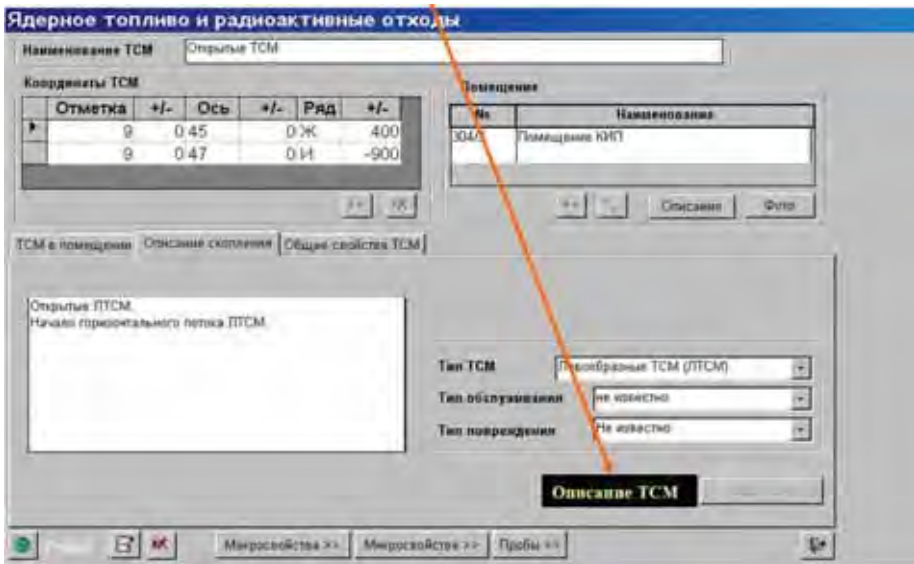


Рис. 16. Переход к окну «Описанию TCM»

можно выбрать закладку «Нейтронные потоки» или «Экспозиционная доза» и увидеть таблицы с результатами измерений нейтронных и гамма-полей в пом. 304/3. Далее, нажав на кнопку «Схема» или «Метод» в правом нижнем углу, можно увидеть чертеж с расположением точек, в которых производились эти измерения (рис. 18), и ознакомиться с методикой измерений.

«Микроисследования» знакомят пользователя БД с результатами структурно-минералогического микроанализа. В подразделе «Микрофото»

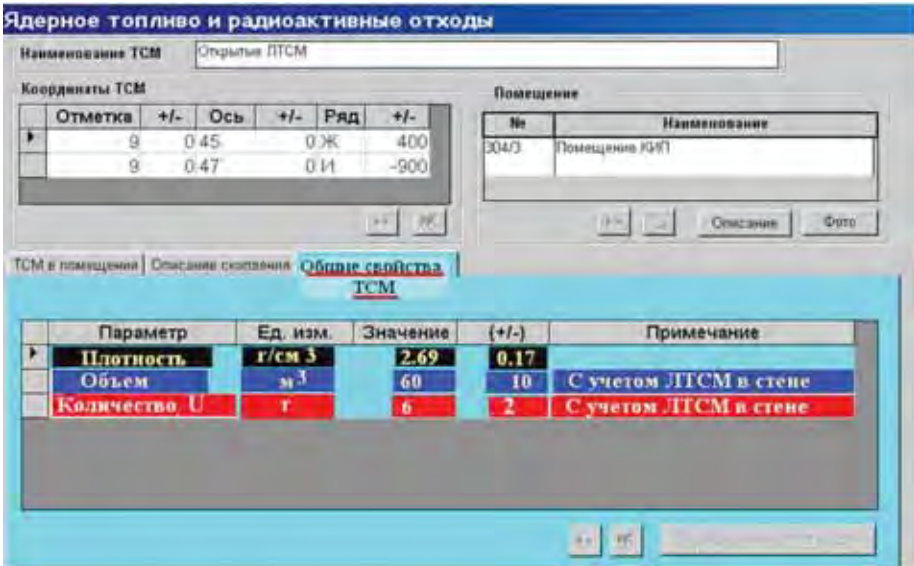


Рис. 17. На рисунке информация, собранная в окне «Общие свойства TCM», подчеркнута красной линией. Цветом выделены плотность вещества в скоплении, его объем и полное количество ядерного топлива (по урану)

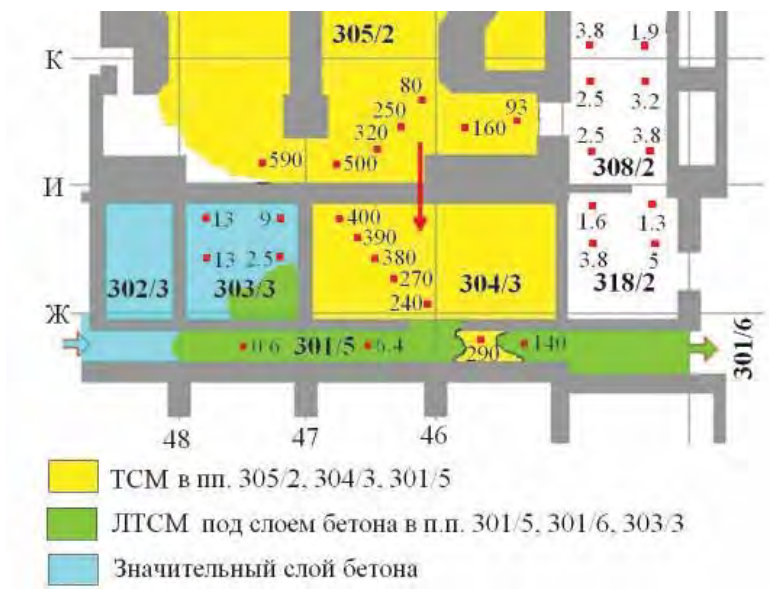


Рис. 18. Расположение точек, в которых производились измерения мощности экспозиционной дозы в пом. 304/3 и примыкающих к нему комнатах и коридорах на отметке 9 м (1993 г.)

можно ознакомиться с микрофотографиями, сделанными с помощью электронного микроскопа (рис. 19).

Наконец, в разделе «Пробы» приведены таблицы общих характеристик всех проб, отобранных в пом. 304/3, их радионуклидный и элементный состав. Фрагменты двух таких таблиц представлены на рис. 20 и 21. Всего в базе данных рассматриваются 38 проб ЛТСМ из пом. 304/3, отобранных с помощью скважин и разведывательными группами в 80-х и 90-х годах.



Рис. 19. Микрофотография поверхности черной лавы. Видны крупные включения окислов урана (белый цвет) и небольшие глобулы нержавеющей стали (серо-коричневый цвет)

Код пробы (№ пробы по источнику)	ТСМ, описание		Дата анализа	Литература
	Место отбора, координаты	Описание пробы		
S00150 (9)	46/47, П/Ж, отм. 10.000, поверхность полукруглого куска	Черная керамика	1.03.89.	Исследование взаимодействия топлива с конструкционными материалами в объекте «Укрытие» // Отчет по договору № 39-901/63-16-2-1 от 10.02.91 г. / КЭ при ИАЭ им. И.В.Курчатова. Утвержден А.А.Боровым и Е.Б.Андерсоном. Инв.№ 11.07/285 от 13.12.91 г. – Чернобыль – Санкт-Петербург, 1991, 88 с.
S00160 (10)	то же, глубина 5 см от поверхности	- « -	1.03.89.	
S00170 (11)	то же, глубина 10 см от поверхности	- « -	1.03.89.	
S00430 (37)	46/47, И-2.5, отметка 10.000	Черная пористая керамика	1.03.89.	
S00440 (38)	46/47, И-1.5, отметка 10.000	Черная пористая керамика	1.03.89.	
S00780 (19)	46+0.1, И-2, отм. 9.400, скважина 3-9-М	- « -	18.12.88.	Левина Л.А. Херувимов А.Н. Результаты физико- химических исследований кернов, взятых из скважин на отметках 9 – 15 м за период май 1988 г. – февраль 1989 г. // Отчет / КЭ при ИАЭ им. И.В.Курчатова. – Инв.№ 11.07-06/09 от 14.03.89 г.
S00860 (8)	47-0.2, И-2, отм. 9.700, скважина 3-10-Г	- « -	11.06.88.	
S01360 (3-9М)	46+0.1, И-2, отм. 9.400, скважина 3-9-М	Темно-коричневая спекшаяся стекловидная масса	15.06.89.	Боровой А.А., Херувимов А.М. Исследование радионуклидного состава и физико-химического состояния образцов топливосодержащих масс, отобранных из помещений объекта «Укрытие» // Отчет о НИР. КЭ при ИАЭ им. И.В.Курчатова. – Инв. № 11.07/12 от 16.03.90 г. – Чернобыль, 1990, 20 с.
S02000 (123)	46/47, И/Ж	Черная керамика	15.07.90.	Алхимов Н.Б., Киселев А.Н., Кургузов В.В., Лисин С.К., Обухова Л.А., Родионов Ю.Ф., Херувимов А.Н., Чечеров К.П. Исследование радионуклидного состава ТСМ объекта «Укрытие» // Отчет / КЭ при ИАЭ им. И.В.Курчатова. – Инв.№ 11.07/139 от 22.04.91 г. – Чернобыль, 1991г., 19 с.

Рис. 20. Фрагмент таблицы «Помещение 304/3.Общие характеристики проб»

Код пробы (№ пробы по источнику)	Активность нуклидов, МБк/г (керамики), пересчет на 26.04.86 г.							
	¹⁴⁴ Cs	¹³⁷ Cs	¹³⁴ Cs	¹⁰⁶ Ru	¹²⁵ Sb	¹⁵⁴ Eu	¹⁵⁵ Eu	⁹⁰ Sr
S00150 (9)	1.17E+03	1.87E+01	1.04E+01	2.94E+01	2.47	1.84	2.68	5.10E+01
S00160 (10)	1.27E+03	2.93E+01	1.66E+01	6.25	2.57	1.69	2.23	5.70E+01
S00170 (11)	1.52E+03	2.86E+01	1.67E+01	3.50E+01	4.03	2.10	2.53	5.60E+01
S00430 (37)	1.26E+03	2.60E+01	1.50E+01	2.00E+01		1.60	1.65	6.76E+01
S00440 (38)	1.06E+03	2.70E+01	1.50E+01	4.40		1.40	2.12	4.25E+01
S00780 (19)	9.51E+02	2.55E+01	1.36E+01	7.41	3.88E-01			
S00860 (8)	2.14E+03	5.05E+01	3.17E+01	2.24E+01				
S01360 (3-9М)	1.47E+03	2.98E+01	1.70E+01	1.66E+01	3.49			
S02000 (123)	1.35E+03	2.74E+01	1.59E+01	1.86E+01				6.31E+01

Рис. 21. Фрагмент таблицы «Радионуклидный состав проб керамики из пом. 304/3 (продукты деления и активации)»

В последующем БД модернизировалась и усложнялась (см., например, [6–8]).

Украинская фирма ECOMM вместе с GRS усовершенствовали структуру БД и интерфейсов для ввода данных (в том числе библиографии и информации по различным техническим вопросам), соответствующие методы поиска информации и доступа к ней с помощью визуальной навигационной геоинформационной системы ГИС, работающей в ArcView [8] (см. рис. 22).

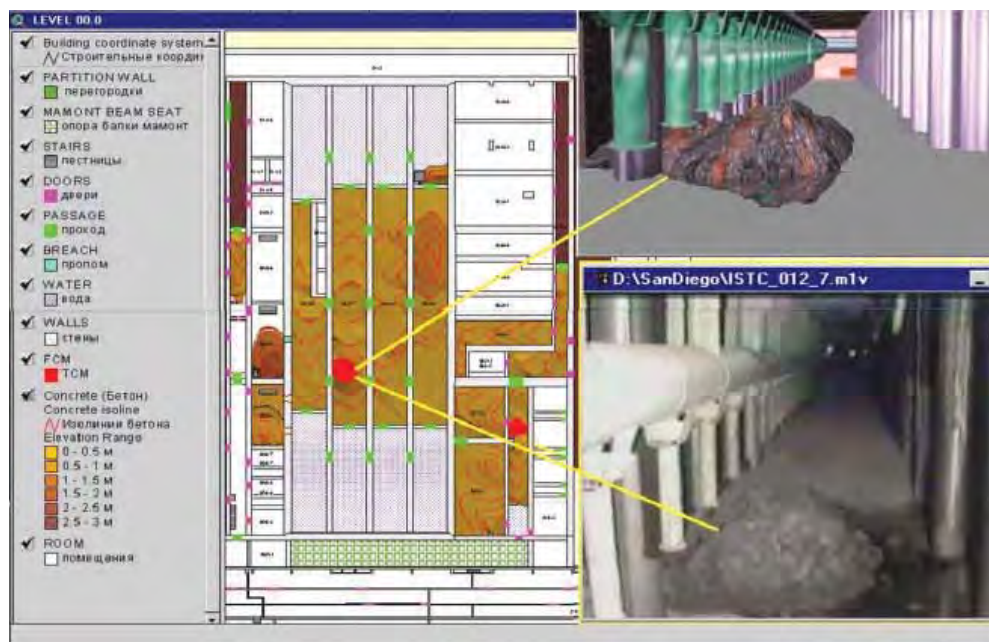


Рис. 22. Одна из проекций ГИС модели объекта «Укрытие». На ней представлены помещения на отм. 0.00 – первого этажа бассейна-барботера и скопление TCM [8]

ГИС модель Объекта «Укрытие» и локальной зоны представляет собой ряд горизонтальных проекций, каждая из которых соответствует одной высотной отметке в системе строительных координат.

Для каждой высотной отметки объекта «Укрытие» были построены 2-х и 3-х мерные поперечные сечения, содержащие основные объекты.

В том числе помещения, лестницы, строительные конструкции, скопления бетона, скопления TCM, оборудование, и т.п.

Вся информация, содержащаяся ранее в БД по разделу «Ядерное топливо и радиоактивные отходы», вошла в состав последнего ее варианта.

19.4. Модель долговременного поведения скоплений лавы после создания НБК

19.4.1. Долговременная динамика поведения ЛТСМ

Один из значительных циклов работ, выполненных КИ в конце 90-х – начале 2000-х годов, касался разработки модели долговременного поведения скоплений лавы после создания НБК.

Преобразование объекта в экологически безопасное состояние предполагает, что окончательное извлечение из него топливосодержащих материалов и их захоронение займет значительный промежуток времени (многие десятки лет). Это понятно – в настоящее время не решены даже на уровне концепции связанные с этим сложнейшие технические и финансовые проблемы (см. Глава 22).

В связи с этим возникает целый ряд вопросов, ответы на которые важны для организации долговременного и безопасного хранения ТСМ под защитой НБК.

Вот некоторые из этих вопросов.

- *Как изменялись физико-химические свойства ТСМ за прошедшие годы, какие процессы приводили к их разрушению, как быстро развивались эти процессы?*
- *Какие внешние воздействия могут стать причиной разрушения ТСМ в период проведения многолетних работ по их хранению и извлечению?*
- *Какова при этом роль самооблучения?*
- *Какие контрмеры могут быть приняты в случае опасности, создание каких барьеров безопасности можно рекомендовать при значительном разрушении ЛТСМ?*

Что касается первого вопроса, то он уже обсуждался на страницах настоящей книги – Часть 3, раздел 14.3.5, а также в предыдущих публикациях [2], [9–16] и др.

Мы приведем здесь окончательные выводы, сделанные в этом разделе.

«Наблюдения показывают, что главным разрушителем скоплений лавы в объекте «Укрытие» является вода.

Под ее влиянием наибольшим структурным изменениям подверглись «пемза», шлак (т.е. кучи 1-го и 2-го этажа ББ) и черная керамика.

Минимальные структурные изменения претерпела коричневая и полихромная керамика – модификации, которые в наименьшей степени контактировали с водой и не подвергались особым перепадам температур.

Для образцов ЛТСМ, находившихся в условиях спецхранилищ на протяжении 10–20 лет, сильные структурные изменения наблюдаются в редких случаях только для черной керамики.

Отметим также, что наблюдаемые в объекте разрушения скоплений происходят на макроуровне. В силу неоднородного состава, различных условий остывания и ряда других причин многие из них легко распадаются на отдельные, более однородные и более устойчивые к внешним воздействиям фрагменты».

При этом в «блочные воды» переходила незначительная часть радиоактивности из скоплений лавы (Часть 3, раздел 14.2.1).

Косвенные признаки также указывали на то, что в ЛТСМ не происходили быстро нарастающие, лавинные процессы разрушения. Об этом свидетельствовали многолетние исследования сбросов и выбросов радиоактивности за пределы объекта (Часть 2, главы 12 и 13).

Так, изучение загрязненности воздуха на площадке «Укрытия» говорило о ее тенденции к постепенному снижению, а отдельные периоды возрастания активности аэрозолей коррелировали с техногенными воздействиями на объект.

По второму вопросу точка зрения КИ была сформулирована следующим образом (см., например, [2]).

1. Надвижение «Арки» должно привести практически к исключению попадания в «Укрытие» дождевой и талой воды.

2. Относительно конденсирующейся влаги надо учитывать следующее.

Тепловая инерция всего комплекса сооружений (объект «Укрытие» + НБК) сильно возрастет. Кривая изменения температуры внутри здания выложится, а средняя температура воздуха в «Укрытии» повысится за счет дополнительной теплоизолирующей оболочки, которой является НБК. Скорость естественного воздухообмена в помещениях «Укрытия» понизится.

В результате всех этих факторов общее количество образующегося и испаряющегося конденсата должно уменьшиться.

3. Что касается воды, которая может попасть в объект в результате технологических процессов (например, пылеподавления и дезактивации) или при разборке части конструкций, то необходимо предусмотреть соответствующие меры, сводящие к минимуму ее воздействие на ТСМ.

Поэтому главная опасность разрушения ТСМ – их взаимодействие с водой, должна существенно уменьшиться в период многолетних работ, проводимых под защитой НБК.

Все сказанное относится к воздействию внешних факторов. Существуют ли внутренние факторы, способные привести к значимым разрушениям лавы? Какую роль может сыграть самооблучение для разрушения ЛТСМ?

Эти вопросы потребовали отдельного рассмотрения и вызвали продолжительную дискуссию.

19.4.2. Гипотеза о внезапном разрушении ЛТСМ

Вопрос о возможности разрушения чернобыльских лав под действием собственного излучения был впервые поднят в работах «Курчатовского института» в 1990 г. (см. [15, 16]).

В них отмечалось:

«Следует обратить особое внимание на самооблучение ЛТСМ от источников альфа-частиц. Имеющиеся экспериментальные данные указывают на то, что разрушение силикатных стекол может начинаться при наборе суммарной дозы, соответствующей числу альфа-распадов порядка 10^{18} см^{-3} ».

Далее рассматривались возможные механизмы разрушения (см. рис. 23, 24), однако проведенные в работах оценки полного числа альфа распадов в 1 см^3 чернобыльских лав, давали значение $\leq 10^{16} \alpha/\text{см}^3$ за 100 лет, т.е. на два порядка меньшее, чем критическое.

Вопрос был снова поднят в конце 90-х годов. В работах [17–19] в качестве основной причины разрушения ЛТСМ также рассматривалось накопление радиационных дефектов от α -распада трансурановых элементов. Но авторы предложили свое видение процесса разрушения и пришли к пессимистичным выводам:

«Из-за радиационных повреждений непрерывно снижается термодинамическая и механическая устойчивость ЛТСМ. При имеющемся в объекте неблагоприятном сочетании внутреннего радиационного фактора и внешних воздействий в будущем однозначно произойдет то, что всегда происходит с

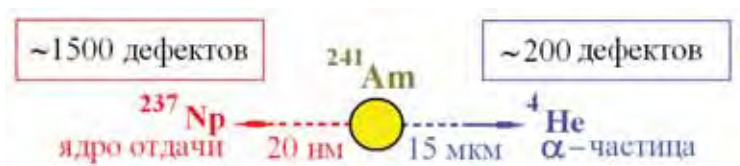


Рис. 23. Схема образования дефектов в материале лавы при α -распаде трансурановых элементов. Главную роль играют ядра отдачи, именно они производят подавляющее большинство дефектов

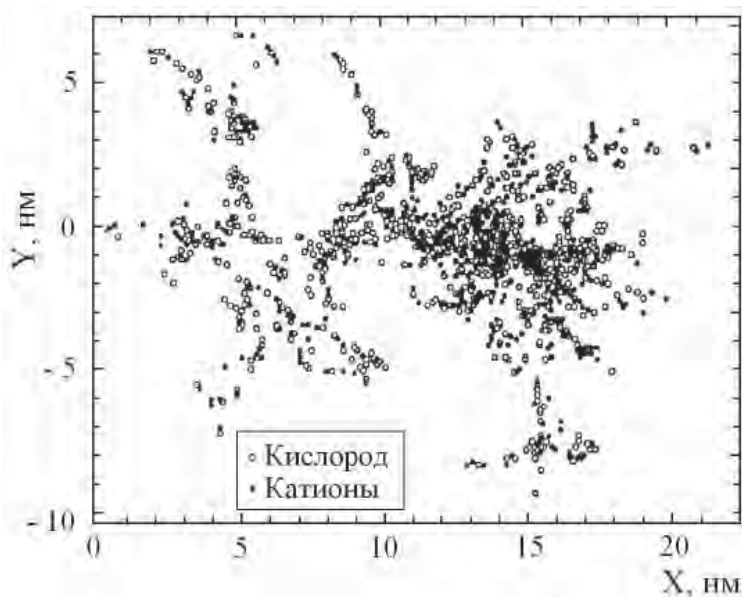


Рис. 24. Распределение смещений атомов стеклянной матрицы от ядра отдачи (при α -распаде)

сильно облученными хрупкими диэлектриками, а именно: тотальное разрушение ЛТСМ и превращение всего их объема в мелкодисперсную пыль.

Такое видимое разрушение является конечной стадией длительного процесса и произойдет в определенный момент внезапно (в течение короткого срока, исчисляемого несколькими неделями) с катастрофическими радиоэкологическими последствиями, поскольку на современном технологическом уровне не существует способов длительного удержания такого количества высокодисперсной пыли в объекте, по крайней мере, в рамках тех свойств, которыми «Укрытие» обладает сейчас».

И далее:

«Такого рода **катастрофа** становится угрожающе вероятной в течение ближайших 10–50 лет. В то же время имеющиеся на текущий момент данные исследований различного рода наблюдений и современный уровень понимания проблемы позволяют сказать, что катастрофы не произойдет в ближайшие полтора-два года. Любой более определенный прогноз в настоящее время не может быть достаточно ответственным и научно обоснованным» [19].

Это предсказание вызвало сильное беспокойство, поскольку обсуждавшаяся в это время конструкция НБК не предусматривала возможности удержания многих сотен тонн мелкодисперсной пыли в течение десятков лет, а также возможности извлечения этой пыли и ее захоронения².

²Вопрос о том, правильна ли гипотеза о внезапном разрушении лавы под действием внутреннего облучения, важен не только для чернобыльской проблемы. Такое разрушение может стать одним из препятствий на пути работ по ликвидации последствий тяжелых аварий на АЭС, сопровождающихся образованием лавы (кориума).

В результате в 2003–2005 гг. «Курчатовский институт» и ИПБ АЭС выполнили независимые исследования по этой тематике.

В своих работах специалисты «Курчатовского института» прежде всего опирались на исследования микроструктуры различных модификаций ЛТСМ и аналогию между свойствами ЛТСМ и образцами остеклованных отходов.

19.4.3. Микроструктура ЛТСМ, находящихся в объекте «Укрытие»

После аварии на ЧАЭС основные усилия исследователей были направлены на определение геометрии и физико-химических свойств основных скоплений ТСМ в объекте «Укрытие», определяющих их ядерную и радиационную безопасность.

К концу 80-х годов главная информация была получена, и открылась возможность более детально исследовать такой необычный материал, как ЛТСМ, и, в частности, начать изучение его микроструктуры.

Первые данные о микроскопическом строении ЛТСМ были получены в «Радиовом институте» (см., например, [20–21]), позднее в IPSN (Сакле, Франция) [22–23], а также в «Курчатовском институте» [24] и МНТЦ «Укрытие» [25]³.

Оказалось, что лава имеет достаточно сложную микроструктуру.

Это наглядно видно на микрофотографиях полированных препаратов коричневой и черной лавы (рис. 25 и 26, см. также рис. 19).



Рис. 25. Полированный препарат коричневой лавы. Изображение получено в обратно-рассеянных электронах

³В «Радиовом институте» основными методами исследования стали рентгено-спектральный микроанализ и растровая электронная микроскопия. Поиск и качественная диагностика различных фаз осуществлялась в режиме обратнорассеянных электронов, что позволяло получить высокое разрешение по атомному номеру. В этом режиме достигалось контрастное изображение не только различных по составу фаз, но и выявлялась химическая неоднородность (отдельные зоны) в пределах одной фазы.



Рис. 26. Полированный препарат черной «лавы». Изображение получено в обратно-рассеянных электронах

Основная масса образцов — аморфная, оптически изотропная стекловидная структура. В шлифах эта структура — прозрачная, бесцветная или светло-желтая.

Видны многочисленные включения в эту матрицу, при этом светлые пятна — включения урановых и уран-циркониевых фаз.

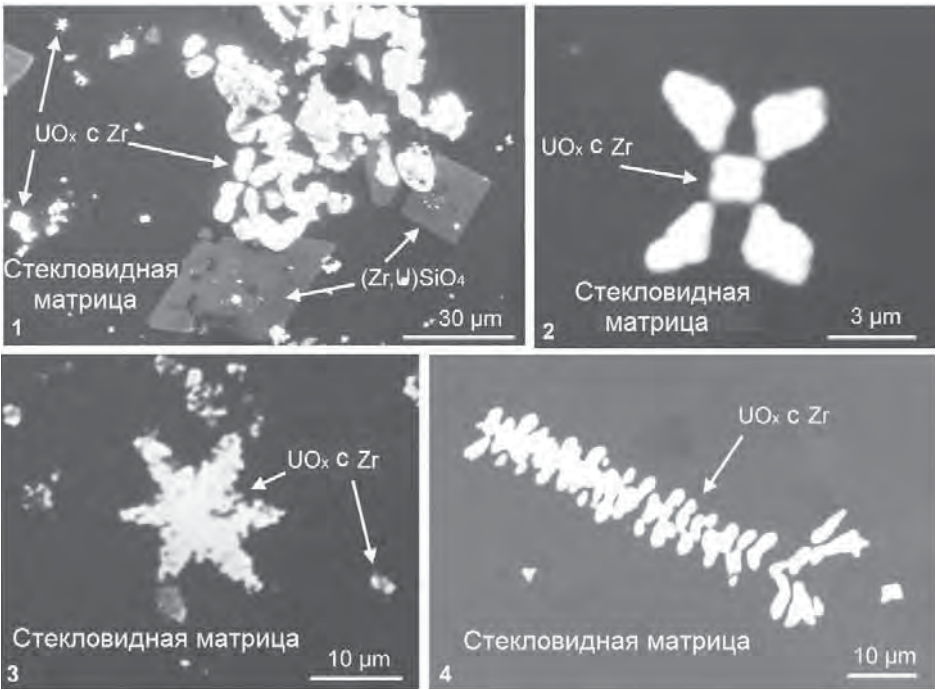
Дальнейшие исследования позволили утверждать, что на микроуровне ЛТСМ представляют собой гетерогенный твердый раствор, «растворителем» которого является стекловидная силикатная матрица. Среди включений установлены окислы урана, уран-цирконий-кислородные фазы, техногенный уран, содержащий циркон («Чернобылит»⁴) и металлические глобулы (рис. 27).

19.4.4. Распределение урана и трансурановых элементов между матрицей и включениями в ЛТСМ

Химический состав стеклообразных матриц основных модификаций ЛТСМ приведен в таблице 1. Кроме усредненных данных по образцам черной и коричневой керамики в таблице приведены результаты анализа элементного состава матрицы «слоновой ноги» (черная керамика).

Данные таблицы 2 позволяют сделать вывод, что содержание урана в матрице лавы меньше, чем его среднее содержание в образцах (матрица + включения). Это видно и на рис. 28.

⁴«Чернобылит» представляет собой урансодержащий силикат циркония техногенного происхождения и типичен для всех типов ЛТСМ. Размер кристаллов «чернобылита» меняется от 5 до 500 мкм.



Включения в стекловидной матрице черной и коричневой лавы.
1, 2 – черная лава из ПРК, 3 – коричневая лава из ПРК; 4 – черная лава из «слоновьей ноги»

Рис. 27 (см. работу [26])

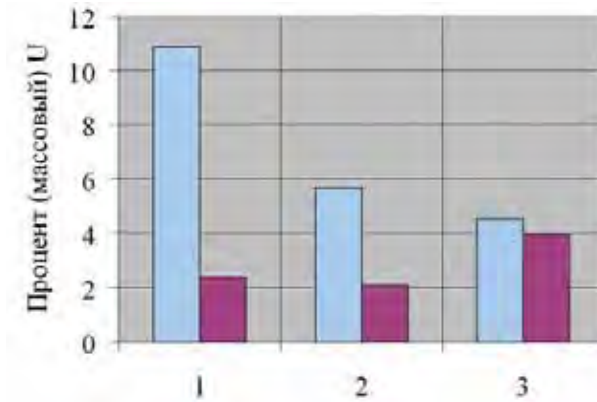
Таблица 2. Результаты рентгеноспектрального микроанализа силикатной матрицы основных модификаций ЛТСМ, весовые % [21].

Соединение	Весовое процентное содержание		
	Коричневая керамика	Черная керамика	«Слоновья нога»
K ₂ O	1,5	1,7	1,7
CaO	6,8	7,2	7,2
MgO	5,8	4,9	1,9
Al ₂ O ₃	5,2	5,3	5,1
ZrO ₂	3,2	2,8	4,5
FeO	не обнаружен	8,6	не обнаружен
U	2,4	2,1	4,0

Таким образом, основная часть урана содержится во включениях.

В работе [27], исходя из известных данных о микроструктуре ЛТСМ, была предложена модель распределения урана между микровключениями и матрицей ЛТСМ⁵. Расчеты, проведенные с помощью этой модели, позволили определить наиболее вероятные диапазоны содержания урана и циркония во

⁵Предполагалось, что микровключения состоят из урана, циркония и кислорода.



Виды ЛТСМ:

1 – коричневая керамика (ПРК);

2 – черная керамика (ПРК);

3 – черная керамика («Слоновья нога»)

Рис. 28. Содержание урана в различных видах ЛТСМ. Среднее по определенному типу керамики (синий цвет) и только в матрице (фиолетовый)

включениях в силикатную матрицу для коричневой и черной керамики (см. рис. 29).

Авторы пишут:

«При имеющихся экспериментальных данных возможен достаточный произвол в определении доли урана в микровключениях. Учитывая порядковый характер проводимых оценок, массовую долю урана в микровключениях можно принять как средние интервальные значения: 68% для коричневой керамики и 59% для черной».

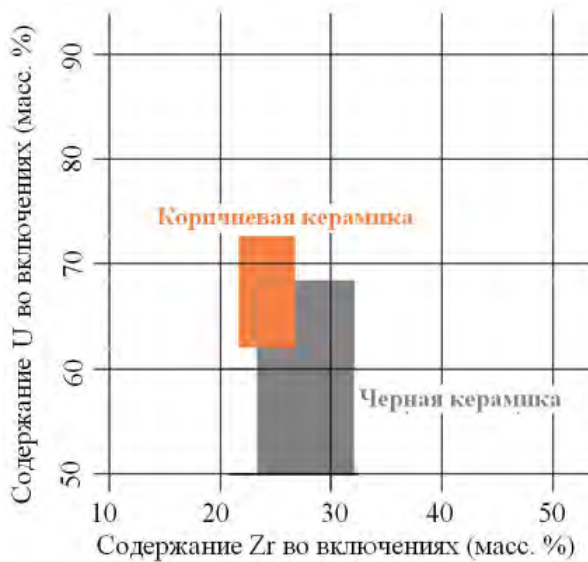


Рис. 29. Результаты расчетов содержания урана и циркония во включениях в силикатную матрицу для различных типов лавы – коричневой и черной керамики

Чтобы понять, как разрушается лава, надо знать, как распределились между матрицей и включениями активность основных α -излучающих трансурановых элементов.

Логично предположить, что они в силу своих физико-химических свойств так же, как и уран, находятся в основном во включениях (так называемая «**неоднородная модель**»).

В то же время существует точка зрения, высказанная в работе [18], которая предполагает, что основная часть радионуклидов в процессе образования и растекания лавы перешла в матрицу.

Авторы считают возможным пренебречь повышенной активностью микровключений, они пишут — «практически все основные α -излучатели равномерно распределены по объему ЛТСМ».

Это означает, что для оценок надо воспользоваться «**однородной моделью**» лавы с равномерно распределенными в ней α -излучателями.

Накопление дефектов в матрице ЛТСМ определяется полным числом α -распадов, которое произошло в единице объема материала.

В «Курчатовском институте», опираясь на базовый радионуклидный состав топлива 4-го блока (Часть 1, раздел 1.4.1), были проведены соответствующие расчеты для этих двух моделей. Результаты можно увидеть на графиках (рис. 30).

Из графиков видно, что через 100 лет в коричневой керамике, в предположении правильности однородной модели суммарное количество произошедших за это время α -распадов составит $\sim 4 \times 10^{16}$ α -распадов/см³.

Микровключения занимают сравнительно малый объем ($\sim 5\%$) ЛТСМ, но содержат значительную часть ($\sim 70\%$) общей активности. В результате при использовании неоднородной модели из-за поглощения α -частиц и ядер отдачи веществом микровключений облучение матрицы в среднем по ЛТСМ снижается в четыре раза по сравнению со случаем однородной модели, и за 100 лет в матрице ЛТСМ должно произойти $\sim 10^{16}$ α -распадов/см³ (очевидно, что в слое матрицы, примыкающем к микровключению, облучение может быть выше).

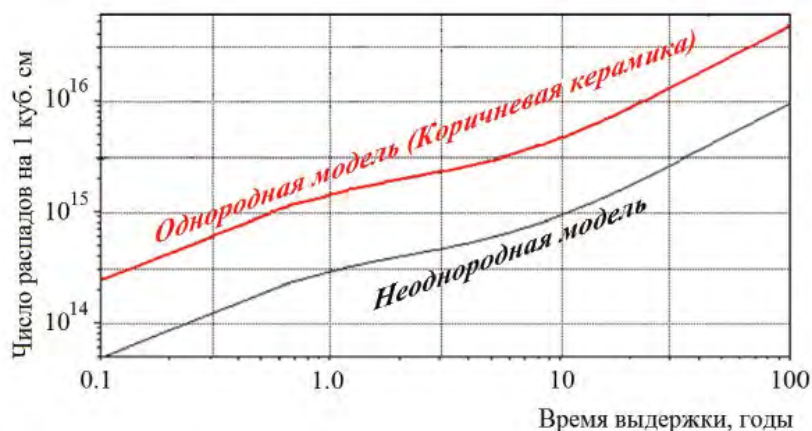


Рис. 30. Суммарное за время выдержки число α -распадов в веществе ЛТСМ для однородной и неоднородной модели (в последнем случае — число распадов в веществе матрицы)

К какой же из моделей ближе — однородной или неоднородной — оказалось реальное распределение активности в ЛТСМ между матрицей и включениями?

К сожалению, прямых данных очень мало.

Одним из экспериментов, которые могут быть использованы для оценки распределения активности, является работа [28],

В ней изучались частицы, образующиеся на поверхности ЛТСМ. В качестве предварительного эксперимента два образца «черной» (пом. 301/3) и «коричневой керамики» (пом. 210/7) были обработаны плавиковой кислотой (растворяющей матрицу), и образовавшийся осадок не растворившихся частиц был пропущен через колонку с набором фильтров. Объем осадка составлял менее 10% исходного объема образцов, что согласуется с оценками доли объемов микровключений.

В таблице 3 приведено распределение активности осадка по фильтрам по изотопу ^{144}Ce , который рассматривался в качестве индикатора «топливной» активности, содержащейся в урановой матрице.

Таблица 3. Распределение активности ^{144}Ce по размерам микровключений в «черной» и «коричневой» керамиках, %.

Фильтр, мкм	140	70	50	25	10	2,5	1,0
«Черная керамика» (пом. 301/3)	0,3	7,0	1,5	1,7	89,5	<0,1	<0,1
«Коричневая керамика» (пом. 210/7)	0,8	2,8	1,4	16,7	78,1	0,2	<0,1

По результатам, представленным в таблице 2, можно полагать, что основная активность сосредоточена в микровключениях с размерами 10–25 мкм, что согласуется с оценками, полученными по фотографиям микрошлифов образцов.

В том же эксперименте было показано, что более 90% активности ^{144}Ce из образцов осталось на фильтрах (в микровключениях).

Качественно результаты этой работы согласуются с предположениями о распределении активностей микровключений и матрицы пропорционально весовому содержанию в них урана, т.е. с *неоднородной моделью*.

В заключение этого раздела необходимо сказать о кумулятивной (накопленной) дозе от β - и γ -излучения в ЛТСМ при их длительном самооблучении⁶.

На рис. 31 приведены данные расчета кумулятивной поглощенной дозы от β -излучения в коричневой керамике с обедненным⁷ радионуклидным составом в зависимости от времени, прошедшего после аварии [29].

На рис. 32 то же, для γ -излучения.

⁶Для γ -излучающих радионуклидов можно всегда использовать однородную модель, поскольку пробег γ -квантов много больше размера включений. С хорошей точностью эта модель выполняется и для β -активных включений.

⁷Учитывается вылет радионуклидов в период активной стадии аварии. Содержание в ЛТСМ (в пересчете на 26.04.1986) изотопов цезия составляет 40%, а изотопов рутения — 4% от первоначального содержания в топливе (см. Часть 1).



Рис. 31. Кумулятивная поглощенная доза β -излучения в ЛТСМ типа коричневой керамики в зависимости от времени, прошедшего после аварии (обедненный радионуклидный состав)

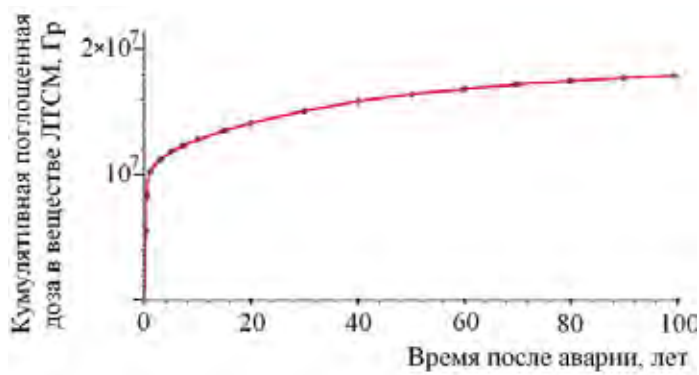


Рис. 32. Кумулятивная поглощенная доза в коричневой керамике в зависимости от времени, прошедшего после аварии

19.4.5. Разрушение остеклованных РАО – аналогов ЛТСМ (см. [2], [29])

Знание микроструктуры ЛТСМ и данные по накоплению дефектов в матрице ЛТСМ под действием самооблучения позволили КИ использовать богатейший материал по разрушению остеклованных отходов для предсказания долговременной стабильности чернобыльских лав (для процессов самооблучения, рассмотренных в [30–47]).

При этом использовалось то, что основные программы по остеклованным отходам в Советском Союзе, Соединенных Штатах, Канаде, Германии, Франции, Италии, Японии и Великобритании были направлены на увеличение длительности безопасного хранения таких отходов⁸.

⁸Промышленные установки по остекловыванию стали конструироваться с 1978 г. В СССР промышленный метод остекловывания радиоактивных отходов был впервые разработан во ВНИИ Неорганических материалов им. Академика Бочвара и реализован на комбинате «Маяк».

За более чем полувековой срок (с 1960 г.) были детально исследованы многие свойства стекол, содержащих радиоактивные материалы, в том числе и такие, как динамика их долговременного поведения и причины разрушения под действием внутренних и внешних факторов. При этом временные масштабы, интересовавшие исследователей, составляли более 10^3 лет.

Число экспериментальных и расчетных работ в этой области измеряется сотнями.

Приведем главные результаты выполненного в КИ анализа этих работ.

Первый вывод говорит о том, что матрица ЛТСМ не представляет собой какого-нибудь уникального стекла и достаточно близка по своим свойствам к известным стеклам.

Например, среди природных аналогов ЛТСМ можно выделить обсидиановое стекло (с соответствующим содержанием кремнезема) и нефелин-сиенит.

Для иллюстрации этого в таблице 4 [30] приведен состав некоторых обсидиановых стекол, а в последнем столбце приведены данные рентгеноспектрального микроанализа силикатной матрицы «черной керамики».

Таблица 4. Состав природных и синтетических обсидиановых стекол и матрицы «черной керамики»

Компонент	Природный гранитный обсидиан, вес. %	Синтезированный андезитовый обсидиан, вес. %	ЛТСМ «Черная керамика» матрица вес. %
SiO ₂	74,6	60,1	61
TiO ₂	—	0,8	—
Al ₂ O ₃	14,0	17,5	5,3
Fe ₂ O ₃	2,0	6,6	8,6
MgO	—	2,8	4,9
CaO	—	5,1	7,2
Na ₂ O	3,8	3,7	—
K ₂ O	5,3	2,1	1,5

Среди промышленных аналогов стекла, используемого для отверждения РАО, ЛТСМ близко к алюмосиликатным стеклам.

Во-вторых, по сравнению со своими промышленными аналогами ЛТСМ отличаются в «выгодную» сторону, а именно — повышенным содержанием кремнезема и пониженным — окислов щелочных металлов и глинозема. Поэтому из общих изученных свойств стекла можно полагать, что ЛТСМ обладают большей (по сравнению с промышленными аналогами) химической стойкостью — скоростью растворения силикатной матрицы в водной среде с pH = 4...9.

Перейдем к третьему, наиболее важному, выводу.

Если проанализировать целый ряд данных, связанных с радиационным разрушением промышленных стекол и масштаба поглощенных при этом доз, то результаты могут быть сведены в таблицы (см. таблицы 5 и 6).

Таблица 5. Масштабы наблюдавшихся эффектов и вызывающих их доз [31–46]

Наблюдавшийся эффект, возникающий под действием радиации	Вид радиации	Масштаб дозы, при которой эффект начинает заметно влиять на характеристики стекла	Наблюдавшееся изменение характеристик стекла
Изменение объема	α-распад	$(1\div2)\times10^{18}$ α-распадов/г ($\sim10^9$ Гр)	Объем изменялся на $\pm1,2\%$, появлялись пузырьки
Накопление гелия	α-распад	$(2\div8)\times10^{18}$ α-распадов/г	Гелий скапливался в стекле в виде пузырьков
Изменения микроструктуры	α-распад	Более 1×10^{18} α-распадов/г	Аморфизация кристаллических фаз в стекле. Распухание, образование микротрещин и пузырей
Образование пузырьков кислорода	γ-излучение	$10^8\div10^9$ рад	Появление пузырьков – $(300\div400)$ на 1 мкм^3 при среднем диаметре пузырьков 5–6 нм
Изменение механических свойств	См. Таблицу 5		
Увеличение утечки радионуклидов	γ-излучение	10^9 Гр	Увеличение скорости растворения стекла до 4-х раз
	α-распад	$\sim1\times10^{18}$ α-распадов/г ($\sim10^9$ Гр)	Увеличение скорости растворения стекла до 3-х раз

Таблица 6. Изменение механических свойств стекол PNL при облучении [32]
(Н – твердость, Р_с – предел прочности, К_и – коэффициент изломостойкости)

Облучение	Доза, 10^{20} α/м ²	Мощность дозы, рад/час	Ионизационная доза, рад	Н, ГПа	Р _с , Н	К _и , МН/м ^{3/2}
Нет облучения	0	0	0	6,85	0,38	1,14
α-излучение (введенный в состав стекла препарат – PuO ₂)	0,7	$3,2\cdot10^7$	$0,5\cdot10^{11}$	6,33	0,87	1,32
	3,7	—	$2,5\cdot10^{11}$	5,59	—	2,06
β-распад, γ-излучение	—	—	$6,6\cdot10^8$	Увеличение на 1,6%	—	Увеличение на 10%

Данные, приведенные в таблицах, подтверждаются исследованиями, выполненными в крупнейшем проекте — «Радиационные эффекты в материалах, содержащих ядерные отходы», коллективом сотрудников лабораторий США и Австралии [47]⁹.

Они подтверждаются и многолетними наблюдениями, ведущимися МосНПО «Радон» по открытому хранению остеклованных отходов [48] (см. рис. 33).

Из таблиц 5 и 6 видно, что поглощенные дозы, при которых радиационные эффекты начинают заметно влиять на характеристики промышленных стекол, составляют:

- для α -излучения $\geq 10^{18}$ α -распадов/г,
- для β - и γ -излучения $10^8 \div 10^9$ рад.

В то же время в ЛТСМ за 100 лет дозы от α -излучения составят при наиболее консервативном рассмотрении (однородная модель) $\sim 4 \times 10^{16}$ α -распадов/см³ или $\sim 1,5 \times 10^{16}$ α -распадов/г.

Для β - и γ -излучения величины поглощенных доз лежат в пределах $(2 \div 5) \times 10^7$ рад.



Рис. 33. Разрушение остеклованных РАО при их многолетнем открытом хранении МосНПО «Радон»

⁹Этот Проект выполнялся большим коллективом сотрудников лабораторий США и Австралии. Среди них Pacific Northwest National Laboratory, Argonne National Laboratory, Los Alamos National Laboratory и Australian Nuclear Science and Technology Organization.

Изучались вопросы выхода радионуклидов из остеклованных отходов и разрушения матрицы. Методы исследований объединяли экспериментальные работы, теоретические расчеты и компьютерное моделирование. Объем исследований определялся необходимостью добиться максимальной надежности моделей, которые должны были предсказывать поведение стекол в течение ≤ 500 лет.

Приведенное выше сравнение позволяет утверждать, что по прошествии 100 лет после аварии поглощенные дозы в лаве (однородная модель) все еще будут много меньше тех, при которых наблюдаются признаки разрушения в стеклах.

Поскольку химический состав матрицы ЛТСМ и большинство ее свойств аналогичны составу и свойствам ряда промышленных стекол для иммобилизации РАО, никаких существенных изменений под действием самооблучения за это время в самой матрице произойти не должно.

Однако существуют факторы, которые могут стать дополнительной причиной разрушения ЛТСМ от самооблучения по сравнению со стеклами, содержащими РАО.

Поскольку основная активность ЛТСМ сосредоточена во включениях, их набухание может стать причиной разрушения материала лавы.

Подробное рассмотрение этого вопроса было проведено в работе [49].

В ней делается вывод, что разрушения под действием самооблучения не будут носить «катастрофический характер», и за 100 лет этим процессом будет затронута лишь небольшая часть лавы. И далее: «Судя по фотографиям микрошлифов лавы, характерное расстояние между «опасными» группами микровключений составляет десятки-сотни микрон, и, скорее всего, этими размерами будет определяться размер частиц, ожидаемых при разрушении ЛТСМ».

19.4.6. Образование подвижной фракции пыли при высыхании помещений «Укрытия»

После создания НБК и установления нового водного баланса в «Укрытии» при постепенном уменьшении влажности внутри объекта радиоактивная пыль, удерживаемая силами адгезии на стенах, потолках, полах помещений, значительно увеличит свою подвижность. При возмущениях она может подниматься в воздух в виде аэрозолей.

Произойдет и пересыхание многих скоплений воды. При этом донные отложения также дадут свой вклад в образование радиоактивных аэрозолей.

Существуют и другие процессы, которые могут привести к возрастанию количества радиоактивных аэрозолей в «Укрытии».

Во-первых, речь идет о постепенном разрушении под действием радиации пылеподавляющих покрытий (пленок), многие десятки тонн которых были нанесены на поверхности внутренних помещений «Укрытия» во время проведения в них работ. Особенно большие объемы пылеподавляющих покрытий наносились в 1986–1990 гг. (рис. 34).

С годами влияние всех этих источников пыли может стать существенным фактором для безопасного проведения работ по извлечению ТСМ из объекта «Укрытие».

Во-вторых, проведенные относительно недавно исследования по образованию топливосодержащей пыли на поверхности ЛТСМ в пом. 304/3 (см. [50]) показали, как пишут авторы, что:

«Освобождение от воды капиллярной структуры ЛТСМ после их высыхания в условиях нового конфайнмента 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).



Рис. 34. Взятие образца с поверхности бетона, покрытой пылеподавляющим покрытием

ЛИТЕРАТУРА

1. Анализ текущей безопасности объекта «Укрытие» и прогнозные оценки развития ситуации. Отв. Исполнитель Боровой А.А. Отчет МНТЦ «Укрытие», № 3601, Чернобыль, 1996. — 272 с.
2. Арутюнян Р.В., Большов Л.А., Боровой А.А., Велихов Е.П., Ключников А.А. Ядерное топливо в объекте «Укрытие» Чернобыльской АЭС. М.: Наука, 2010. — 240 с.
3. Borovoi A.A., Lagunenکو A.S., Pazukhin E.M. Radiochemical and Selected Physicochemical Characteristics of Lava and Concrete Samples from Subreactor Room № 304/3 of the Fourth Unit of ChNPP. Their Connection with the Accident Scenario. Radiochemistry, Vol. 41, No. 2, 1999, pp. 187–192.
4. Боровой А.А., Лагуненко А.С., Пазухин Э.М. Новые оценки количества ядерного топлива, находящегося на нижних отметках объекта «Укрытие». В сборнике «Проблемы Чернобыля», выпуск 6, Чернобыль, 2000, с. 13–16.
5. Borovoi A., Gavrilov S. Development of the Data Base “Nuclear Fuel and Radioactive Waste in the Shelter of Chernobyl NPP”, Nuclear Engineering International, April 1996.
6. Pretzsch G., Salat E., Seleznev A., Seredynin E. The Chernobyl Sarcophagus Project of the German-French initiative. Twentieth Annual ESRI International User Conference, San Diego, California, U.S.A., June 26–30, 2000, paper 515.
7. Богатов С.А., Боровой А.А., Высоцкий Е.Д., Гаврилов С.Л., Гнеденко В.Г., Иванов А.И., Пазухин Э.М., Хвощинский В.А., Яковлев Г.В. Работы по обеспечению безопасности объекта «Укрытие» (1996–2001 гг.). Препринт «Курчатовского института», ИАЭ-6226/11, Москва, 2001, 23 с.
8. Чернобыль: Германо-французская инициатива: Программа «Саркофаг». http://www.irsн.fr/FR/connaissances/Installations_nucleaires/Les-accidents-nucleaires/accident-tchernobyl-1986/consequences-industrie-nucleaire/Documents/rapport_ifa_programme_1.pdf.

9. Богатов С.А., Боровой А.А., Киселев А.Н. и др. Оценка скорости эрозии топливосодержащих масс внутри «Саркофага» и характеристики образующихся частиц. Препринт ИАЭ им. И.В. Курчатова № 5434/3. М., 1991. — 21 с.
10. Богатов С.А., Боровой А.А., Евстратенко А.С. и др. Динамика поведения топливных масс в объекте «Укрытие». Препринт 92-29, АНУ МНТЦ «Укрытие». Киев, 1992. — 19 с.
11. Боровой А.А., Евстратенко А.С., Криницын А.П. и др. Динамика радиационной обстановки на объекте «Укрытие». В сборнике «Объект «Укрытие» — 10 лет», основные результаты научных исследований, Национальная Академия Наук Украины, Чернобыль, 1996. — С. 100–111.
12. Изучение механизмов и динамики разрушения топливосодержащих материалов объекта «Укрытие» под действием внешних факторов. Отчет о НИР (заключительный) МНТЦ «Укрытие», № 3806, Чернобыль, 2000. — 43 с.
13. Разработка программы мониторинга поведения ТСМ. Разработка расчетно-аналитической прогнозной модели поведения ТСМ. Отчет РНЦ «Курчатовский институт». Руководитель А.А. Боровой. № SIP FCMP 03 2 EAM 01, М., 2004. — 72 с.
14. Богатов С.А., Боровой А.А., Пазухин Э.М. Результаты исследований долговременного поведения Чернобыльских лав в объекте «Укрытие». Препринт Российского научного центра «Курчатовский институт», ИАЭ-6565/3, 2009. — 38 с.
15. Платонов П.А., Штромбах Я.И. и др. Исследование структуры и физико-химических свойств топливосодержащих композиций из объекта «Укрытие». Отчет по договору с КЭ при ИАЭ, инв. № 6/1990 от 12.12.90. — 32 с.
16. Боровой А.А., Штромбах Я.И. О разрушении ЛТСМ. Справка ИАЭ им. И.В. Курчатова, 1990. — 1 с.
17. Барьяхтар В.Г., Гончар В.В., Жидков А.В., Ключников А.А. О пылегенерирующей способности аварийного облученного топлива и лавообразных топливосодержащих материалов объекта «Укрытие». Препринт МНТЦ «Укрытие», № 97-10, Чернобыль, 1997. — 20 с.
18. Барьяхтар В.Г., Гончар В.В., Жидков А.В., Ключников А.А. Радиационные повреждения в лавообразных топливосодержащих материалах объекта «Укрытие». Препринт МНТЦ «Укрытие» № 98-12, 1998. — 23 с.
19. Жидков А.В. Топливосодержащие материалы объекта «Укрытие» сегодня: актуальные физические свойства и возможности прогнозирования их состояния. В сборнике «Проблемы Чернобыля», выпуск 7, 2001. — С. 23–40.
20. Исследование взаимодействия топлива с конструкционными материалами в объекте «Укрытие». Обобщающий отчет по договору 39-901/63-16-2-1 от 10.02.91, № 11.07/285 от 13.12.91. Заказчик: Комплексная экспедиция ИАЭ им. И.В. Курчатова, исполнитель: Радиевый институт им. В.Г. Хлопина. Чернобыль — Санкт-Петербург. — 77 с.
21. Андерсон Е.Б., Бураков Б.Е., Шашуков Е.А. Изучение физико-химических свойств топливосодержащих масс объекта «Укрытие». Отчет о НИР по договору № 03-63/92 НПО «РИ» инв. № 4320И, С.Петербург, 1992. — 32 с.
22. «Examination of Chernobyl samples impact on the accident scenario understanding». IPSN MARS 1993. — 102 с.
23. Ushakov V.S., Burakov B.E., Andersen E.B. Interaction of UO_2 and zircaloy during the Chernobyl accident. Mater. Res. Soc. Symp. Proc. (1997), 465 (Scientific Basis for Nuclear Waste Management XX), 1313–1318.

24. Teterin Yu.A., Baev A.S., Bogatov S.A. X-Ray photoelectron study of samples containing reactor fuel from «lava» and products growing on it which formed at Chernobyl NPP due to the accident. *Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena* v. 68, 1994, p. 685–694.
25. Бураков Б.У., Пазухин Э.М., Николаева Л.Д. и др. Исследование взаимодействия топлива с конструкционными материалами в объекте «Укрытие». Заключительный отчет МНТЦ «Укрытие», №11-07/16, 1992. — 31 с.
26. Burakov B.E. Material study of Chernobyl “lava” and “hot” particles 1. International Experts’ Meeting on Decommissioning and Remediation after a Nuclear Accident Vienna, Austria, 28 January – 1 February 2013 <http://www-pub.iaea.org/iaemeetings/IEM4/30Jan/Burakov.pdf>.
27. Богатов С.А., Боровой А.А., Гаврилов С.Л., Пазухин Э.М. Микроструктура лавообразных ТСМ объекта «Укрытие». Препринт ИБРАЭ № IBRAE-2008-05. М., 2008. — 22 с.
28. Богатов С.А., Боровой А.А., Киселев А.Н. и др. Оценка скорости эрозии топливосодержащих масс внутри «Саркофага» и характеристики образующихся частиц. Препринт ИАЭ-5434/3. М., 1991. — 21 с.
29. Боровой А.А., Цуриков Д.Ф., Штроббах Я.И. Чернобыльские лавы и остеклованные отходы (динамика разрушения). Препринт РНЦ «Курчатовский институт» ИАЭ-6626/3. М., 2010. — 31 с.
30. Adams P.B. Relative Leach Behavior of Waste Glasses and Naturally Occurring Glasses. *Proceedings of an International Symposium, Cincinnati, Ohio. Ceramics in Nuclear Waste Management, CONF-790420. Washington, D.C.: U.S. Department of Energy, Technical Information Center, 1979.*
31. Weber J.W., Ewing R.C., Angell C.A., Arnold G.W., Cormack A.N., Delaye J.M., Hobbs L.W., Navrotsky A., Price D.L., Stoneham A.M., Weinberg M.C. Radiation effects in glasses used for immobilization of high-level waste and plutonium disposition. *J. Mater. Res.*, Vol. 12, #8 (1997), pp. 1946–1978.
32. Weber W.J. Radiation Effects in Glass Waste Forms. International Workshop “Glass as a waste form and vitrification Technology”. Washington D.C, May 13–15 1996, Summary 1997, E38-E39.
33. Ewing R.C., Weber W. J., Clinard F.W., Jr. Radiation Effects in Nuclear Waste Forms for High-Level Radioactive Waste. *Progress in Nuclear Energy An International Review Journal*. Vol. 29, No. 2, 1995, p. 63–127.
34. Bibler N.E. Effects of alpha, gamma, and alpha-recoil radiation on borosilicate glass. In *Scientific Basis for Nuclear Waste Management*, edited by S.V. Topp. *Mater. Res. Soc. Symp. Proc.* 6, North-Holland, New York, 1982, p. 681.
35. Day D.H., Hughes A.E., Leake J.W., Marples J.A.C., Marsh G.P., Rae J., and Wade B.O. The management of radioactive wastes. *Rep. Prog. Phys.* 48, 1985, p. 101.
36. Inagaki Y., Furuya H., Idemitsu K., Banba T., Matsumoto S., and Muraoka S. Effect of α -decay on mechanical properties of simulated nuclear waste glass. *Scientific Basis for Nuclear Waste Management XV*, edited by C.G. Sombret (*Mater. Res. Soc. Symp. Proc.* 257, Pittsburgh, PA, 1992), p. 199.
37. Banba T., Matsumoto S., Muraoka S., Yamada K., Saito M., Ishikawa H., and Sasaki N. Effects of α -decay on the properties of actual nuclear waste glass. *Scientific Basis for Nuclear Waste Management XVIII*, edited by T. Murakami and R.C. Ewing. *Mater. Res. Soc. Symp. Proc.* 353, Pittsburgh, PA, 1995, p. 1397.

38. Sato S., Furuya H., Kozaka T., Inagaki Y., and Tamai T. Volumetric change of simulated waste glass irradiated with ion, electron and γ -ray. *J. Nucl. Mater.* 152, 1988, p. 265.
39. Hall A.R., Dalton J.T., Hudson B. and Marples J.A.C. Development and radiation stability of glasses for high-level wastes. *Management of Radioactive Wastes from the Nuclear Fuel Cycle*, Vol. II, IAEA-SM-207. International Atomic Energy Agency, Vienna, 1976, p. 3.
40. Malow G., Marples J.A.C., and Sombret C. Thermal and radiation effects on properties of high-level waste products. *Radioactive Waste Management and Disposal*, edited by R. Simon and S. Orłowski. Harwood Academic Publishers, Chur, Switzerland, 1980, p. 341.
41. Turcotte R.P. Radiation effect in solidified high-level wastes – part 2. *Radiation Effects in Solidified High-Level Wastes-Part 2*, Helium Behavior, BNWL-2051. Pacific Northwest National Laboratory, Richland, WA, 1976.
42. Malow G. and Andresen H. Helium formation from α -decay and its significance for radioactive waste glasses. *Scientific Basis for Nuclear Waste Management*, Vol. 1, edited by G.J. McCarthy. Plenum Press, New York, 1979, p. 109.
43. Weber W.J., Turcotte R.P., Bunnell L.R., Roberts F.P., and Westsik J.H. Radiation effects in vitreous and devitrified simulated waste glass. *Ceramics in Nuclear Waste Management*, edited by T.D. Chikalla and J.E. Mendel, CONF-790420. National Technical Information Service, Springfield, VA, 1979, p. 294.
44. *Phase Separation in Glass*. Edited by O.V. Mazurin and E.A. Porai-Koshits. North-Holland, Amsterdam. 1984.
45. Howitt D.G., Chan H.W., De Natale J.F., and Heuer J.P. J. Mechanism for the radiolytically induced decomposition of soda-silicate glasses. *Am. Ceram. Soc.* 74, 1145, 1991.
46. Eyal Y. and Fleischer R.L. Preferential leaching and the age of radiation damage from α -decay in minerals. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 49, 1155, 1985.
47. Weber W.J., Corrales L.R., Ness N.J., Williford R.E., Heinisch H.L., Thevuthasan S., Icenhower J.P., McGrail B.P., Devanathan R., VanGinhoven R.M., Song J., Park B., Jiang W., Begg B.D., Birtcher R.B., Chen X., Conradson S.D. Radiation effects in nuclear waste materials. Final Report, PNNL-13345 (Project Number: 54672). Project Duration: 09/01/1996 – 09/30/2000.
48. Соболев И.А., Ожован М.И., Щербатова Т.Д., Батюхнова О.Г. Стекла для радиоактивных отходов. М., Энергоатомиздат, 1999. – 240 с.
49. SIP FCMP 03 2 EAM 01 Разработка расчетно-аналитической прогнозной модели поведения ТСМ. 2004, 72 с.
50. Бадковский В.П., Ключников А.А., Меленевский А.Э. и др. Генерация топливосодержащей пыли лавообразными материалами объекта «Укрытие». В сборнике «Проблеми безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля», Вип. 20, 2013. – С. 68–76.

20. СТАБИЛИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ (2004–2008 гг.)

20.1. Работы на промплощадке ЧАЭС в начале 2000-х годов

Начало работ по плану SIP можно отсчитывать с апреля 1998 г., с момента заключения контракта с группой управления проектом (ГУП). «Эта дата является отправной точкой для всех сроков по SIP, началом координат, потому что фактически SIP заработал после появления ГУП» [1].

Если обратиться к первоначальным планам (см. рис. 7, Глава 18) то основные работы по стабилизации строительных конструкций (СК) должны были начаться через ~2 года после этой отправной точки, т.е. в 2000 г.

Реально они начались в декабре 2004 г. На ~4 года позже запланированного срока¹.

Причин такого отставания можно указать много, но главную роль, с нашей точки зрения, играли две.

Первая заключалась в нечеткой вертикали управления проектом (к тому же организации и конкретные исполнители в этой вертикали часто менялись) и, следовательно, в размытой ответственности.

Об этом много писалось и говорилось (см., например, [2–5]).

Вторая причина носила более объективный характер. «Укрытие» является уникальным и опасным ядерным объектом, многое в котором остается «terra incognita» (неизведанной землей). Проведение работ по его преобразованию потребовали от исполнителей всех уровней, а особенно работающих в ГУП, широких и в то же время достаточно специфических знаний. Большинство специалистов, пришедших для выполнения работ по SIP, не были к этому подготовлены.

В то же время далеко не полностью использовался опыт сотрудников, принимавших участие в многолетних работах на «Укрытии». Об этом уже писалось в 18 главе.

20.2. Стабилизационные мероприятия

Еще раз напомним о том, почему оказалась необходимой стабилизация СК.

Масштабные строительные работы по дополнительному укреплению «Укрытия» проводились в 87–89 гг. и позднее в 90-х годах.

¹Приведем еще одну цитату, из которой видно, как складывались финансовые расходы по проекту: «К началу 2004 года было выполнено работ по проекту SIP на сумму \$187,6 млн, что составляет около 25% запланированного объема, а реальных физических работ без учета затрат на управление (содержание группы управления проектом) было выполнено на сумму \$106,2 млн, или всего 15% запланированных» [2].

Необходимость первых была вызвана тем, что исследования КЭ выявили ряд внутренних конструкций, обрушение которых могло произойти даже в условиях относительно небольших внешних воздействий и привести к серьезным радиационным авариям (см. Часть 2, раздел 11.1).

В 90-х годах было проведено усиление ряда конструкций «Укрытия». Они существенно повлияли на несущую способность и устойчивость его западного фрагмента, который, как показало обследование, находился в аварийном состоянии. В результате было выполнено усиление опорных узлов балок Б1 и Б2 по оси 50 и участков западной стены, которая их поддерживает.

Были укреплены и конструкции вентиляционной трубы, общей для 3-го и 4-го блоков.

Вместе с тем, как показали дальнейшие исследования, проведенные работы не решили до конца вопроса о гарантированном стабильном состоянии «Укрытия» на время ~15 лет – срока, необходимого для сооружения нового безопасного конфаймента и частичной разборки нестабильных конструкций. Это иллюстрирует таблица 1, в которой перечислены наиболее опасные (с точки зрения обрушения) строительные конструкции.

Таблица 1. Зоны и строительные конструкции, для которых существовала максимальная опасность обрушения к моменту начала стабилизационных мероприятий [6]

Зоны и строительные конструкции	Вероятность разрушения 1/год	Вид нагрузки, определяющей необходимость стабилизации
Западная зона		
Стена по оси 50 с прилегающим каркасом	$1,3 \times 10^{-1}$	Сейсмика ²
Западная контрфорсная стена	1×10^{-4}	
Южная зона		
Деаэрационная этажерка	$1,3 \times 10^{-1}$	Сейсмика
Восточная и северная зона		
Северная контрфорсная стена и узел ее сопряжения с северными щитами-«клюшками»	$1,4 \times 10^{-2}$	Экстремальный ветер
Западная опора балки «Мамонт»	$1,3 \times 10^{-1}$	Сейсмика
Восточная опора балки «Мамонт»	$1,3 \times 10^{-1}$	Сейсмика
Южные щиты-«клюшки»	$1,4 \times 10^{-2}$	Экстремальный ветер
Восточная и северная зона		
Северная контрфорсная стена и узел ее сопряжения с северными щитами-«клюшками»	$1,4 \times 10^{-2}$	Экстремальный ветер

Началу работ по стабилизации СК предшествовал ряд предварительных этапов³.

²Сейсмика 6 баллов.

³Разработкой концептуальной и проектной документации занимался Консорциумом КСК в составе:

- Киевский Научно-Исследовательский и Проектно-Конструкторский Институт «Энергопроект»;
- Государственный Научно-Исследовательский Институт Строительных Конструкций;
- Институт проблем безопасности АЭС Национальной Академии Наук Украины.

- Были определены конструкции, которые требовали укрепления (см. таблицу 1).
- Предложены мероприятия по стабилизации этих конструкций.
- Проведены расчеты повышения их стабильности после выполнения необходимых работ по укреплению (см. таблицу 2).

Таблица 2. Вероятность разрушения конструкций после их стабилизации

Зоны и конструкции	Вероятность разрушения после выполнения работ по стабилизации, 1/год
Западная зона	
Стена по оси 50 с прилегающим каркасом	2×10^{-3}
Западная контрфорсная стена	1×10^{-4}
Южная зона	
Деаэрационная этажерка	1×10^{-3}
Восточная и северная зона	
Северная контрфорсная стена и узел ее сопряжения с северными щитами-«клюшками»	1×10^{-4}
Западная опора балки «Мамонт»	1×10^{-3}
Восточная опора балки «Мамонт»	1×10^{-3}
Южные щиты-«клюшки»	4×10^{-4}

Среди предлагаемых мероприятий была выделена группа **безотлагательных** (см. рис. 1).

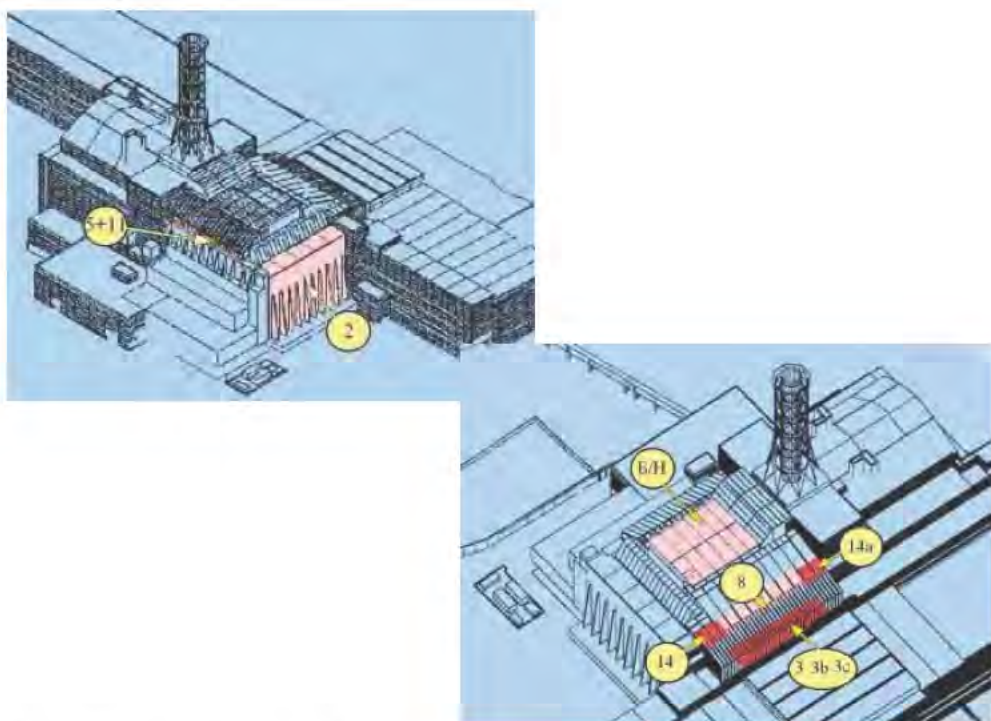


Рис. 1. Места проведения работ по проведению **безотлагательных** мер по стабилизации конструкций «Укрытия». В кружках — номера мероприятий

В таблице 3 приведена краткая характеристика планируемых работ по отдельным безотлагательным мероприятиям⁴.

Таблица 3. Зоны, номера мероприятий по стабилизации СК и их краткая характеристика

Номер мероприятия	Краткая характеристика планируемых работ
Западная зона. Мероприятие № 2	Сооружение дополнительной металлической опорной конструкции, которая позволит уменьшить нагрузки на поврежденную взрывом западную стену четвертого энергоблока.
Южная зона. Мероприятия № 3, 3b и 3c	Дополнительное укрепление каркаса деаэрационной этажерки и плит перекрытия в южной зоне
Восточная и северная зона. Мероприятия № (5+11)	Соединение северных щитов-«ключек» с северной контрфорсной стеной и укладку бетона в контрфорсную стену до проектных отметок.
Мероприятие без номера (Б/Н)	Замена и герметизация легкой кровли. Частичный ремонт существующего настила
Мероприятие № 14	Укрепление западной опоры балки «Мамонт». Приварка дополнительных металлических элементов
Мероприятие № 14a	Укрепление восточной опоры балки «Мамонт». Замоноличивание полостей в основании опоры
Мероприятие № 8	Соединение южных щитов и щитов-«ключек» между собой при помощи металлической фермы

20.3. Выполнение работ по стабилизации. Мероприятие № 2

Началу выполнения мероприятий на объекте предшествовали подготовительные работы по созданию необходимых объектов инфраструктуры. В том числе — строительной базы и нового санпропускника почти на 1.5 тысячи мест, центра подготовки персонала, реабилитационного центра, прокладка инженерных сетей и автодорог и т.п.

Непосредственным осуществлением мероприятий на объекте занимался Российско-Украинский Консорциум «Стабилизация» в составе:

- ЗАО «Атомстройэкспорт» — лидер Консорциума,
 - «Южтеплоэнергомонтаж»,
 - «Атомэнергостройпроект»,
- а также «Управление строительства Ровенской АЭС».

Специалисты КСК осуществляли авторский надзор за ходом выполнения рабочего проекта.

В октябре 2003 г. был завершен рабочий проект стабилизации. В период 2004—2006 гг. были завершены все запланированные мероприятия, кроме замены и герметизации легкой кровли (выполнено в 2008 г.).

Работы по стабилизации СК «Укрытия» описаны во многих статьях и технических документах (см., например, [6—15]).

⁴Часть мероприятий не попала в перечень первоочередных, поэтому номера в таблице 3 следуют не по порядку.

В этом разделе мы остановимся только на одном из мероприятий, наиболее масштабном (№ 2), которое позволило обезопасить западный фрагмент объекта «Укрытие».

Если все предыдущие работы по усилению этого фрагмента были необходимыми, но далеко не достаточными⁵, то теперь предлагался кардинальный подход.

Было решено вблизи от «Укрытия» возвести дополнительное сооружение, которое позволило бы передать часть нагрузок от балок Б1 и Б2, легкой кровли и трубного наката, на новые мощные металлоконструкции усиления (МКУ) и тем самым разгрузить разрушенную стену по оси 50.

Принципиальная схема такого сооружения приведена на рис. 2 и 3.

Ее внешний вид (по сравнению с прежним видом контрфорсной стены) показан на фотографиях (рис. 4).

С запада от контрфорсной стены на массивных железобетонных фундаментах⁶ были возведены две пространственных металлических башни — опоры.

Их размеры в плане 8.5 на 15 м и полная высота около 50 м.

Между собой башни объединены пространственными блок — фермами на отметках +26.000, +41.600 и +58.100.

Наверху башни имеют консоли вылетом 23 м в восточном направлении, на которые и передаются вертикальные нагрузки от блоков балок Б1 и Б2 (рис. 2–7).

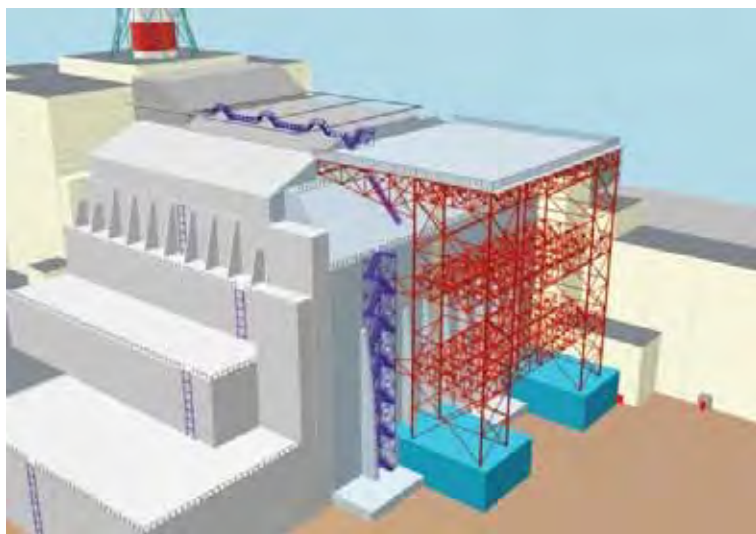


Рис. 2. Принципиальная схема стабилизации западного фрагмента (Мероприятие № 2)

⁵Несущая способность опор балок Б1 и Б2 по оси 50 по ряду Ж и по оси 50 по ряду П оставалась не обеспеченной при экстремальных воздействиях.

⁶Фундаменты выполнены в виде двух монолитных железобетонных массивов по рядам Ж и П у контрфорсной стены с отметкой верха +14.000. Они опираются на монолитную железобетонную плиту с отметкой верха +6.600 и частично с восточной стороны — на фундамент контрфорсной стены (рис. 3 и 5).

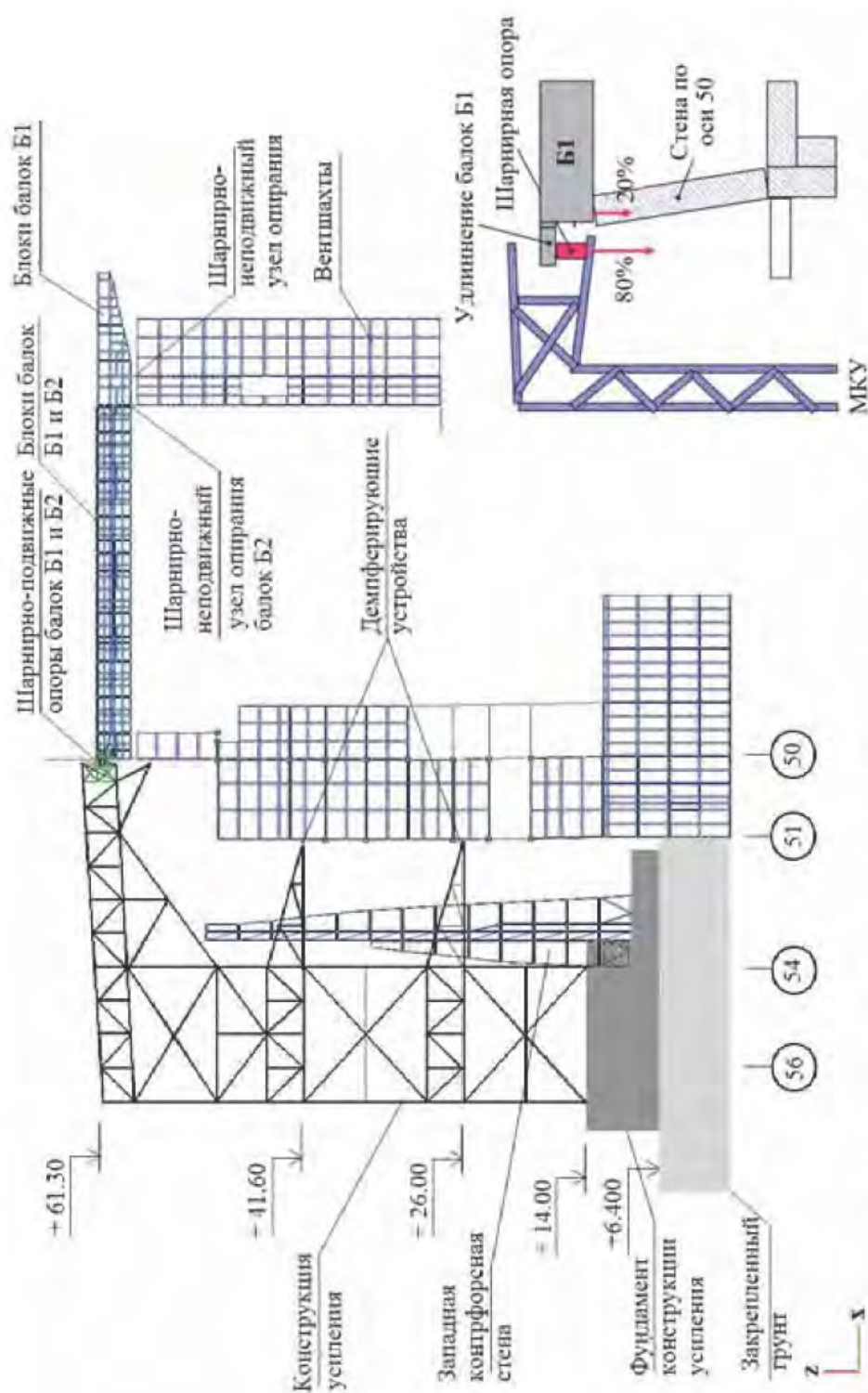


Рис. 3. Вид модели МКУ со стороны ряда В и схема передачи нагрузок от балок к МКУ [16]



Рис. 4. Вид на «Укрытие» с запада до и после выполнения Мероприятия № 2



Рис. 5. Строительство фундаментов для МКУ



Рис. 6. Вид сверху на конструкции усиления

Опираие балок на конструкции усиления осуществляется через шарнирно-подвижные опоры скользящего типа.

Дополнительно к этому на случай возникновения горизонтальных нагрузок в направлении «восток—запад» создана система специальных упоров, размещенных на трех уровнях конструкции.



Рис. 7. Металлическое кровельное покрытие МКУ

Общая масса металлоконструкций усиления — 750 т, арматурных изделий — 180 т, опалубки несъемной — 65 т. Объем железобетонного фундамента — 4 500 кубических метров.

Оценки показали, что при максимальном расчетном землетрясении (6 баллов) МКУ должна принять на себя основную часть нагрузки и значительно уменьшить риск разрушения западного фрагмента⁷.

Сверху новой опорной конструкции предусматривалось кровельное покрытие (рис. 7).

Четвертый этап работ по стабилизации, во время которого было выполнено мероприятие № 2, продолжался с мая 2004 по декабрь 2006 года.

Особое внимание при работах по стабилизации уделялось **проблемам безопасности**.

В том числе:

- максимальному использованию предыдущего опыта крупномасштабных работ на «Укрытии»;
- анализу полученных данных о дозовых полях в местах производства работ и на путях доступа в рабочую зону, оптимизации путей доступа (см. рис. 8);



Рис. 8. Мероприятие № 2. Пути доступа в зону производства работ по западному фрагменту. Радиационная обстановка на маршрутах

⁷Это не отменяет того, что сразу после возведения НБК необходимо начать демонтаж кровли, балок Б1 и Б2 и верхних участков западной стены.

- предварительной очистке и дезактивации используемых помещений и путей доступа;
- принятию мер по снижению аэрозольной активности и использованию эффективных средств индивидуальной защиты персонала;
- математическому и физическому моделированию специальных защитных стенок и экранов и выбору их оптимальных вариантов;
- сооружению защитных экранов, стенок, домиков (см. рис. 9–11);
- привлечению высококвалифицированного персонала;
- организации его теоретического и практического обучения на базе учебно-тренировочного центра Чернобыльской АЭС в городе Славутич.
- отработке выполнения отдельных рабочих операций на специальных макетах для тренинга персонала (в чистой зоне):
- проведению монтажа конструкций укрупненными блоками, собранными в относительно чистой зоне и т.п.

Из специального помещения, находящегося вне зоны проведения работ, за ними осуществлялось видеонаблюдение.

Постоянно проводился медицинский и радиационный контроль за работающими на «Укрытии» специалистами.

«В Украине законодательно установлен предельно допустимый уровень внешнего и внутреннего облучения в размере 2 бэра в год. Это норма, определенная медицинской наукой, при которой не наносится вреда здоровью человека.

Для предотвращения случаев превышения допустимого уровня на Чернобыльской АЭС был установлен так называемый «контрольный уровень» в размере 1,4 бэра. Каждый работник в обязательном порядке обязан был при себе иметь специальный накопительный индивидуальный дозиметр, который позволяет контролировать полученную дозу.



Рис. 9. Мероприятие № 2. Мостовой переход и защитный оцинкованный домик



Рис. 10. Мероприятие № 2. Монтаж башенного крана «Potain» (грузоподъемностью 80 т). С его помощью на площадке укрупнительной сборки (в пределах локальной зоны) собирались блоки МКУ весом до 70 т. Затем эти блоки переносились в монтажную зону



Рис. 11. Мероприятие № 2. При подготовке к его выполнению для уменьшения коллективной дозы площадка сборки была защищена бетонной стеной-экраном. Толщина стены 400 мм, высота 9,6 м. Коэффициент ослабления гамма-излучения за стенкой на площадке укрупнительной сборки в среднем равен 2,5 [15]

Когда доза приближалась к показателю, близкому к 1,4 бэра, человек отстранялся от работы в зоне ионизирующего излучения, проходил выходной медицинский контроль, после которого направлялся для работы за пределами Зоны отчуждения... После завершения работ на объекте «Укрытие» каждый человек в обязательном порядке проходил медицинский и биофизический контроль в стационарных условиях. Это полное медицинское обследование, при котором проверяется сохранение первоначального состояния здоровья» [14].

Отметим, что показателем необходимости и эффективности такого контроля стала приостановка работ на 1,5–2 месяца при обнаружении следов трансурановых элементов в биологических пробах работающих на объекте.

После выяснения источников и механизмов попадания этих радионуклидов в организм были приняты необходимые меры, позволившие избежать внутреннего переоблучения.

20.4. Некоторые итоги работ по стабилизации

Главным итогом работ по стабилизации является значительное (на два порядка) снижение рисков обрушения СК объекта «Укрытие» (см. таблицы 1 и 2).

В первую очередь, это важно для обеспечения безопасности персонала на промплощадке ЧАЭС, в том числе и специалистов, участвующих в создании НБК.

Поэтому в ближайшие после стабилизации годы, когда эти риски будут оставаться малыми (10–15 лет), должны быть использованы с максимальной эффективностью для возведения «Арки», ее надвижения на существующее «Укрытие» и разборки его наиболее опасных верхних конструкций. Т.е. для реализации целей, поставленных в SIP.

Работы по стабилизации характеризовались не столько своей масштабностью (см. рис. 12) и необходимостью решать сложные технические задачи,

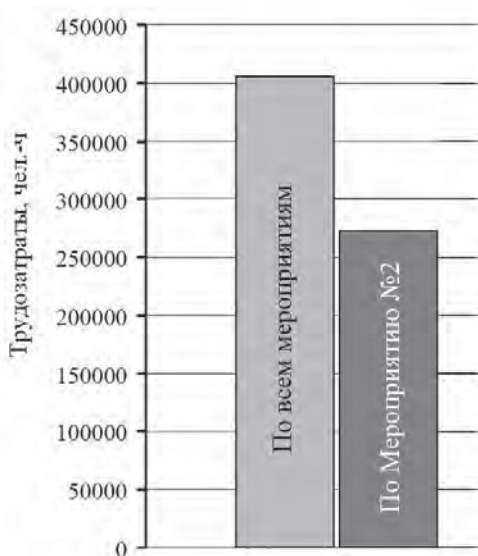


Рис. 12. Суммарные значения трудозатрат по всем Мероприятиям и по Мероприятию № 2

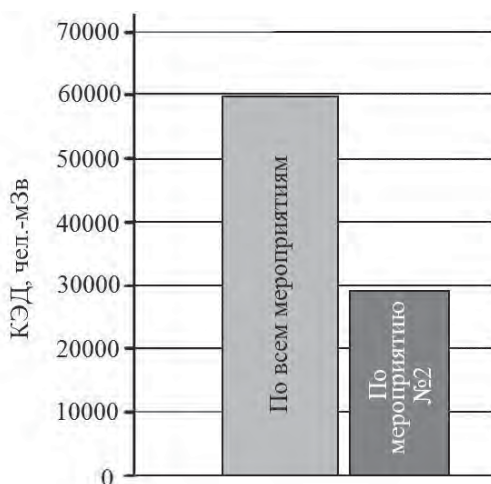


Рис. 13. Суммарные значения дозозатрат (коллективная эквивалентная доза) по всем Мероприятиям и по Мероприятию № 2

сколько тем, что выполнять их приходилось в тяжелых радиационных условиях.

Перечисленные выше меры безопасности позволили минимизировать как полученную коллективную эквивалентную дозу (КЭД) (рис. 13), так и индивидуальные дозы участников выполнения Мероприятий.

Многие из предложенных и апробированных в процессе стабилизации методов и средств обеспечения радиационной безопасности могут (и должны) использоваться при дальнейших работах по преобразованию «Укрытия».

ЛИТЕРАТУРА

1. Купный В.И. «Укрытие-2». Патовая ситуация сегодня, что делать завтра. <http://pripyat.com/articles/valentin-kupnyi-ukrytie-2-patovaya-situatsiya-segodnya-chto-delat-zavtra-ch1.html>.
2. Александр Носовский, Киевский ТелеграфЪ, 4 июля 2005. <http://nuclearno.com/text.asp?9902>.
3. Донорские подпорки для саркофага. Владимир Костенко http://gazeta.zn.ua/ENVIRONMENT/donorskie_podporki_dlya_sarkofaga.html.
4. Все хотят в Чернобыль. <http://pripyat.com/articles/vse-khotyat-v-chernobyl.html>.
5. Заец И. Авария на Чернобыльской АЭС: последствия и угрозы четверть века спустя. <http://dialogs.org.ua/ru/project/page16367.html>.
6. Преобразование объекта «Укрытие» (2005–2010 гг.). Материалы ИБРАЭ РАН. <http://www.ibrae.ac.ru/contents/204/>
7. Рабочий проект по стабилизационным мероприятиям. Общая пояснительная записка SIP К 02 01 000 EXN 001 03. ПОМ на ОУ. WBS A02 90510, Ред. 03. CFC. 2003 г.

8. Стабилизация объекта «Укрытие» (Чернобыльская АЭС). <http://www.ase.atomstroyexport.ru/projects/complete/project35/>
9. Стабилизация объекта «Укрытие» проведена качественно. <http://chernobil.info/?p=670>.
10. Алешин А.М., Батий В.Г., Глухенький В.Н. и др. Анализ безопасности реализации проекта стабилизации опорных узлов блоков балок Б1 и Б2. В сборнике «Проблемы Чернобыля», Вып. 6, Чернобыль, 2000 г., с. 25–35.
11. Ключников А.А., Щербин В.Н., Рудько В.М. и др. Опыт работы МНТЦ «Укрытие» по пакету А в рамках плана осуществления мероприятий (SIP). В сборнике «Проблемы Чернобыля», Вып. 9, Чернобыль, 2002 г., с. 118–123.
12. Ключников А.А., Щербин В.Н., Рудько В.М. и др. Оценка дополнительных воздействий на окружающую среду в процессе реализации работ по стабилизации объекта «Укрытие» В сборнике «Проблемы безопасности атомных электростанций и Чернобыля», Вып. 1, Чернобыль, 2004 г., с. 14–23.
13. Ключников А.А., Щербин В.Н., Рудько В.М. и др. Анализ радиационной безопасности в процессе производства работ по стабилизации. В сборнике «Проблемы безопасности атомных электростанций и Чернобыля», Вып. 1, Чернобыль, 2004 г., с. 24–34.
14. Борьба за безопасность ЧАЭС. <http://publicatom.ru/blog/stroyka/1475.html>.
15. Балан О.В., Батий В.Г., Глебкин С.И. и др. Оптимизация экранирования в процессе стабилизации строительных конструкций объекта «Укрытие». В сборнике «Проблемы безопасности атомных электростанций и Чернобыля», Вып. 4, Чернобыль, 2006 г., с. 104–110.
16. Проектные критерии для интегрированного проекта, ПП-АА01 13000, SIP WBS 1.1.01.25, 2000 с дополнением «Обоснование замены нагрузок от смерча на нагрузки от сильного ветра для Чернобыльской зоны при проектировании мер стабилизации» Редакция 0 от 21.12.000.
17. Борьба за безопасность ЧАЭС. <http://publicatom.ru/blog/stroyka/1475.html>.

21. НОВЫЙ БЕЗОПАСНЫЙ КОНФАЙНМЕНТ

21.1. Концептуальный проект НБК

В настоящем разделе мы кратко изложим этапы создания такого сложнейшего инженерного сооружения, как НБК, завершённые вплоть до настоящего времени (середина 2014 г.).

Следует отметить, что КИ не принимал активного участия ни в разработке Концептуального проекта (ТЭО), ни в научном сопровождении детального проектирования и строительства этого сооружения.

К «Курчатовскому институту» обращались только за консультациями по ряду вопросов, о некоторых из них будет рассказано ниже.

Напомним (см. Главу 18), что стратегия преобразования «Укрытия» в экологически безопасную систему включает в себя выполнение следующих этапов (см., также, [1–6] и др.).

- Во-первых, осуществление мероприятий по стабилизации состояния существующего объекта.
- Во-вторых, создание НБК.
- В-третьих, извлечение из ОУ топливосодержащих материалов и долгоживущих РАО, их кондиционирование с последующим хранением и захоронением¹.

Согласно первоначальным планам ввод в действие НБК должен был осуществиться через ~8,5 лет после начала реализации SIP (см. рис. 7, Глава 18, и [1]), т.е. в 2007 г. Сейчас (2014 г.) предполагается, что монтаж выбранного варианта удастся выполнить не ранее 2015 г. В дальнейшем следует приступить к демонтажу нестабильных конструкций «Укрытия».

Главные, с нашей точки зрения, причины многолетнего отставания строительства НБК от планов остались теми же, что обсуждались в Главе 20.

Новый безопасный конфейнмент должен служить достижению следующих целей:

- *«обеспечение защиты персонала, населения и окружающей среды от влияния источников ядерной и радиационной опасности, связанных с существованием объекта «Укрытие»;*
- *создание необходимых условий для осуществления практической деятельности по преобразованию объекта «Укрытие» в экологически безопасную систему, в том числе для извлечения остатков ядерного топлива и топливосодержащих материалов, выполнения работ по обращению с РАО и демонтажа/усиления нестабильных конструкций объекта «Укрытие» [5, 6].*

Разработчиком Концептуального проекта (ТЭО) НБК стал консорциум в составе:

- Bechtel International Systems;
- Electricite' de France;
- Battelle Memorial Institute.

¹Основная часть работ первых двух этапов выполняется в рамках SIP. Что касается третьего этапа, то здесь этот план предусматривал разработку только концептуальных предложений по созданию технологий извлечения TCM и РАО [4].

Работы выполнялись с привлечением Украинского консорциума КСК (НИИСК, КИЭП, МНТЦ).

Создание НБК включает в себя ввод в эксплуатацию двух пусковых комплексов [4].

1-й пусковой комплекс (ПК-1) – «Защитное сооружение с технологическими системами жизнеобеспечения и необходимой инфраструктурой».

2-й пусковой комплекс (ПК-2) – «Инфраструктура для демонтажа нестабильных конструкций объекта «Укрытие».

Окончательный выбор конструкции защитного сооружения был сделан не сразу.

Среди критериев отбора были следующие.

- Минимальные дозовые нагрузки в ходе строительства и обеспечение ядерной безопасности.

- Обеспечение максимальной локализации радиоактивных материалов внутри НБК.

- Минимизация количества РАО, как на стадии создания НБК, так и на стадии вывода его из эксплуатации.

- Минимизация стоимости объекта.

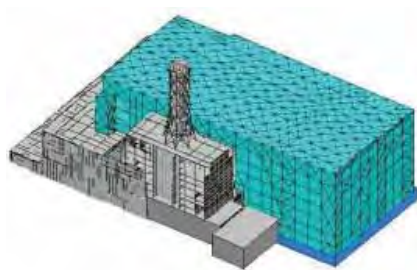
- Выполнение нормативных требований Украины и др.

Сначала рассматривались 12 вариантов, потом их осталось три.

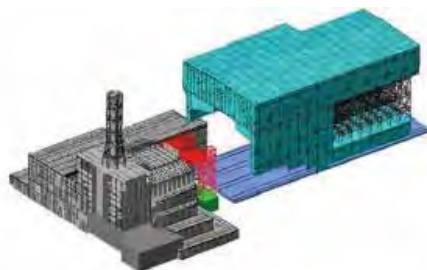
Проект *«Рама»* предполагал, что строительство НБК будет осуществляться на месте и перекроет часть объекта.

«Арка» собирается по сегментам на безопасном удалении от «Укрытия», а потом надвигается на него.

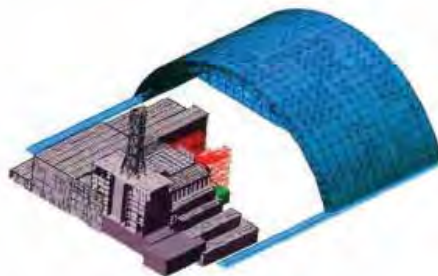
Проект *«Консоль»*, предложен украинскими специалистами. НБК после сборки в удаленном месте также должен был надвигаться на «Укрытие» (см. рис. 1).



НБК типа «Рама» (210×99×89 м)



НБК типа «Консоль» (114×246×97 м)



НБК типа «Арка» (257×150×108 м)

Рис. 1. Варианты проектов НБК

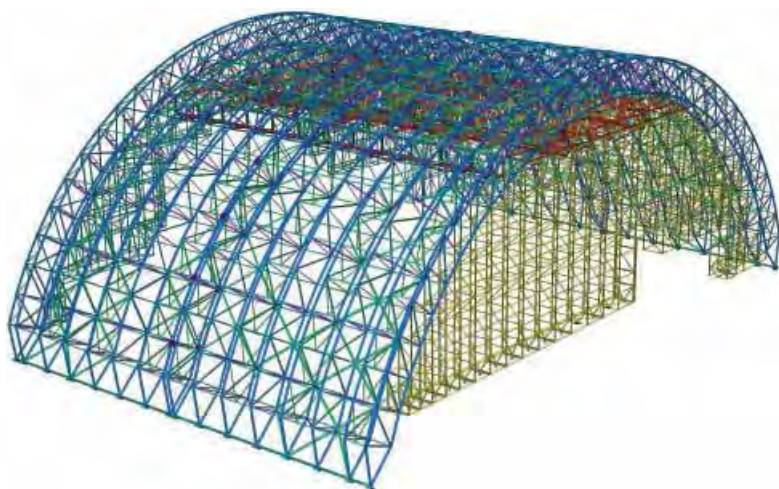


Рис. 2. Трехмерная модель стальной конструкции «Арки», разработанная консорциумом NOVARKA (см. ниже). Вид с северо-запада. Арочная конструкция состоит из 13 арок, шаг между ними – 12,5 м

В результате для разработки концептуального проекта был выбран вариант «Арка».

Среди обсуждавшихся вариантов это была наиболее крупная конструкция. Трехмерная модель ее несущей стальной части представлена рис. 2.

Схема движения «Арки» на объект «Укрытие» приведена на рис. 3. На рис. 4 показан поперечный разрез этой конструкции.

«Самая большая подвижная конструкция в истории человечества. В готовом виде НБК будет лишь на 11 м ниже, чем собор Святого Павла в Лондоне.

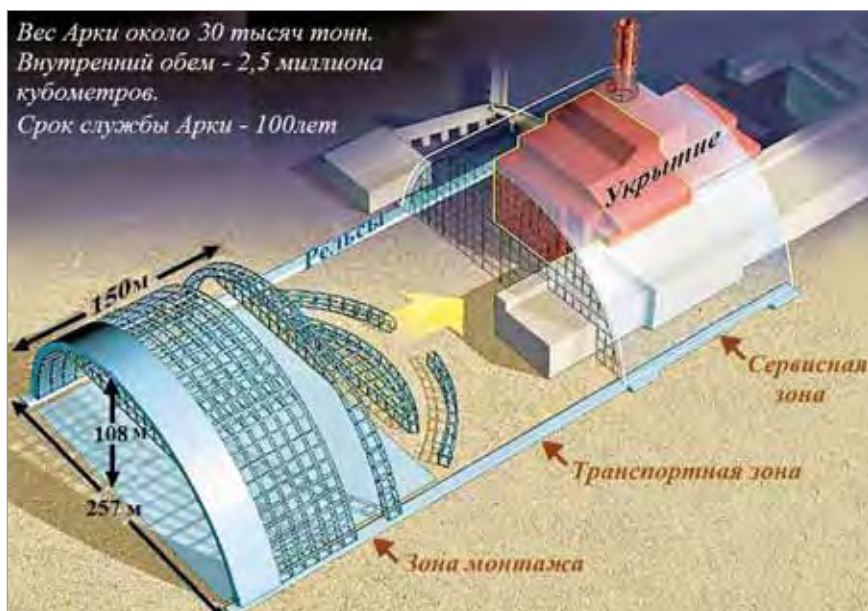


Рис. 3. Арка и схема ее движения на объект «Укрытие»

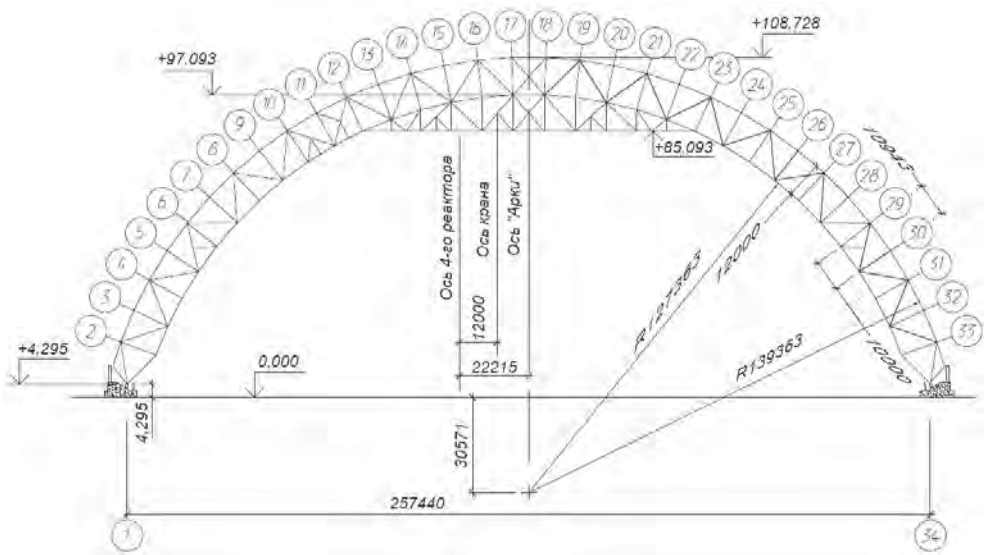


Рис. 4. «Арка» — поперечный разрез [7]

Высота его будет равняться высоте центрального пролета моста «Золотые ворота» в Сан-Франциско» [8].

Для герметизации «Арки» предусмотрены западная и восточная торцевые стены.

При этом западная торцевая стена опирается на собственный фундамент, а восточная — подвешивается к арочным конструкциям (рис. 5).

Долгий срок эксплуатации «Арки» (100 лет) требует выполнения целого ряда условий.

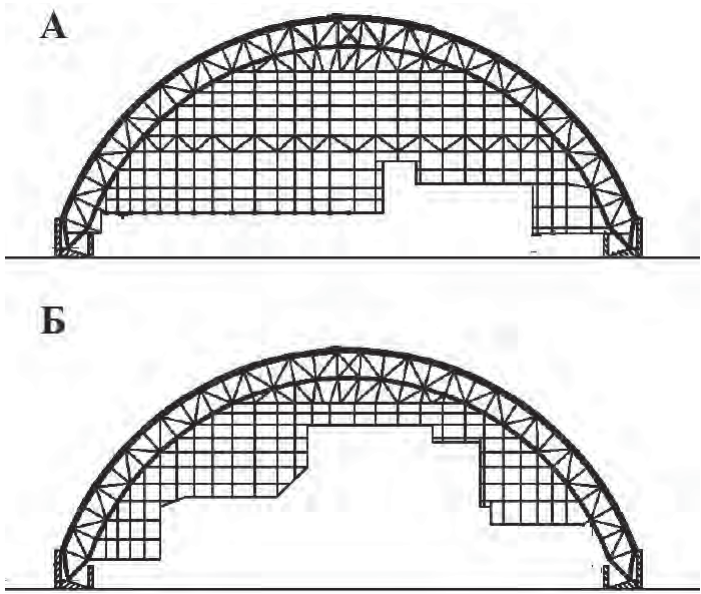


Рис. 5. Западная (А) и восточная (Б) торцевые стены «Арки» [7]

Среди них следующие.

- Учет при проектировании возможного воздействия на сооружение экстремальных нагрузок (землетрясения, смерча и т.п.).
- Применение материалов с высокими антикоррозийными свойствами, способных работать в повышенных радиационных полях.
- Выполнение оптимального регламента эксплуатации.
- Возможность ремонта и замены отдельных элементов сооружения, при котором оно не раскрывается.

Для дальнейших работ по демонтажу конструкций в верхней части арочной конструкции располагаются четыре подвесных крана грузоподъемностью по 40 т. Краны устанавливаются на двух путях (северном и южном), по два крана на путь.

Крановые пути расположены параллельно продольной оси «Арки» (в направлении «восток – запад») и обеспечивают доступ к верхним конструкциям «Укрытия» по всему пространству между северной контрфорсной стеной и балкой «Осьминог» (зона захвата – около 90 м).

Для помощи в проведении работ будет смонтирован и порталый кран (у западного конца площади, покрываемой аркой).

Кольцевое пространство между внутренней и внешней обшивками «Арки» вентилируется отдельным подогретым потоком внешнего воздуха. Это позволяет предотвратить образование конденсата на стальных конструкциях и на внутренней обшивке «Арки» и бороться с коррозией.

Кроме того, за счет избыточного давления в кольцевом пространстве (по отношению как к наружному давлению, так и к давлению внутри «Арки») реализуется принцип «воздушного замка». Он препятствует проникновению паров воды снаружи и радиоактивной пыли изнутри.

Внутри основного здания НБК предусмотрено расположение производственных участков для помещения демонтированных конструкций, их фрагментации, временного хранения РАО в контейнерах.

Кроме «Арки», в состав НБК входят:

- ***технологическое здание (корпус)²***;
- ***здание управления и контроля*** (см. рис. 6).

Технологический корпус состоит из основного двухэтажного здания и пристроек к нему с северной, южной и западной сторон.

Первый этаж оборудован двумя мостовыми кранами. В корпусе располагаются: центральный и местные щиты управления, системы вентиляции, электроснабжения и пожаротушения, участки дезактивации, вторичной фрагментации и упаковки, мастерская механического оборудования, цеха технического обслуживания, участок приготовления растворов пылеподавления, офисные помещения и санитарные шлюзы.

В здании управления размещаются системы жизнеобеспечения, управления и контроля безопасного конфайнмента.

Разработка концептуального проекта (ТЭО) НБК была выполнена в период с мая 2002 по ноябрь 2003 г.

²Часть сооружения размещается внутри арочного пространства.

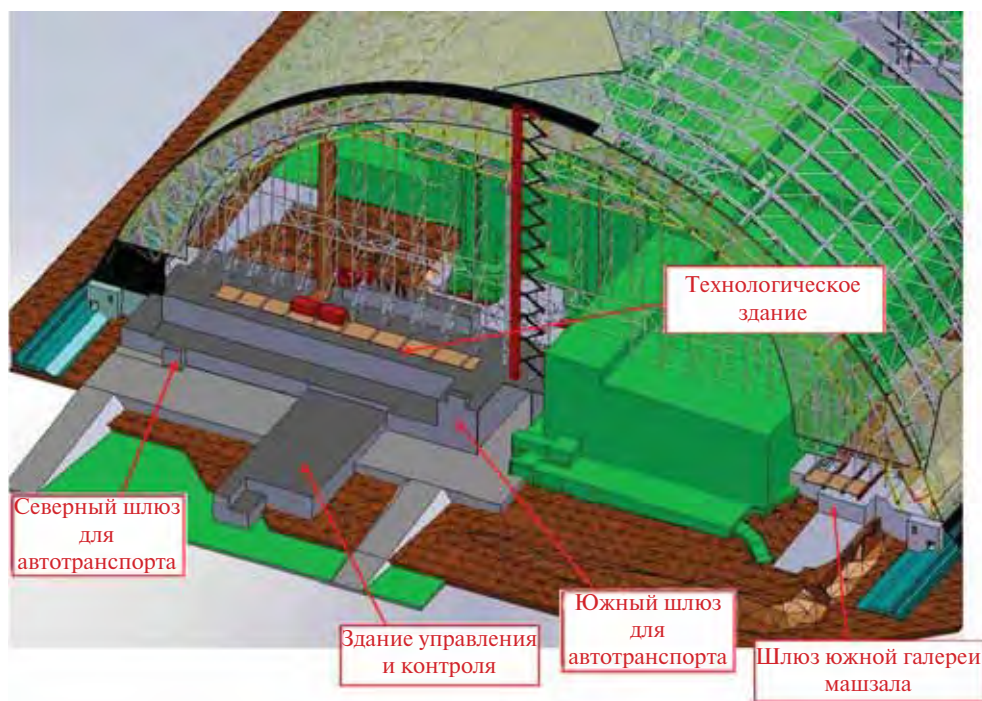


Рис. 6. Схема расположения зданий НБК (см., например, [9])

21.2. Создание НБК. Первый пусковой комплекс

12 марта 2004 года был объявлен тендер на создание НБК.

Параллельно с этим по Концептуальному проекту были проведены общественные слушания, а немного позднее состоялось заседание экспертной группы президиума НАН Украины и секции «Ядерная энергетика» НТС Минтопэнерго Украины.

Общее содержание дискуссий, высказанные на обсуждениях замечания и отношение к ним, при принятии окончательного решения [10], описаны в работе [11].

Только через 3.5 года, 10 августа 2007 г., между ГСП «Чернобыльская АЭС» и Консорциумом NOVARKA, в состав которого входят две французские компании «VINCI Construction Grands Projets» и «Bouygues Travaux Publics», был заключен контракт на проектирование, строительство и ввод в эксплуатацию первого пускового комплекса (ПК-1) нового безопасного конфайнмента.

Объем работ по ПК-1 включает.

- **Проектирование и строительство постоянных фундаментов НБК, возведение основной конструкции «Арки» вместе с оболочкой и системой основных кранов.**
- **Проектирование общей внутренней компоновки НБК, твердого изолирующего покрытия участков внутри НБК, площадок и т.п.**
- **Проектирование, изготовление, строительство (монтаж) и ввод в эксплуатацию технологических систем жизнеобеспечения и контроля состояния НБК, а также внешних инженерных коммуникаций для подключения систем жизнеобеспечения НБК к системам ЧАЭС.**

• *Проектирование и демонтаж существующей ВТ-2 до продвижения «Арки» в проектное положение (после ввода в эксплуатацию новой вентиляционной трубы).*

Среди работ по созданию НБК особое внимание уделялось закладке фундаментов³.

Это связано с тем, что их строительство должно было проходить в сложных радиационных условиях и привести к образованию большого объема РАО, в том числе и ВАО, поскольку при некоторых работах вскрывается «активный слой» (см. Часть 1, Глава 15).

Для закладки фундаментов, на которые должна опираться «Арка» (в сервисной зоне и при продвижении) с северной и южной стороны от объекта «Укрытие» были вырыты траншеи – котлованы, идущие к зоне монтажа (рис. 7)⁴.

В целом при закладке фундаментов, был выполнен большой объем работ по планировке и очистке территории, выемке грунта и т.п.⁵ В ходе работ были извлечены десятки тысяч кубометров различных материалов и ТРО, а также захороненные в грунте при строительстве «Укрытия» крупные механизмы (краны, тягач, землеройная техника).



Рис. 7 Котлованы под фундаменты «Арки» (см. [12])

³Согласно условиям контракта, Заказчик, Чернобыльская АЭС, должен передать подрядчику – консорциуму NOVARKA площадку, подготовленную к строительству: очищенную от существующих зданий и сооружений, с вырытыми котлованами под фундаменты НБК.

⁴Отметка дна котлованов – 113.5 м (в балтийской системе высот), что соответствует глубине траншеи от 1.5 до 4 м. Отметки расположения активного слоя в местах закладки фундаментов лежат пределах 113–115 м.

⁵Работы по очистке территории и подготовке строительства фундаментов НБК были выполнены в 2008–2010 гг. ДП «ЮТЭМ-Инжиниринг» с привлечением украинских субподрядчиков.

Серьезным препятствием для проведения траншеи с южной стороны стала мощная железобетонная конструкция, на которой в период строительства «Укрытия» был установлен кран «Демаг», так называемая берма⁶ «пионерной стены».

Она представляла собой прямоугольное сооружение размером 103×26 и высотой 7 метров. Для ликвидации бермы применялись самые различные технологии, использующиеся для разрушения железобетонных монолитных сооружений.

Всего было извлечено более 23 000 м³ различных материалов и ТРО (рис. 8)⁷.

Фундаменты, закладываемые для различных этапов работы, имели различные конструкции.

Так, в монтажной зоне фундаменты для собираемой «Арки» и подъемных башен опираются на металлические сваи, их диаметр 1 м, длина – 25 м.

Фундаменты в транспортной зоне – это монолитные железобетонные балки на естественном основании.

В сервисной зоне фундаменты опираются на сваи, выполненные с использованием буроинъекционной технологии (см. рис. 9, 10).

В монтажной зоне была построена специальная рабочая платформа общей площадью ~60 000 кв. м (рис. 11).

Для нее сделано специальное основание – сначала положен слой чистого песка и щебня, затем – армированный слой бетона.



Рис. 8. Разрушение бермы «пионерной стены» [13]

⁶Берма – кромка.

⁷Работа выполнялась корпорацией «Укртрансбуд» и была завершена в апреле 2008 г.



Рис. 9. Постановка в траншеях свай под фундамент с использованием буроинъекционной⁸ технологии. Вынутый грунт проходит сортировку по степени радиоактивности и загружается в контейнеры (см. слайд из [12])



Рис. 10. Испытания буроинъекционной технологии (июль 2011 г.)

⁸В этой технологии бурение до необходимой глубины проводится шнековым буром. Затем снизу вверх через полый бур закачивается бетон одновременно с извлечением бура и удалением вынутого грунта. Когда бетон достигает уровня земли, в свежий бетон до требуемой глубины вводится под собственным весом или с помощью вибрационного устройства стальной арматурный каркас.



Рис. 11. Южная часть монтажной платформы перед началом работ по сборке конструкций «Арки»

Строительство основания преследовало две цели: во-первых, снижение влияния радиации, идущей от загрязненной почвы. Во-вторых, свободное передвижение по платформе транспортных средств, которые должны доставлять тяжелые металлоконструкции арки.

Следует сказать, что для обеспечения работ были созданы и многочисленные объекты инфраструктуры, в том числе улучшены (проложены) чистые дороги для доставки материалов и оборудования, построены временные здания и сооружения для персонала (административные, хозяйственно-бытовые и др.), созданы специальные площадки для складирования и хранения поступающего оборудования и материалов НБК.

Возведение «Арки» начиналось с верхней части. Сегменты конструкции, предварительно собранные за пределами монтажной зоны, доставлялись в нее на многоколесных платформах (рис. 12).

Для более ясного представления о последовательности монтажа «Арки» мы воспользуемся несколькими слайдами (см. рис. 13–15 и 19–21), взятыми из демонстрационного фильма [12].

На фотографии (рис. 16) представлена «Арка» после первого подъема.

Второй подъем был проведен в июне 2013 г. (рис. 17), а третий (завершающий, для восточной части «Арки») в октябре 2013 г. (рис. 18).

Далее предполагалось выполнить три операции перемещения.

Передвинуть поставленную на фундаменты восточную часть «Арки» в направлении «Укрытия» в зону ожидания (рис. 19).

Собрать западную часть «Арки» и соединить две половины.

Передвинуть всю конструкцию из зоны монтажа в сервисную зону, в рабочее положение над «Укрытием».



Рис. 12. Каркасы двух первых сегментов «Арки» соединены друг с другом. Каждый сегмент весит в среднем 300 т и достигает 25 м в высоту [14]

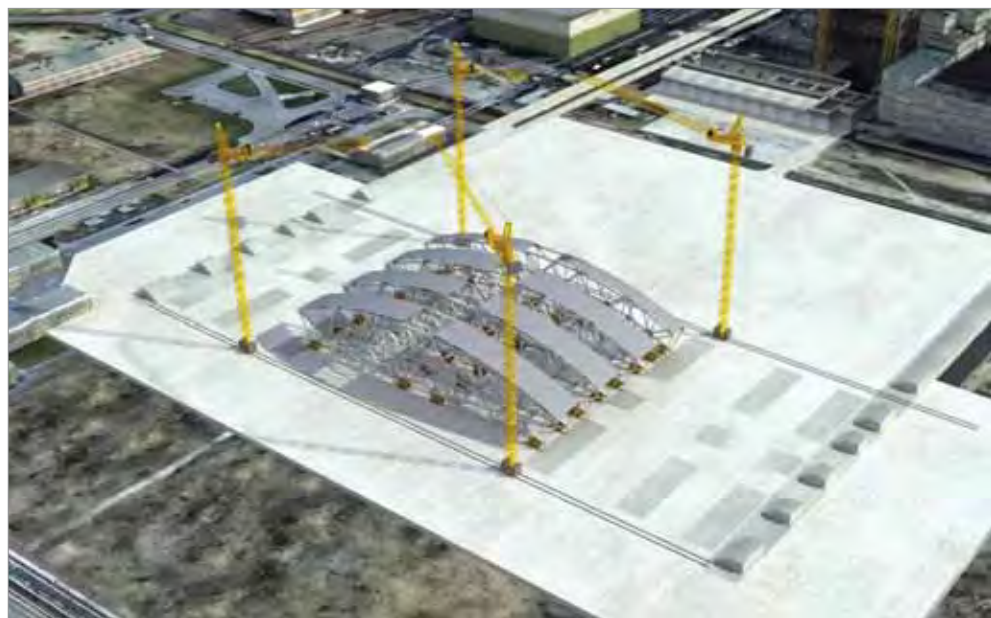


Рис. 13. Монтаж секций восточной части «Арки» (см. слайд из [12])

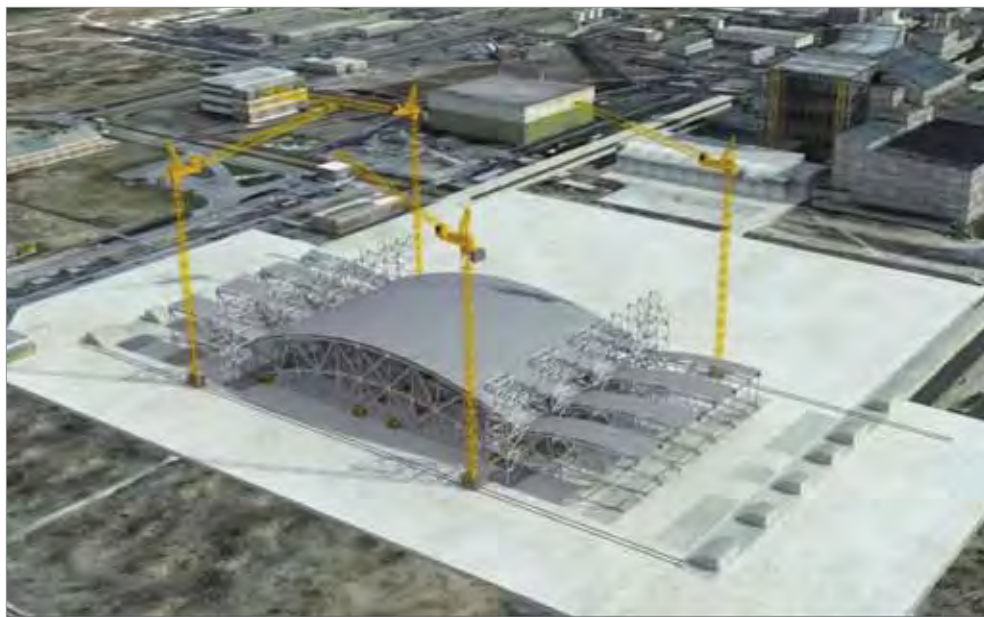


Рис. 14. На центральной части смонтирована наружная обшивка. Доставлены боковые сегменты «Арки», которые соединяются с центральной частью системой шарниров (см. слайд из [12])



Рис. 15. С помощью подъемных башен начинается первый подъем «Арки» (см. слайд из [12])



Рис. 16. «Арка» после первого подъема (ноябрь 2012 г.) [14]



Рис. 17. «Арка» после второго подъема. Справа и слева — подъемные башни [14]



Рис. 18. 3-й подъем завершен 11 октября 2013 года (сняты тросы гидравлических подъемников, нагрузка передана на фундаменты монтажной зоны) [14]



Рис. 19. Собранный восточная часть «Арки» должна быть перемещена в зону ожидания (см. слайд из [12])



Рис. 20. Начало работ по монтажу западной части «Арки» ([15])

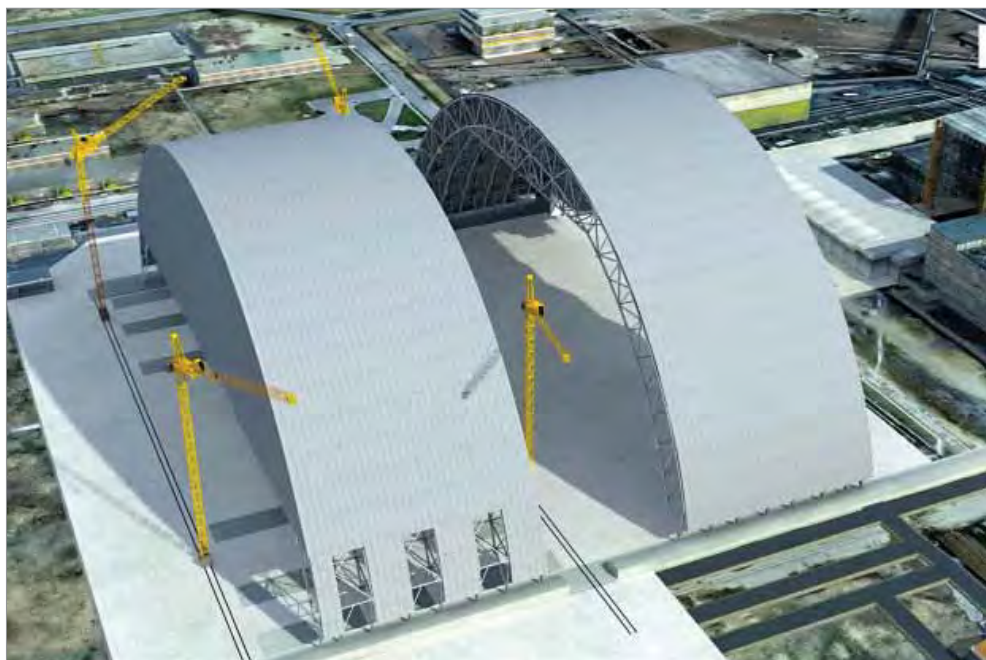


Рис. 21. Далее западная и восточная части «Арки» должны соединиться вместе и начать двигаться в сервисную зону (см. слайд из [12]). Это планируется осуществить в 2015 г.

Однако для того, чтобы интенсифицировать работы и продолжать сборку секций в зимний период 2014 г., «Арку» временно оставили в прежнем положении и под защитой смонтированных конструкций начали собирать западную часть Арки (рис. 20).

21.3. Создание НБК. Демонтаж вентиляционной трубы

Как уже говорилось выше, в состав работ, относящихся к ПК-1, входил демонтаж вентиляционной трубы (ВТ-2)⁹, общей для 3-го и 4-го блоков, и строительство новой вентиляционной трубы (НВТ)¹⁰ (см. рис. 22).

Вентиляционная труба II очереди ЧАЭС была построена в 1980 г. После аварии она обеспечивала организованный выброс радиоактивных аэрозолей из 3-го блока ЧАЭС и объекта «Укрытие» (из развала в ЦЗ).

Необходимость удаления ВТ-2 обуславливалась, прежде всего, тем, что она мешала надвинуть «Арку» в рабочее положение. К тому же срок эксплуатации трубы превысил проектный. А ведь в результате аварии ее опорные конструкции были еще и сильно повреждены, так, что в 1998 г. пришлось их ремонтировать и укреплять.



Рис. 22. Старая и новая (справа) вентиляционные трубы до начала демонтажа ВТ-2

⁹Эти работы выполнялись в рамках отдельного контракта. Генеральным подрядчиком проекта по демонтажу ВТ-2 выступила корпорация «Укртрансбуд».

¹⁰Работы по проекту новой вентиляционной трубы были выполнены в 2011 г. консорциумом в составе российского «Атомстройэкспорта» и «Укрэнергомонтажа».

Работа по демонтажу ВТ-2 была связана с преодолением целого ряда трудностей. К ним относятся:

- большая высота, на которой необходимо проводить работы (нижняя часть трубы находится на кровле, на высоте 74.5 м, а верхняя на высоте 150 м) и удаленность площадки, на которой можно было установить подъемный кран;
- значительный вес демонтируемых конструкций (всего около 330 тонн, из которых около трети приходится на опорные конструкции)¹¹;
- необходимость обеспечить при проведении работ их радиационную безопасность и разработать методику обращения с РАО.

Во время взрыва на площадки обслуживания ВТ-2 были выброшены фрагменты активной зоны, осела радиоактивная пыль. Внутренние конструкции также были загрязнены газопылевым выбросом. И, хотя в начале работ по ЛПА основные фрагменты топлива и графита были сброшены в развал реактора, дальнейшие обследования показали, что труба все еще сильно загрязнена. В ряде мест на ее площадках величины МЭД составляли десятки и сотни Р/час.

В последующем работы по очистке конструкций ВТ-2 и экранированию свинцом выброшенных АЗФ несколько раз возобновлялись (например, перед ремонтом ее основания и креплений в 1998 г.). В результате измерения, выполненные в 2004 г., показали, что величины МЭД на площадках трубы сильно снизились и лежат в пределах (0.03–0.15) Р/час. (рис. 23).

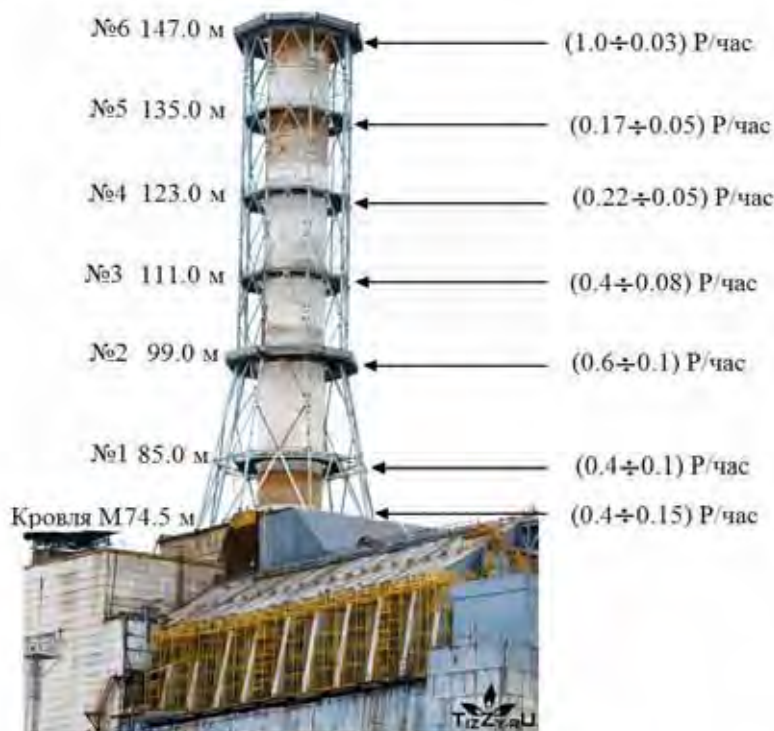


Рис. 23. Величины МЭД на площадках ВТ-2 (07.07.04 г.)

¹¹Разовый груз мог достигать 70 т.

Разборка и удаление конструкций ВТ-2 были начаты в конце октября 2013 г., после того как новая вентиляционная труба была введена в эксплуатацию.

Для демонтажа использовался сверхтяжелый кран «Демаг СС-8800-1».

Вот как описывал организацию работ представитель корпорации «Укртрансбуд» Владимир Беломытцев: «Из-за высокого уровня радиации на объекте сложность поставленной задачи заключалась в необходимости задействовать минимальное количество персонала, но при этом вложиться в небольшие сроки. В демонтаже были задействованы не более 50 человек. Благодаря слаженной работе команды проектировщиков и подрядчиков удалось разработать решение, благодаря которому демонтировать ВТ-2 удалось всего за 7 подъемов (рис. 24).

Для разрезания ствола трубы и опорной конструкции использовалась технология плазменной резки [15].

На специально выделенных площадках сегменты трубы разделялись на отдельные фрагменты, а затем перемещались на временное хранение в машинный зал 3-го блока. Перед размещением их обрабатывали специальным закрепляющим пылью составом.

Работа по демонтажу ВТ-2 была выполнена к концу ноября 2013 г.



Рис. 24. Подъем одной из частей ВТ-2

ЛИТЕРАТУРА

1. Shelter implementation plan – <http://chernobyl.undp.org/russian/docs/shelter.pdf>.
2. Стратегия преобразования объекта «Укрытие», согласованная решением Межведомственной Комиссии по вопросам комплексного решения проблем Чернобыльской АЭС. Протокол № 2 от 12.03.2001.
3. Документ по безопасности в рамках концепции проекта ПК-1 НБК. SIP-N-LI-22-A500_-CDS-001-01.
4. Стратегия дальнейшей реализации проекта НБК. SIP-P-PM-21-330-EXN-004-01.
5. Закон України «Про загальні засади подальшої експлуатації і зняття з експлуатації Чорнобильської АЕС та перетворення зруйнованого четвертого енергоблоку цієї АЕС на екологічно безпечну систему». № 309-XIV. 11.12.98 р.
6. Концептуальный Проект (ТЭО) Нового Безопасного Конфайнмента. Проектные критерии и требования к НБК. SIP-P-TM-21-330-DC-101-01. ГСП ЧАЭС. 2003. – 144 с.
7. Предложения подрядчика ПК-1 НБК по технической концепции ПК-1 НБК SIP-N-LI-22-A500-CDS-001-01.
8. Самая большая надвижная конструкция в истории человечества. Inside. Журнал Международного Чернобыльского центра Выпуск 13, 2004. – С. 10–12.
9. Новый безопасный конфайнмент. Пусковой комплекс – 1. ПРОЕКТ. Основное сооружение и система основных кранов. SIP-N-KP-22-E05__TEN-010_02/99-925.100.010.OT01-СП.
10. Распоряжение Кабинета Министров Украины № 443-р от 5 июля 2004 г.
11. Купный В.И. «Укрытие-2». Патовая ситуация сегодня, что делать завтра. <http://pripyat.com/articles/valentin-kupnyi-ukrytie-2-patovaya-situatsiya-segodnya-chto-delat-zavtra-ch1.html>.
12. Консорциумом NOVARKA. Строительство нового саркофага на Чернобыльской АЭС. <http://www.youtube.com/watch?v=UddmjLXmqRE>.
13. Новости ЧАЭС, № 16, 2010.
14. Арка НБК на ЧАЭС. Все этапы строительства http://pikabu.ru/story/arka_nbk_na_chayes_vse_yetapyi_strotelstva_1638432.
15. На ЧАЭС устранили последнее препятствие для возведения нового саркофага. <http://kontrakty.ua/article/72012/>

22. ДАЛЬНЕЙШИЕ ПЛАНЫ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ «УКРЫТИЯ»

22.1. Демонтаж нестабильных конструкций объекта «Укрытие»

В конце 2013 г. на техническом семинаре «Развитие площадки Чернобыльской АЭС» (г. Славутич, Украина) ДСП ЧАЭС представила доклад «Стратегия преобразования объекта «Укрытие». Он был проиллюстрирован графиком, который показывал желательный ход дальнейших работ по преобразованию «Укрытия» (см. рис. 1).

Из графика видно, что строительство НБК планируется завершить к концу 2015г. (что соответствует заключенным контрактам). При этом «Арка» должна находиться в рабочем положении и быть герметизирована, технологические системы жизнеобеспечения и контроля состояния НБК введены в эксплуатацию и подключены к внешним инженерным коммуникациям ЧАЭС. В настоящее время (середина 2014 г.) представляется, что выполнение этого пункта вполне реально.

Одновременно руководство ЧАЭС говорило о значительных трудностях — организационных, инженерных, финансовых, которые необходимо преодолеть в ходе выполнения следующих этапов преобразования.

«Я уверен, что в ближайшие два года новый безопасный конфайнмент займет свое рабочее положение. А дальше начинается самое сложное и, к сожалению, ложится на плечи Украины. И это самое сложное называется демонтаж нестабильных конструкций и извлечение топливосодержащих масс из объекта «Укрытие» (из интервью Генерального Директора ДСП ЧАЭС И.И. Грамоткина в сентябре 2013 г. [1]).

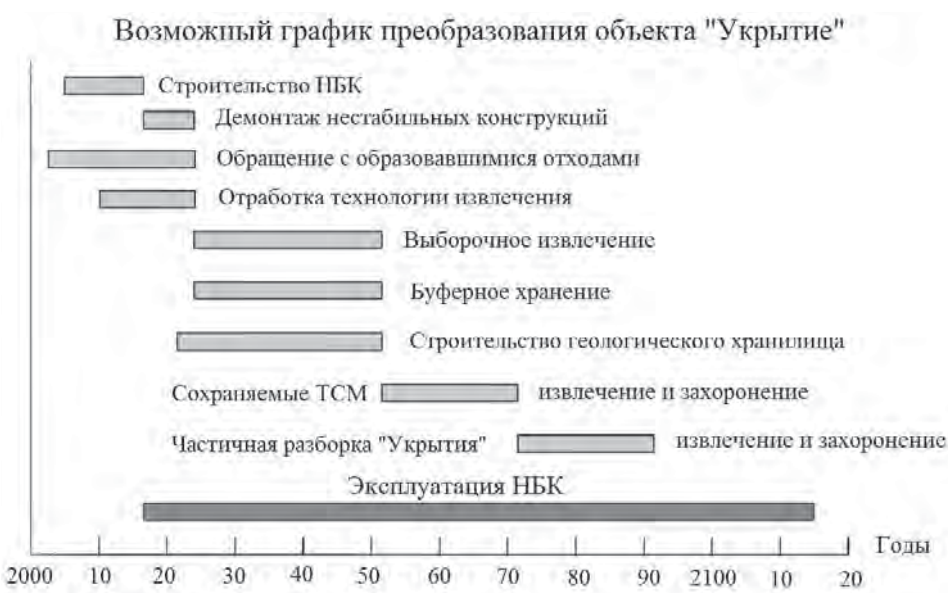


Рис. 1

С предлагаемым списком конструкций, которые должны быть демонтированы (усилены), и рекомендуемыми методами осуществления этой работы можно ознакомиться по документам Концептуального Проекта Нового Безопасного Конфайнмента (см. [2])¹.

В таблице 1 перечислены эти конструкции, приведены их размеры и масса.

Таблица 1. Характеристики конструкций, подлежащих демонтажу (усилению)

Наименование конструкции	Количество	Масса элемента, т	Длина, м	Ширина, м	Высота, м	Общая масса, т
Южные панели покрытия (между осями 44 и 50)	6	31	28.7	6	1.3	186
Южные панели покрытия (между осями 41 и 44)	6	16	28.7	3	1.3	96
Южные клюшки	12	38	25.5	6	12.25	456
Балка Мамонт	1	127	70	1.5	5.5	127
Северная балка Б1	1	65	55	1.6	3.2	65
Южная балка Б1	1	65	55	1.6	3.2	65
Северные клюшки	18	9	18	3	10.5	162
Восточные клюшки	1	7.25	7	5.6	6.37	7.25
Западные клюшки	4	20	15.5	8	8.5	80
Легкая кровля	6	21	36	6.6	2.5	126
Трубный настил	27	20	36	1.4	1.5	540
Северная балка Б2	1	57	40	1.6	3.4	57
Южная балка Б2	1	57	40	1.6	3.4	57

Все эти конструкции находятся на верхних отметках «Укрытия». Их расположение показано на рис. 2 и 3.

Работы должны выполняться в сложных радиационных условиях как по проникающему излучению, так и по аэрозольной активности.

В качестве примера можно привести значения радиационных полей, измеренных на кровлях «Укрытия» между осями 35–68 и рядами А–У₁ (рис. 4) и около западной опоры балки «Мамонт» в 2002 г. (рис. 5).

Что касается поверхностных загрязнений конструкций внутри «Укрытия», то они могут достигать сотен тысяч β -частиц/(см²×мин) и тысяч α -частиц/(см²×мин). Что на много порядков превышает допустимые уровни радиоактивного загрязнения для рабочих поверхностей.

В концептуальном проекте предполагается, что «...основной объем работ будет выполнен с применением вертикальной технологии извлечения по схеме «сверху — вниз».

Ее преимущества:

- разборку любых завалов всегда легче производить сверху — вниз;
- в объекте «Укрытие» отсутствует регулярная система перекрытий, что делает неэффективным применение горизонтальных технологий;

¹См. также одну из первых развернутых публикаций по этой теме — А.А. Ключников, В.Н. Щербин, В.М. Рудько и др. Концептуальный проект извлечения ТСМ и обращения с РАО объекта «Укрытие» (Проект «Старт») [3].

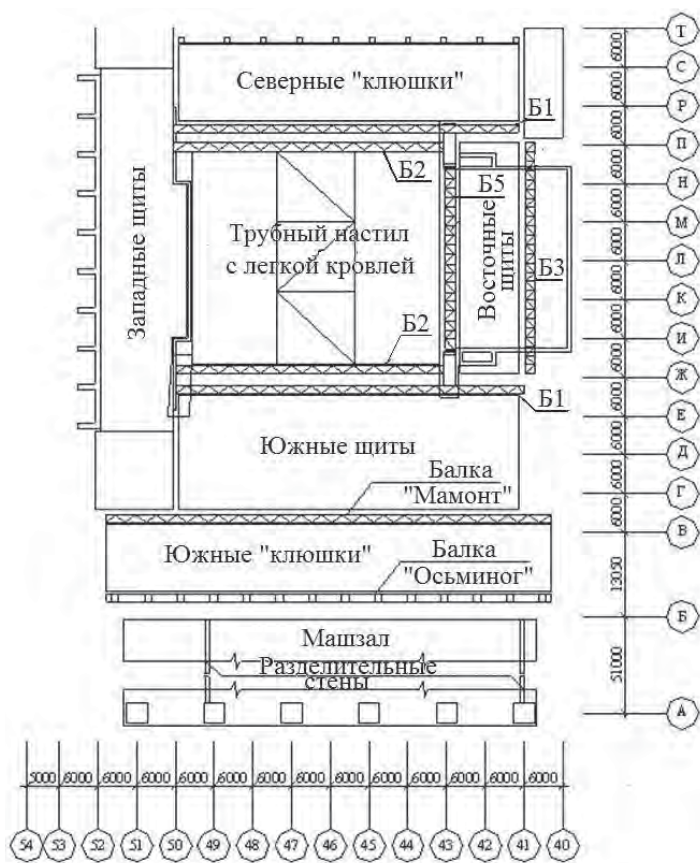


Рис. 2. Схема основных конструкций покрытия объекта

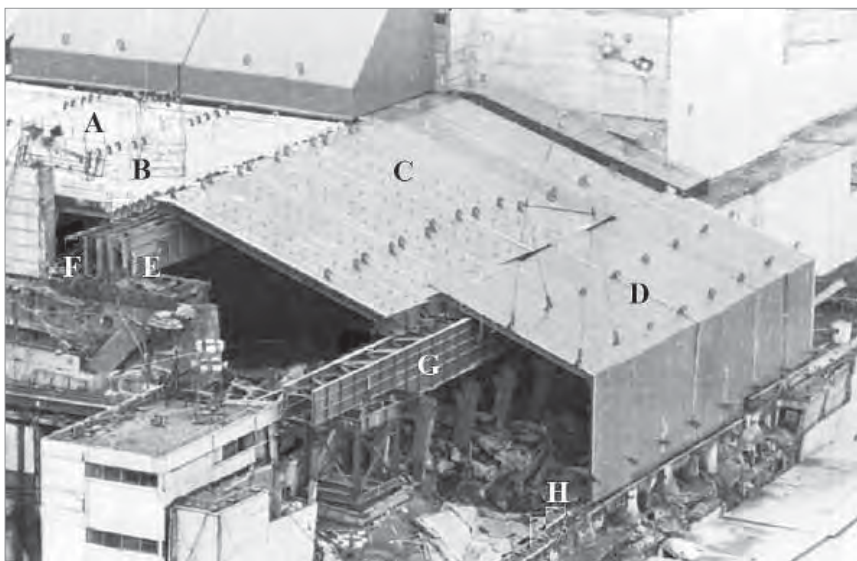


Рис. 3. Строительство «Укрытия». Буквами указаны конструкции, которые предлагается демонтировать: легкая кровля центрального зала (А), трубный настил центрального зала (В), южные панели покрытия (С), южные щиты-клюшки (D); южная балка Б1 (Е); южная балка Б2 (F); балка «Мамонт» (G); балка «Осьминог» (H)

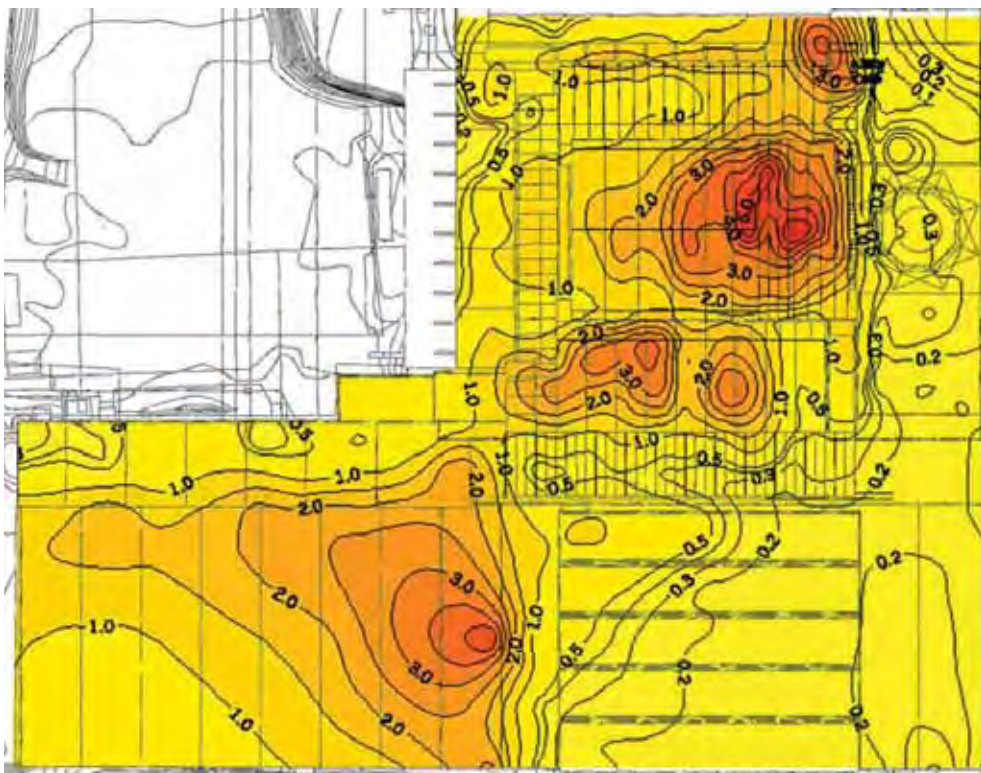


Рис. 4. Картограмма распределения МЭД (Р/ч) на кровлях «Укрытия» между осями 35–68 и рядами А–У₁ (2002 г.)

Загрязненность поверхностей:

α -излучателями до

200 част/см² * мин

β -излучателями до

35000 част/см² * мин

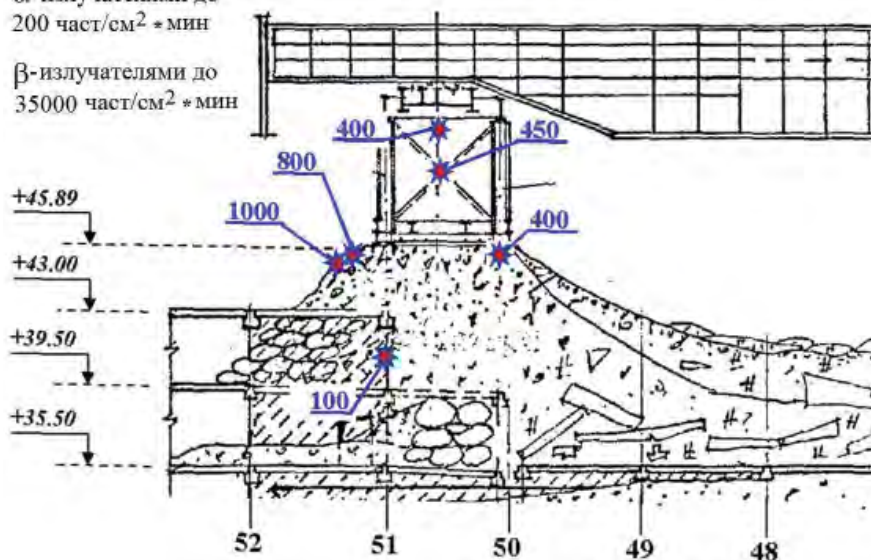


Рис. 5. Западная опора балки «Мамонт». Приведены значения мощностей экспозиционной дозы в точках на поверхности (мР/час) и плотность поверхностного загрязнения, измеренные перед началом работ по стабилизации конструкций (ИПБ АЭС 2002 г.)

- возможность одновременного выполнения работ на различных участках по высоте и площади;

- возможность подачи в зону работ любого механизма и его эвакуации» [3].
Какие основные проблемы предполагается решать в ходе демонтажа?

Это, прежде всего, пылеподавление и дезактивация демонтируемых конструкций для фиксации радиоактивной пыли и снижения концентрации аэрозолей при проведении последующих работ.

Во-вторых, необходимо выполнить разрезку крупных конструкций на фрагменты, и подготовку их к подъему. При этом особенно важно использовать дистанционные технологии, пылеподавление и вентиляцию, применять коллективные и индивидуальные средства защиты.

В-третьих, надо организовать подъем этих фрагментов и перемещение их в зону последующей обработки, фрагментации и упаковки.

При создании концепции демонтажа разработчики предполагают использовать в качестве основных технических средств систему подъемных кранов НБК, подвесные платформы с биологической защитой для обеспечения доступа к зонам высокой радиации, специальные телескопические мачты, оснащенные «рукой-роботом», дистанционные методы резки и т.п.

Насколько обоснованы сроки проведения работ по демонтажу нестабильных конструкций, которые указываются на графике рис. 1, т.е. за ~10 лет?

В мировой практике каких-либо аналогов таких крупных работ, выполненных в столь сложных радиационных условиях, мы не знаем.

Что касается оценок, основанных на опыте, полученном при проведении масштабных преобразований внутри объекта, то здесь, во-первых, можно обратиться к опыту Комплексной экспедиции «Курчатовского института». О ее работах уже говорилось во 2 части этой книги (Глава 11).

Напомним некоторые данные из этого раздела.

При взрыве реактора часть конструкций деаэрационной этажерки, расположенные выше отметки +38.600, оказались полностью разрушенными. Колонны, расположенные ниже, отклонились от вертикали в сторону машинного зала. В результате вся конструкция находилась в крайне неустойчивом положении, а обрушение ее могло повлечь нарушение опор балок «Мамонт» и «Осьминог» и, как следствие, разрушение всех верхних конструкций «Укрытия»².

Выполнить эти работы можно было только после очистки и дезактивации восточной части машинного зала.

Поэтому в декабре 1987 г. Правительственная комиссия приняла решение по консервации машинного зала энергоблока № 4 ЧАЭС с созданием нового покрытия части МЗ и укреплению деаэрационной этажерки.

После выполнения этих работ в пределах машинного зала были возведены разделительно-подпорные стены, частично разгружены и усилены колонны и ригели деаэрационной этажерки, выполнено новое покрытие над машинным залом (в осях 41–49), опирающееся на вновь возведенные стены (рис. 6, 7).

Были выполнены и другие, значительные по объему строительные и монтажные работы внутри «Укрытия» (Глава 11).

²По оценкам, исходным событием для такой аварии могло, например, стать землетрясение силой 4–5 баллов (вероятность последнего 10^{-2} 1/год).



Рис. 6. Схема нового покрытия МЗ и поддерживающих конструкций

В «пиковые периоды» число сотрудников КЭ достигало 3500 человек. Если говорить о работах в загрязненных помещениях объекта, то в них постоянно участвовало нескольких сотен специалистов. Они сменяли друг друга по мере выполнения своих заданий или при превышении контрольного уровня полученной дозы.



Рис. 7. Кровли машинного зала

Продолжались работы ~2 года. По сегодняшним оценкам затраты составили 30÷50 миллионов долларов.

Большой опыт масштабных работ, выполненных в сложной радиационной обстановке, был получен при стабилизации строительных конструкций (см. выше).

Они начались после завершения проекта в начале 2004 г. и продолжались вплоть до конца 2008 г., когда была выполнена замена и герметизация легкой кровли, т.е. 5 лет.

На опасных работах было задействовано 2500 человек [4].

Стоимость работ составляла более 50 млн долл. [5].

С учетом того, что демонтаж перечисленных выше конструкций потребует создания сложных технических средств для их дезактивации, разрезки, подъема и дальнейшего перемещения, а также систем обращения и хранения РАО, срок 10–12 лет представляется нам достаточно обоснованным.

При этом стоимость работ может значительно превысить расходы на стабилизацию строительных конструкций.

22.2. Извлечение топливосодержащих материалов. Демонстрационный эксперимент

«Одной из целей по преобразованию объекта «Укрытие» в экологически безопасную систему является изъятие из него материалов, содержащих ядерное топливо, и радиоактивных отходов³.

При этом до изъятия материалов, содержащих ядерное топливо, и радиоактивных отходов из объекта «Укрытие» обеспечивается перевод их в контролируемое состояние».

Так записано в Законе Украины «Об Общегосударственной программе снятия с эксплуатации Чернобыльской АЭС и превращении объекта «Укрытие» в экологически безопасную систему».

Согласно графику (рис. 1), подготовка технологий, извлечение и захоронение радиоактивных и топливосодержащих материалов займут основное время при преобразовании «Укрытия» — многие десятки лет. А пока не выработаны даже принципиальные решения по преодолению ожидаемых здесь трудностей.

Как развивались события на этом направлении?

В рамках SIP было предусмотрено решение задач, связанных со «Стратегией извлечения ТСМ и обращения с РАО» (Задача 19⁴) и «Разработкой технологии извлечения ТСМ» (Задача 20⁴).

³Извлечение ТСМ является обязательным, потому что законодательство Украины запрещает захоронение долго существующих и высокоактивных отходов (в том числе и ТСМ) в хранилищах любых типов, кроме хранилищ, размещенных в стабильных геологических формациях. Поэтому объект «Укрытие» не может быть преобразован в хранилище ТСМ для долго существующих РАО.

⁴См. рис. 10 из Главы 18.

Для выполнения этих задач в начале 2000-х годов НАЭК «Энергоатом» приняла ряд программных решений⁵, связанных с проблемой извлечения ТСМ (см. [6]).

В том числе и решение П9.

В этом решении предлагалось провести демонстрационный эксперимент по извлечению ТСМ в реальных условиях объекта «Укрытие». Предложение было связано с отсутствием опыта проведения работ в подобных экстремальных условиях и необходимостью получить данные о пригодности применяемых технологий.

Кроме того, результаты эксперимента позволили бы уменьшить неопределенность при оценках дозовых и финансовых затрат, планируемых для полной разборки «Укрытия».

Из принятых документов следует, что проведению пробного (демонстрационного) извлечения ТСМ для решения Задач 19 и 20 придавалось особое значение.

По инициативе Группы управления проектом SIP (ГУП) в 2001 г. было разработано техническое предложение по проведению такого эксперимента (см., например, [7–9]).

Суть предложения состояла в следующем.

Демонстрацию предлагалось провести на первом этаже бассейна-барботера на отметке 0.00 в центральной секции пом. 012/7, где располагается одно из скоплений ЛТСМ (см. рис. 8–10 или рис. 31 и 32, Часть 1, Глава 7).

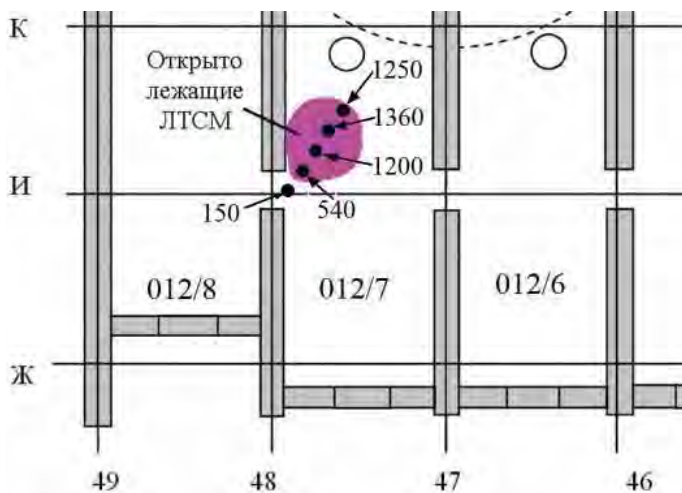


Рис. 8. Схема помещений ББ-1 и место расположения скопления ЛТСМ («куча» расположена в пом. 012/7 в рядах И–К и осях 48–47). Приведены некоторые результаты измерений МЭД (Р/час), выполненные в январе 1989 г.

⁵Программные решения – это ключевые этапы, которые основываются на данных, накопленных за предыдущие годы реализации проекта. Программные решения принимаются для определения путей комплексного осуществления SIP и являются указанием для перехода к следующему этапу решения задачи. Решения принимаются Заказчиком и согласовываются Европейским Банком Реконструкции и Развития (ЕБРР) при технической экспертизе, выполненной Международной Консультативной Группой (МКГ) и независимой группой экспертов Украины.



Рис. 9. «Куча» в ББ-1 после нанесения слоя ЭКОР для предотвращения разрушения поверхности ЛТСМ и распространения пыли

Основную массу скопления («кучи») составляет стеклообразная «коричневая керамика». На поверхности «кучи» образовался пемзообразный слой ТСМ толщиной до 0.1 м.

Южная часть «кучи» покрыта тканью, пропитанной материалом «экор».

Специальный дистанционно управляемый самоходный агрегат должен был разрушать (фрагментировать) ЛТСМ и извлекать их в горизонтальном направлении (рис. 11).

Доступ к помещениям ББ планировалось организовать с юга, со стороны деаэрационной этажерки (Блок Г).

При этом ряд соседних помещения «Укрытия» могло использоваться для организации транспортировки, кондиционирования ЛТСМ и РАО и времен-

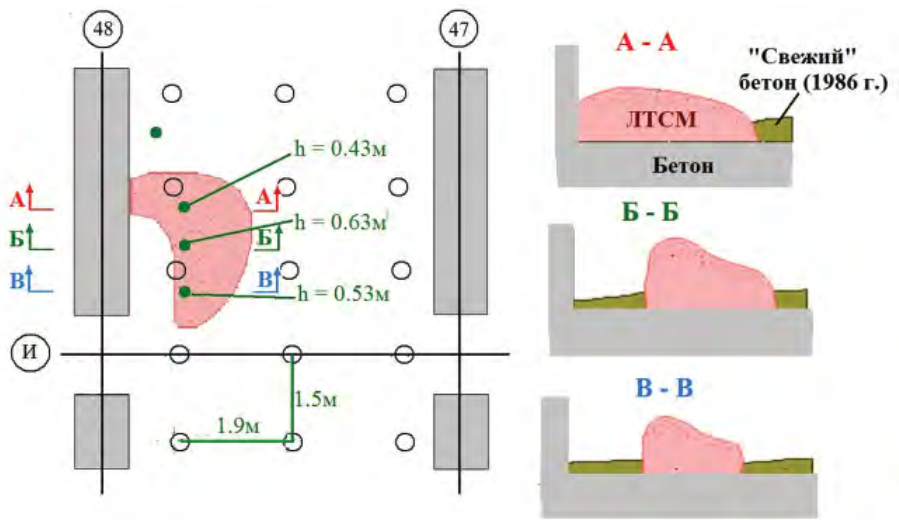


Рис. 10. Контур и сечения скопления ЛТСМ в пом. 012/7

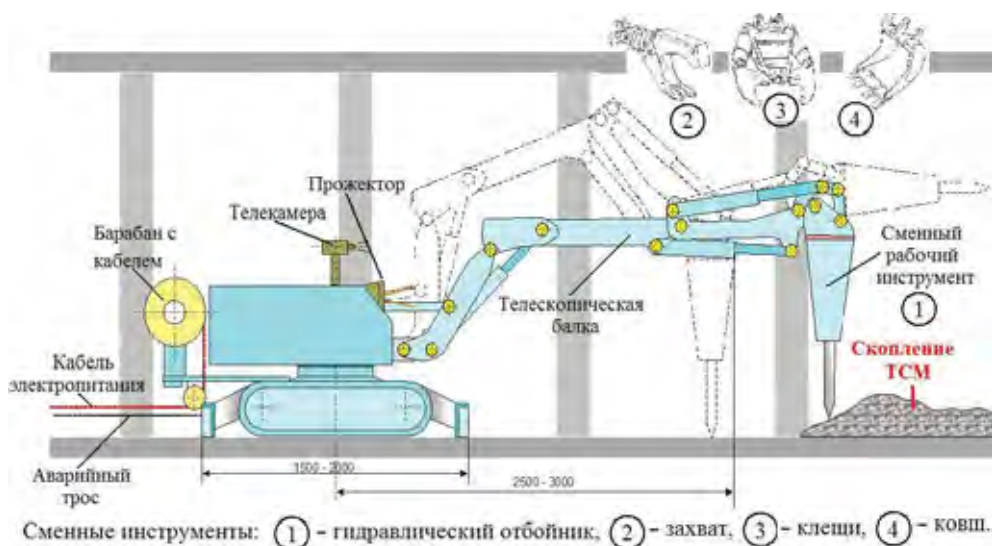


Рис. 11. Схема размещения дистанционно управляемого самоходного агрегата для фрагментации и извлечения ЛТСМ в пом. 012/7[7]

ного их хранения (промежуточная зона). А также для размещения зон управления, ремонта, дезактивации, профилактики и т.п (рис. 12).

По замыслу авторов такой демонстрационный эксперимент должен был доказать техническую возможность извлечения ТСМ в условиях объекта «Укрытие» с помощью дистанционно управляемого оборудования и существующих промышленно отработанных технологий.

Стоимость эксперимента оценивалась ~10 млн евро, а коллективная доза, которую могли получить исполнители – менее 450 мЗв.

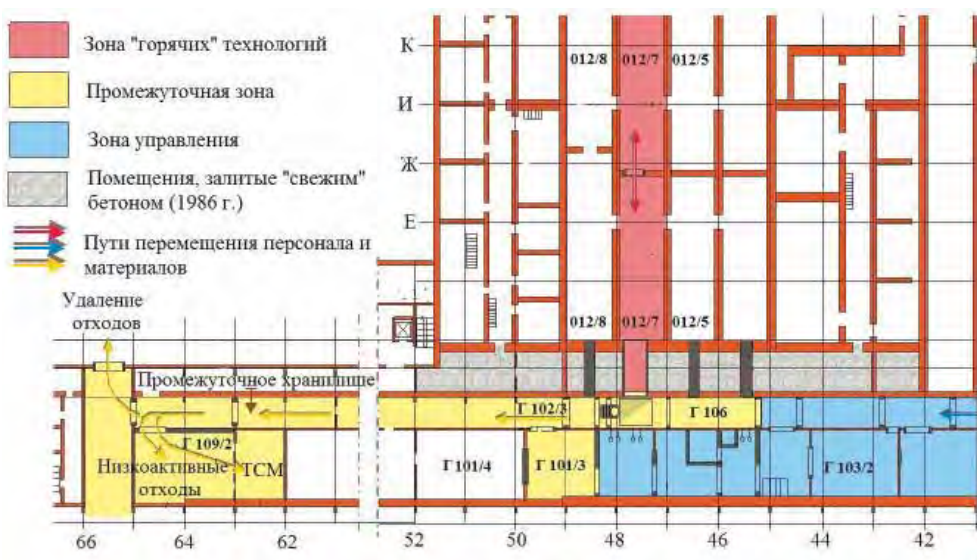


Рис. 12. Схема организации помещений для проведения демонстрационного эксперимента [7]

Работы планировалось начать в сентябре 2002 г. и завершить через ~16 месяцев.

2 октября 2001 г. состоялось заседание Международной Консультативной Группы экспертов (при Европейском Банке Реконструкции и Развития), на котором обсуждался вопрос о необходимости и возможности проведения предложенного ГУП демонстрационного эксперимента.

Был представлен и отзыв «Курчатовского института» на это предложение.

В отзыве отмечалось следующее.

1. Идея очистки от ТСМ первого этажа бассейна-барботера активно обсуждалась с 1993 г., когда разрабатывались предложения по стабилизации объекта «Укрытие». О ней, например, говорилось в документе «Курчатовского института» – «Концепция и программа проведения работ на объекте «Укрытие» (1995–2000 гг.)»⁶

Предлагалось очистить первый этаж бассейна-барботера от ТСМ с помощью дистанционно управляемых механизмов, герметизировать его и использовать для организованного сбора загрязненной воды, попадающей в реакторное отделение. Основная цель этой работы – управление водой и предотвращение ее выхода за пределы объекта.

Напомним, что в это время создание НБК представлялось очень далекой перспективой. После того как возведение НБК стало реальностью, проект потерял свою актуальность. Действительно, поступление природной воды должно было прекратиться, а количество конденсата могло быть на порядки уменьшено соответствующими техническими средствами.

Поэтому утверждение ГУП о том, что очистка ББ1 от скоплений ЛТСМ позволит дополнительно снизить риск поступления радионуклидов из «Укрытия» в грунтовые воды, не является существенным аргументом в пользу проведения предлагаемого эксперимента.

2. Остается собственно демонстрация технологий извлечения ТСМ.

Еще раз сформулируем требования к планируемому эксперименту.

Прежде всего, он должен быть представительным. Т.е. свойства извлекаемого скопления ТСМ и место его расположения должны быть характерными для большинства ТСМ в «Укрытии». Это позволит впоследствии распространить на них разработанные технологии и полученный опыт работы.

Такое требование не выполняется. Предлагаемая простая технология разборки может быть еще использована лишь для скопления на 2-м этаже бассейна-барботера. Для основной массы ТСМ (пом. 305/2, шахта реактора, ЦЗ и т.д.) там, где находятся совершенно другие по механическим, физико-химическим свойствам и доступности скопления ТСМ, демонстрация разборки в ББ-1 дает очень мало.

К тому же уже имеется опыт простого механического перемещения или удаления ТСМ на площадке (1986 г.) после аварии с помощью дистанционно-управляемых механизмов (бульдозеров и погрузчиков) или опыт разборки завалов в машинном зале (1988 г.).

Можно возразить, что в демонстрационном эксперименте не так важна сама разборка, как получение опыта транспортировки и хранения ТСМ. Такое возражение можно было бы рассматривать, если бы в ближайшие годы не планировались масштабные работы по стабилизации строительных конструкций,

⁶Программа утверждена Е.П. Велиховым 05.04.95 г.

а затем — строительство НБК и демонтаж нестабильных конструкций «Укрытия». При этом с необходимостью будет накоплен опыт обращения с значительными объемами РАО и ТСМ, более разнообразный, чем при планируемом эксперименте.

3. Начинать большие и дорогостоящие работы по выполнению демонстрационного извлечения ТСМ в то время, когда после долгих задержек, наконец, началась подготовка к проведению стабилизации строительных конструкций (первостепенной для безопасности «Укрытия» задаче) представлялось неразумным распылением сил и средств.

После продолжительной дискуссии Международная Консультативная Группа не согласовала выполнение демонстрационного эксперимента в представленном виде.

Было решено:

«Отложить процесс формального принятия решения П9 на более поздний срок реализации SIP с целью более точного определения требований и дальнейшего развития технологии...» (Указания МКГ по П9, IAG-0J/06 от 05.11.2001).

Более подробно это решение обосновывается на сайте ГСП ЧАЭС в разделе «Разработка стратегии извлечения топливосодержащих материалов (ТСМ) и обращение с отходами»:

«Предварительная стратегия обращения с ТСМ предлагает отложить извлечение до того времени, когда будет создано хранилище для окончательного захоронения ТСМ, то есть на несколько десятилетий, а тем временем выполнять постоянный мониторинг состояния ТСМ. Учитывая этот запас времени, было признано нецелесообразным для разработки стратегии извлечения ТСМ разрабатывать ранее предусмотренный прототип технологии извлечения ТСМ, поскольку могут появиться более совершенные и безопасные технологии обращения с высокоактивными РАО, а прототип технологии за это время может устареть...»

При этом следует учитывать, что необходимые данные для разработки Стратегии извлечения ТСМ по стоимости, трудо- и дозозатратам могут быть получены в ходе реализации раннего демонтажа нестабильных конструкций объекта «Укрытие».

22.3. Некоторые технологии, предлагавшиеся для долговременной консервации и разборки скоплений ТСМ

22.3.1. Омоноличивание

Вопрос о том, какие технологии можно применить для консервации, а затем безопасного извлечения ТСМ из «Укрытия», обсуждался постоянно и такие обсуждения начались чуть ли не сразу после создания объекта.

Так на одном из совещаний в ОГ «Курчатовского института» (в 1987 г.) директор НИКИМТ Ю.Ф. Юрченко предложил для уменьшения образования пыли при хранении и перемещении легко разрушающихся и пористых высокоактивных материалов не только наносить на их поверхность покрытия, связывающие пыль, но и пропитывать весь объем твердеющими составами. И таким образом проводить омоноличивание и долговременную консервацию скоплений ТСМ.

В дальнейшем при помощи дистанционных технологий можно будет фрагментировать эти скопления, а затем извлекать и транспортировать отдельные фрагменты.

В качестве примера он привел несколько составов с низкой вязкостью, применяющихся для пропитки и упрочнения пористых бетонных конструкций.

Идея вызвала большой интерес, было решено ее доработать.

Однако целый ряд неотложных вопросов этому воспрепятствовал.

Впоследствии это предложение в различных вариантах повторялось и развивалось в ряде публикаций (например, [10, 11] и др.).

Так, в статье [10] говорилось:

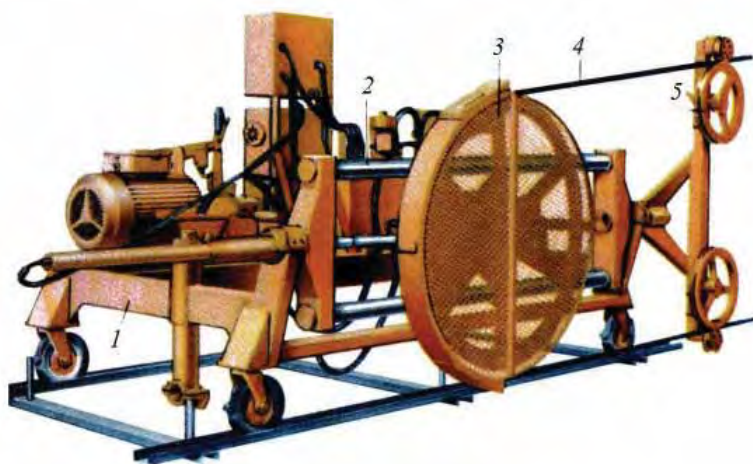
«Специалистами НИПИ Океанмаш предложена новая технология крупноблочной разборки завалов в «Укрытии», обеспечивающая высокую производительность и радиационную безопасность.

Суть ее заключается в следующем:

- расчищаемый участок завала (или весь завал) омоноличивают, пропитывая его самотвердеющим составом на определенную глубину или полностью;
- разрезают омоноличенный участок завала на транспортабельные блоки с помощью абразивно-канатных пил (см. рис. 13), колонковых сверл большого диаметра или другим методом;
- проводят мероприятия по обеспечению строповки отпиленных объектов;
- транспортируют отпиленные блоки на сортировочную площадку и дальше на место переработки в стационарных условиях или на место хранения.

На всех операциях проводят мероприятия по ядерной безопасности и пылеподавлению».

Далее для примера в работе рассматривалась необходимая последовательность операций при очистке центрального зала. В их число авторы включили такие, как:



1 — тележка; 2 — гидравлический механизм рабочей подачи; 3 — ведущий шкив; 4 — канат; 5 — направляющий ролик

Рис. 13. Общий вид передвижной абразивно-канатной пилы, широко используемой в горной промышленности

- разведка поверхности завала и помещений;
- уборка кусков топлива и ТСМ, лежащих на поверхности;
- проведение мероприятий по борьбе с возможными обрушениями;
- удаление неразрушенных (или не полностью разрушенных) строительных конструкций;
- разведочное бурение в толщу завала, проведение радиационной и другой разведки в толще завала;
- зонирование (разбивка на зоны) завала по способам разрезания на блоки и выемки;
- омоноличивание участков завала;
- вырезание блоков, например, с помощью абразивно-канатных пил;
- транспортировка блоков на сортировочную площадку и дальше — на переработку в стационарных условиях или на хранение.

Предполагалось, что разборка идет сверху, с помощью специальных грузоподъемных средств.

Метод омоноличивания скоплений ТСМ и высокорadioактивных отходов для их консервации, с последующей фрагментацией и извлечением выглядит перспективным, но пока не подкреплен какими-либо натурными испытаниями.

22.3.2. Долговременная консервация ТСМ. «ЭКОР»

Первые практические шаги на пути испытания в помещениях «Укрытия» радиационно-стойкого покрытия для долговременной консервации ТСМ были сделаны в 2000 г.

Работы по его созданию организовало Евразийское Физическое Общество. В них приняли участие специалисты «Курчатовского института» и Института Органоэлементарной химии. Компания «EURO Tech, Ltd.» (г. Ла-Джолла, шт. Калифорния) финансировала разработки.

Полученный материал покрытия — «ЭКОР» — обладает целым рядом важных для рассматриваемых задач свойств [12–14]:

- высокой радиационной стойкостью (при наборе интегральной дозы в 10^9 рад не было отмечено изменения его свойств [14]),
- созданием хорошей защиты от проникновения радионуклидов в окружающую среду,
- долговечностью и устойчивостью к климатическому старению (экспериментально-расчетным путем показано, что степень деструкции материала за каждые сто лет эксплуатации в естественных природных условиях не превышает 0,06%),
- негорючестью,
- низкой теплопроводностью,
- водонепроницаемостью и гидрофобностью,
- широким диапазоном вариации плотности,
- экологической чистотой, легкостью утилизации и др.

Привлекательным является и способ приготовления ЭКОР, когда на последней стадии для начала его полимеризации необходимо просто смешать два компонента. Это позволяет получать окончательный продукт вблизи от места применения.

В конце 1999 года была утверждена программа работ по опытному демонстрационному применению материала ЭКОР в условиях объекта «Укрытие». В рамках этой программы был создан и испытан технологический комплекс синтеза материала ЭКОР с производительностью до 3 литров в минуту.

Для проведения испытаний было выбрано скопление ЛТСМ на первом этаже бассейна-барботера в пом. 012/7 («куча») (см. рис. 8–10).

«25 марта 2000 г. ЭКОР был приготовлен внутри объекта «Укрытие» неподалеку от пом. 012/7 ... и нанесен на прочную ткань. Затем тканью с ЭКОР было накрыто скопление ТСМ в ББ-1...

Через двое суток был проведен контроль состояния ЭКОР на скоплении ТСМ. Материал полностью полимеризовался и приобрел свойственную ему эластичную фактуру» [13] (см. рис. 9).

Проходила подготовка и для выполнения непосредственного нанесения ЭКОР на скопления ТСМ. Для этого был модернизирован дистанционно управляемый самоходный агрегат ТР-7 (см. Часть 3, Глава 17). На его шасси установили шланг для заливки ЭКОР, телекамеру, источники света (рис 14).

В Чернобыле (в ОЯРБ) были проведены полевые испытания агрегата с использованием имитатора скопления ТСМ и жидкости, имитирующей ЭКОР (рис. 15).

К сожалению, из-за трудностей с финансированием дальнейшие работы по применению ЭКОР были остановлены.

Насколько нам известно, за прошедшие годы не проводились и детальные наблюдения за динамикой поведения этого покрытия, нанесенного на скопление ТСМ в ББ-1.



Рис. 14. Модернизированный ТР-7



Рис. 15. Полевые испытания модернизированного ТР-7

ЛИТЕРАТУРА

1. Смертельный атом: во сколько обходится радиационная безопасность украинцев? <http://inpress.ua/ru/society/16566-smertelnyy-atom-vo-skolko-obkhoditsya-radiatsionnaya-bezopasnost-ukraintsev>
2. Концептуальный Проект Нового безопасного конфайнмента. Анализ безопасности. АЛАРА анализ демонтажных работ.
3. Ключников А.А., Щербин В.Н., Рудько В.М. и др. Концептуальный проект извлечения ТСМ и обращения с РАО объекта «Укрытие» (Проект «Старт»). В сборнике «Проблемы Чернобыля», выпуск 2, г. Чернобыль, 1998. — С. 11–23.
4. Информационный бюллетень ЕБРР. <http://www.ebrd.com/downloads/research/factsheets/chernobylr.pdf>.
5. ГСП ЧАЭС закончила стабилизацию «Укрытия». Украинские новости 06 ноябрь 2008. <http://www.delfi.ua/news/daily/society/chaes-zakonchila-stabilizaciyu-ukrytiya.d?id=275926>.
6. ГСП ЧАЭС. Программные решения. http://www.chnpp.gov.ua/index.php?option=com_content&view=article&id=149&lang=ru&Itemid=42.
7. Презентация. Прототип технологии извлечения ТСМ. Сообщение ГУП SIP на заседании Международной консультативной группы при ЕБРР 2 октября 2001 г.
8. 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.

9. Токаревский В.В. Технологии извлечения топливосодержащих материалов из объекта «Укрытие». Ядерна та радіаційна безпека 4 (56). 2012. — С. 48–52.
10. Кузьминский В.П., Кравченко В.Г., Кузнецов Ю.М. и др. Некоторые вопросы технологии и технических средств для преобразования 4-го энергоблока ЧАЭС в экологически безопасный объект и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. Геотехническая механика. Межведомственный сборник научных трудов. Выпуск 16, 1999. — С. 106–147.
11. Степанов И.К., Доильницын В.А., Степанов А.И., Тишков В.П. Применение пенных технологий на объектах атомной энергетики. <http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=print&sid=135>
12. New Technologies for 21 Century. № 1, № 2, 1997.
13. Иванов А.И., Хорин И.М. Разработка безлюдных технологий с использованием дистанционно-управляемых агрегатов для разведки и исследований радиационно-опасных помещений объекта «Укрытие». Отчет МНТЦ «Укрытие», Чернобыль, 2000. — 37 с.
14. Childress P. The use of EKORtm to stabilize fuel containing material at Chernobyl. WM'01 Conference, February 25–March 1, 2001, Tucson, AZ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Курчатовцы и авария на ЧАЭС

В Заключении мы хотели бы еще раз остановиться на участии сотрудников «Курчатовского института» в работах по ликвидации последствий аварии на ЧАЭС.

С момента аварии прошло уже почти 30 лет.

Все это время сотрудники КИ работали над проблемами ликвидации ее последствий. Непосредственно на разрушенном блоке и в созданном в конце 1986 г. объекте «Укрытие», на площадке станции, в чернобыльской зоне, в Москве (см., например, [1–6]).

Уже в первые годы после аварии (1986–1987 гг.) общее число курчатовцев, которые командировались на ЧАЭС, составило более семисот человек. Среди них многие сотрудники Дирекции КИ (рис. 1–5).

Как уже говорилось, для координации научных исследований, проводимых на «Укрытии», в зоне ЧАЭС и в контролируемой зоне, а также для выполнения целого ряда проектных, строительных и монтажных работ, в начале



Рис. 1. Директор КИ, академик А.П. Александров среди сотрудников КИ на ЧАЭС (1986 г.)



Рис. 2. Заместитель Директора КИ, Член Правительственной Комиссии академик В.А. Легасов (справа) и Л.Р. Кеворков на ЧАЭС (1986 г.). За работы по ликвидации последствий аварии на ЧАЭС В.А. Легасов был удостоен звания Героя Российской Федерации (посмертно)

1988 г. в Чернобыле была создана комплексная экспедиция при Институте атомной энергии им. И.В.Курчатова (на правах филиала КИ)¹.

В наиболее напряженный период работ ее численный состав превышал 3000 человек.

Научным руководителем КЭ был назначен академик С.Т. Беляев, Начальником экспедиции был сначала И.Н. Камбулов, затем его сменил А.М. Пасечников.



Рис. 3. Академик С.Т. Беляев — Научный руководитель Комплексной экспедиции при Институте атомной энергии им. И.В. Курчатова

¹О создании Комплексной экспедиции при ИАЭ им. И.В.Курчатова в г. Чернобыле. Приказ Министра № 740 от 03.12.87. О введении временного Положения о Комплексной экспедиции при ИАЭ. Приказ Директора ИАЭ им.И.В.Курчатова, № 291 от 06.05.88.



Рис. 4. Снимок из газеты «Известия». Сотрудники КИ на объекте «Укрытие» (1987 г.). Слева направо: Научный руководитель КЭ академик С.Т. Беляев, Ю.В. Алексеев, Начальник КЭ И.Н. Камбулов, Директор КИ академик Е.П. Велихов

Стратегию и тактику выполняемых работ по ЛПА определял Научно-исследовательский отдел – НИО КЭ (до 100 человек, из них до 60 специалистов из КИ), в котором были собраны сотрудники ведущих научно-исследовательских институтов России, Украины и Беларуси.

В 1988 г. для обеспечения проведения исследований сотрудниками КИ с помощью строителей Минсредмаша было переоборудовано в лабораторный корпус двухэтажное здание школы в Чернобыле, в котором разместился НИО КЭ (рис. 6).



Рис. 5. Начальник КЭ А.М. Пасечников. Чернобыль, лабораторный корпус, 1991 г.



Рис. 6. Здание, в котором разместилось НИО КЭ (Лабораторный корпус). Чернобыль, 1988 г. Позднее в этом здании работало Отделение ядерной и радиационной безопасности МНТЦ

Здесь помещалось специальное хранилище для радиоактивных образцов, были оборудованы радиохимическая и спектрометрическая лаборатории, помещения для создания диагностических систем и обработки, получаемых с их помощью результатов, мастерские для изготовления и испытания ДУСА и многие другие функциональные подразделения НИО.

Посетившая ЧАЭС в 1989 г. большая группа экспертов МАГАТЭ высоко оценила возможности созданных в Чернобыле лабораторий (рис. 7).



Рис. 7. Эксперты МАГАТЭ осматривают низкофоновый α -, β -спектрометр — установку ПСД-1 в лаборатории спектроскопии НИО КЭ (см. Часть 2, раздел 10.4.5)



Рис. 8. Одно из помещений, специально оборудованных в разрушенном блоке и использовавшихся для прохода к местам проведения исследовательских работ. Лестница, облицованная металлом, ведущая на нижние отметки 4-го блока

На самом объекте «Укрытие», кроме помещений для проведения строительных и буровых работ, десятки комнат были очищены, дезактивированы и оборудованы для работы специалистов НИО КЭ. Были сооружены специальные коридоры и лестницы, приспособленные для безопасного прохода к местам проведения исследований (см., например, рис. 8).

Было построено хранилище для кернов, извлекаемых при бурении. Организованы места (включая защищенный бокс) для обработки отбираемых проб, проведения их предварительных спектрометрических и радиохимических анализов, упаковки образцов в контейнеры. В ряде помещений происходила подготовка специальных пылеподавляющих растворов, сборка и опробование ДУСА (рис. 9) и многие другие операции.

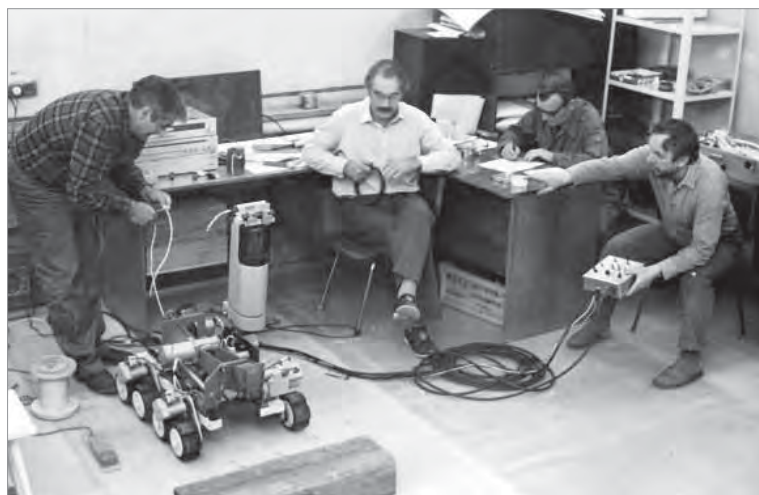


Рис. 9. Опробование узлов дистанционно-управляемого самоходного агрегата



Рис. 10. Помещение Г359 (деаэрационная этажерка 4-го блока). Здесь находился пульт управления системой «Финиш»

В помещениях деаэрационной этажерки 4-го блока был оборудован пульт управления системой «Финиш», располагались подсобные помещения для ремонта и наладки аппаратуры (рис. 10).

Результаты исследований, проведенных НИО в 1988–1990 гг., подробно обсуждались на всесоюзном семинаре — «Научные проблемы ликвидации последствий аварии на ЧАЭС», проходившем 15–19 октября 1990 г. в г. Звенигороде. Были заслушаны около 70-ти докладов специалистов КИ, РИ, ИБРАЭ, ВНИПИЭТ, Института биофизики, Институты НАНУ и других НИИ.

В 1992 г., после перехода черновыльской зоны под юрисдикцию Украины постановлением Кабинета Министров Украины, от 04.02.92, № 55 был образован МНТЦ — Межотраслевой научно-технический центр «Укрытие».

Первым Генеральным директором МНТЦ был назначен профессор В.С. Карасев, в 1995 г. его сменил профессор В.В. Токаревский. С 1995 г. Центр возглавляет академик НАНУ, Герой Украины А.А. Ключников (рис. 11).

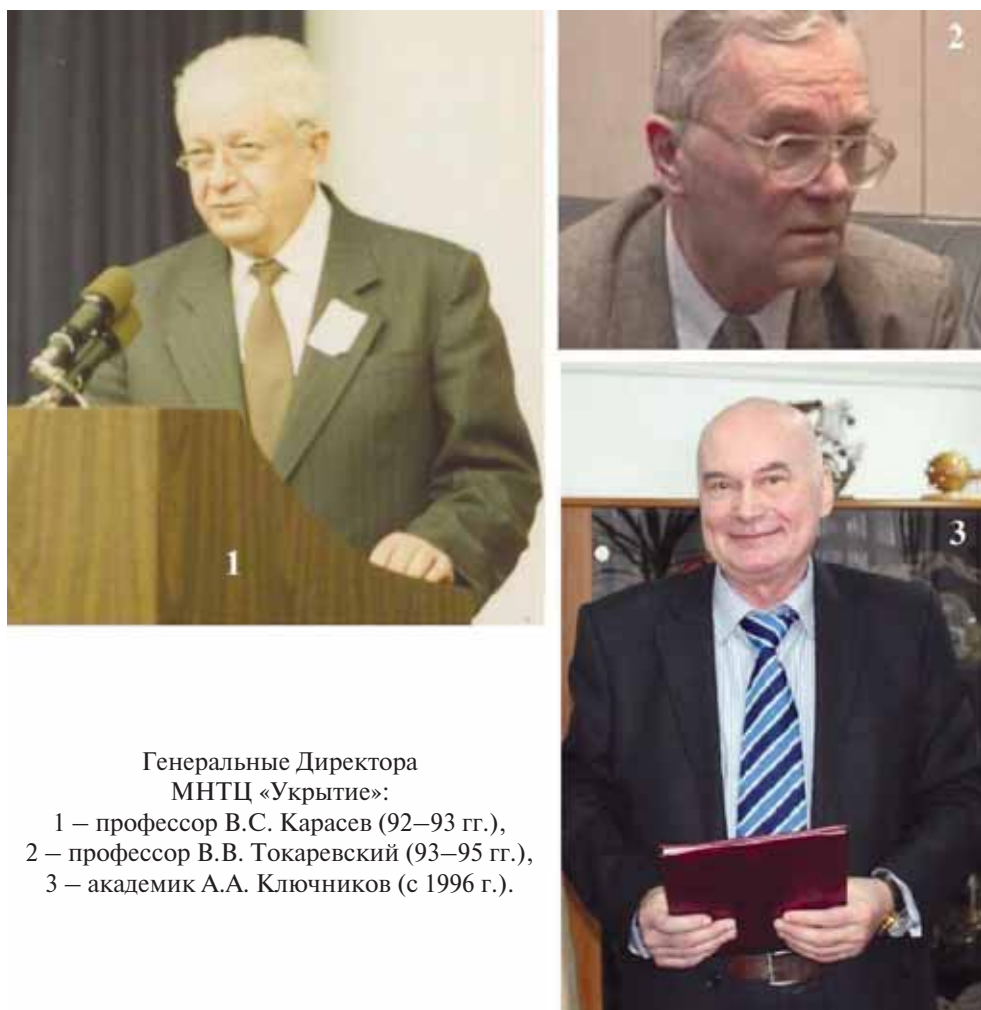
Между Национальной академией наук Украины и Российским научным центром «Курчатовский институт» было подписано «Соглашение о сотрудничестве», согласно которому специалисты КИ продолжали работу в Чернобыле и на объекте «Укрытие» вахтовым методом (рис. 12).

Эти специалисты командировались в Отделение ядерной и радиационной безопасности МНТЦ — ОЯРБ, которое разместилось в помещении НИО КЭ (в лабораторном корпусе).

В первые годы работы МНТЦ их общее число превышало 30 человек.

Возглавил ОЯРБ сотрудник КИ доктор ф.-м. наук Боровой А.А.

Большинство из специалистов КИ, возвращаясь в Москву после командировки в МНТЦ, продолжали выполнять задания, связанные с чернобыльской тематикой, работая в Отделе методов и технологий радиационных исследований (позднее в Лаборатории проблем Чернобыля).



Генеральные Директора
МНТЦ «Укрытие»:

- 1 — профессор В.С. Карасев (92—93 гг.),
- 2 — профессор В.В. Токаревский (93—95 гг.),
- 3 — академик А.А. Ключников (с 1996 г.).

Рис. 11

В своей работе на протяжении всех этих лет они постоянно ощущали поддержку и помощь всего большого коллектива «Курчатовского института» и его Дирекции.

Не прерывалось и сотрудничество с ИБРАЭ, «Радиевым институтом», Институтом биофизики и многими другими НИИ России, Украины и Белоруссии, связанное с ЛПА на ЧАЭС.

В 1997 г. Указом Президента Российской Федерации «За мужество и самоотверженность, проявленные при ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС» многие десятки сотрудников «Курчатовского института» были награждены орденами и медалями.

Национальная Академия Наук и Правительство Украины постоянно высказывали интерес к работе курчатовцев, отмечали их успехи (см., например, рис. 13).

Со временем количество специалистов КИ, работающих в Чернобыле, уменьшалось, чему способствовали два объективных фактора:

— уменьшение числа задач научного плана и появление новых, чисто инженерных и строительных проблем;

СОВМЕСТНОЕ РЕШЕНИЕ
Национальной академии наук Украины
и Российского научного центра
«Курчатовский институт»

Более 20 лет продолжается успешное научное сотрудничество Национальной академии наук Украины и Российского научного центра «Курчатовский институт» (РНЦ «КИ») по проблемам Чернобыля. Последние 15 лет сотрудники «Курчатовского института» работают в составе Института проблем безопасности (ИПБ) АЭС Национальной академии наук Украины – правопреемника Межотраслевого научно-технического центра (МНТЦ) «Укрытие».

Совместная работа позволила решить сложнейшие задачи, связанные с текущей безопасностью объекта «Укрытие».

На основании исследований, проведенных ИПБ АЭС и РНЦ «КИ» была разработана стратегия преобразования «Укрытия» в безопасную систему, послужившая основой международной программы SIP, осуществляемой в настоящее время.

Специалисты РНЦ «КИ» привлекались и к другим работам ИПБ АЭС, связанным с вопросами чернобыльской зоны и общими проблемами ядерной энергетики.

Учитывая предыдущий опыт, а также расширение и усложнение решаемых ИПБ АЭС задач, Национальная академия наук Украины считает необходимым участие РНЦ «КИ» в выполнении всего комплекса его научных исследований

С учетом вышеизложенного, Национальная академия наук Украины и Российский научный центр «Курчатовский институт» приняли совместное решение о необходимости продолжения и развития сотрудничества.

Президент
 Национальной академии
 наук Украины

 Б.Е. Патон
 10.10.2007

Президент
 Российского научного центра
 «Курчатовский институт»

 академик
 Е.П. Велихов

Рис. 12. Первая и последняя страницы «Совместного решения...» о продлении «Соглашения» 1992 г. (подписано в связи с переименованием МНТЦ в ИПБ АЭС)



Рис. 13. Диплом о присвоении звания «Заслуженный деятель науки и техники Украины» сотруднику КИ

— подготовка в ОЯРБ высококвалифицированных украинских специалистов, которые смогли заменить курчатовцев (рис. 14).

Все время работы на объекте «Укрытие» сотрудники КИ ежедневно взаимодействовали со специалистами ЧАЭС, получали от них поистине неоценимую поддержку и действенную помощь при выполнении самых сложных исследований. Руководство станции и объекта «Укрытие» не просто ставило перед «наукой» задачи, но всегда учитывало мнение КИ и стремилось оказать максимальное содействие в выполнении этих задач.



Рис. 14. Директор ОЯРБ ИПБ АЭС В.А. Краснов



Рис. 15. На объекте «Укрытие» 1997 г. Слева направо: начальник объекта «Укрытие» ЧАЭС В.И. Купный, директор КИ Е.П. Велихов, сотрудники КИ – Г.В. Яковлев, В.Г. Гнеденко, зам. директора МНТЦ «Укрытие» В.Н. Щербин, директор МНТЦ «Укрытие» А.А. Ключников

2. Дозовые нагрузки

Как уже говорилось, общее число сотрудников КИ, работавших в Чернобыле, составляло многие сотни человек. Так, база медико-биологических и дозиметрических² данных участников ЛПА на ЧАЭС включала в себя в 2000 г. информацию о дозах, полученных 682 сотрудниками КИ (см. рис. 16) [7].

Их работа, особенно в первые годы после аварии, проходила в очень тяжелых радиационных условиях. Прежде всего, это касалось тех, кто проводил исследования вблизи и внутри разрушенного блока.

Несмотря на высокую профессиональную подготовку специалистов КИ, выполнение измерений среди развалин в больших и резко меняющихся радиационных полях было связано со значительным риском переоблучения. В особенности при постоянном дефиците времени, характерном для работ по ЛПА.

В последующие годы, по мере накопления опыта и повышения технической вооруженности, такой риск уменьшался. Хотя вплоть до конца 90-х годов исследования в ряде помещений «Укрытия», например, в центральном зале (рис. 17), пом. 305/2 и ряде других все еще требовали очень тщательной подготовки и исполнителей высокой квалификации.

²Дозовые нагрузки ликвидаторов определялись по справкам службы дозиметрического контроля.

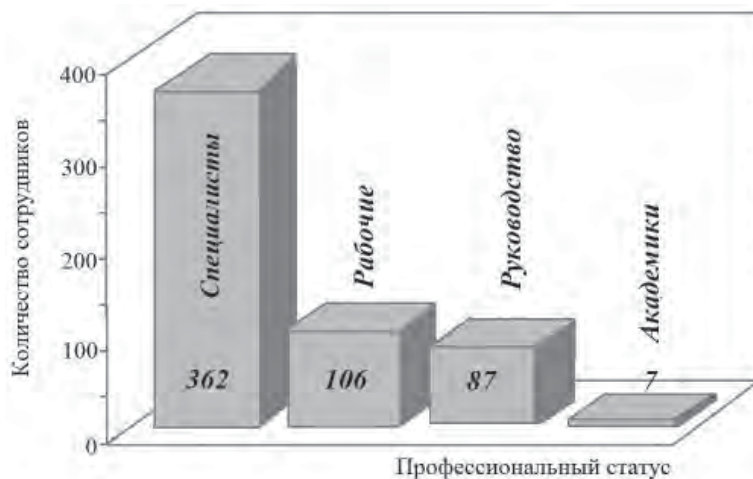


Рис. 16. Распределение персонала КИ, участников ЛПА на ЧАЭС по профессиональному статусу в КИ

На основании данных базы, о которой говорилось выше, авторы получили распределение числа сотрудников по полученным (запротоколированным) дозам внешнего гамма-излучения³ (рис. 18).



Рис. 17. В центральном зале 4-го блока

³Важнейшей задачей для создателей базы стало определение фактической дозовой нагрузки для участников ЛПА. Для этого данные, полученные на основе средств индивидуального дозиметрического контроля — ИДК, сопоставлялись с результатами медицинских наблюдений и биологического ретроанализа.

Последняя работа выполнялась совместно с Институтом физической химии (ИФХ) РАН, Институтом общей генетики РАН (ИОГ РАН) при участии Портсмутского и Бременского университетов.

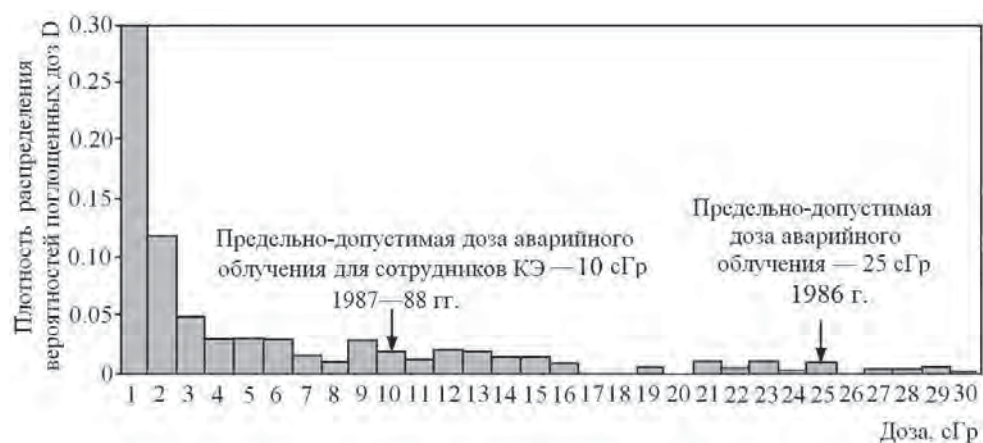


Рис. 18. Плотность распределения вероятностей поглощенных доз D у сотрудников КИ [6]

Интерес, прежде всего, представляет группа сотрудников, получивших дозы, превышающие предельно-допустимые при аварийном облучении.

Авторы пишут, что в эту группу (а в ней для нескольких персон значение D превышало 100 сЗв) входили в основном руководители научно-технических задач (программ)⁴ и отдельные сотрудники, которые добровольно выполняли разовые особо опасные работы.

«Несмотря на фрагментарно полученные высокие дозы внешнего облучения, состояние здоровья перечисленных индивидуумов по данным многократных медицинских обследований не вызывает опасений. При этом данные биологической дозиметрии, такие как кариотип лимфоцитов, ЭСР эмали зубов, у них показывают высокую степень биологического поражения» [7].

В заключение статьи говорится следующее:

«Имеющиеся эпидемиологические данные позволяют с известными ограничениями в результате дополнительной обработки сделать некоторые выводы.

Ожидаемые последствия радиационного воздействия в диапазоне доз, не превышающих установленные нормативами для аварии 25 сГр, не наблюдаются. А именно, несмотря на фактическое завершение латентного периода — более 14 лет, — нет случаев заболевания лейкемией и лейкозом. Из 45 умерших восемь человек имели среди прочих заболеваний рак.

Расчетное значение ожидаемого числа случаев смерти от рака, исходя из известных методов оценки риска, можно считать близким к фактическим данным с учетом ограниченной статистической достоверности.

Для всей группы характерны общесоматические заболевания. Для наблюдаемой группы математическим моделированием выявлены возрастные зависимости наиболее часто встречающихся диагнозов. Показано, что для тех же групп дозовая зависимость отсутствует, что свидетельствует об отсутствии значимого влияния облучения в пределах полученных доз.

⁴Четверо из них получили дозы, превышающие 50 сЗв.

Эти независимые результаты совпадают с результатами фундаментальных исследований, проводимых в рамках Национального комитета по действию атомной радиации (НКДАР) [8] и программы IPNECA [9]».

3. Международные контакты (см. [3])

Закрытость информации о происходящем в Чернобыле, режим секретности, введенный сразу же после аварии, как и следовало ожидать, вызвали не прекращение, а нарастание панических слухов, как внутри страны, так и за рубежом.

Это явилось и причиной появления устрашающих сообщений в зарубежной прессе, где сообщалось о тысячах погибших, огромных разрушениях и десятках тысяч квадратных километров зараженных смертельной радиацией территорий (см. рис. 19).

Много говорилось и писалось о том, что руководство СССР долго скрывало правду об аварии на ЧАЭС и от международных организаций, в том числе и от МАГАТЭ.



Рис. 19. Передовицы утренних выпусков четырех британских газет, в которых рассказывается об аварии на ЧАЭС

Не обсуждая сейчас, что здесь верно, что нет, отметим только, что специалисты КИ сделали все от них зависящее, чтобы реальная ситуация стала известна как можно раньше и как можно более полно.

Во взаимоотношения с МАГАТЭ это происходило следующим образом.

«28 апреля 1986 г. изданный в МАГАТЭ ежедневный обзор прессы, в котором излагались все появившиеся в средствах массовой информации сообщения по вопросам использования атомной энергии, не содержал каких-либо упоминаний о Чернобыле.

Однако в середине дня 28 апреля Генеральный директор МАГАТЭ Х. Бликс обратился в Советское представительство с просьбой срочно связаться с ним. Х. Бликс сообщил, что министр энергетики Швеции обратилась к нему в связи с тем, что в некоторых районах страны на побережье Балтийского моря отмечено увеличение уровня радиации, превышающее обычную норму от 6 до 25 раз. То же самое зафиксировали в Дании и Финляндии.

Во второй половине дня 28 апреля западные радиостанции сообщили о повышении уровня радиации в Швеции в результате радиоактивного выброса на территории СССР.

В тот же день Генеральный директор МАГАТЭ получил официальное сообщение об аварии на ЧАЭС...

Поскольку Чернобыльская авария имела трансграничные последствия, Советское представительство ежедневно направляло в Агентство информацию о мерах, принимаемых на поврежденном реакторе, о выбросах радиоактивных веществ. Полученные сведения МАГАТЭ рассылало государствам и ведущим международным информационным агентствам, публиковало в своих пресс-бюллетенях» [10].

Содержательная часть этой информации чаще всего поступала из КИ и в любом случае согласовывалась с его руководством.

В начале мая по инициативе Е.П. Велихова ЧАЭС посетили генеральный директор МАГАТЭ Х. Бликс и его заместитель М. Розен.

Пролетев над территорией станции на вертолете, они своими глазами смогли увидеть реальную картину аварии и работы по ликвидации ее последствий, а советские эксперты дали им необходимые пояснения.

В ходе пресс-конференций, состоявшихся позднее в Москве и в Вене, представители МАГАТЭ изложили составленное ими краткое описание аварии, в котором содержались собранные к тому времени данные [11]. В нем указывалось, что в МАГАТЭ будет проведено совещание экспертов, на котором Советский Союз представит подробную информацию об аварии.

Работа по подготовке этой информации проходила в КИ под руководством академика В. А. Легасова. Проходила не только в обстановке острых научных дискуссий, но и сопровождалась сильнейшим сопротивлением бюрократической машины.

Вот что вспоминает один из ее участников:

«...до 1985 г. действовал принцип «при социализме аварий не бывает», и данные обо всех авариях считались секретными.

Когда материал для МАГАТЭ готовился к открытому опубликованию, один из высокопоставленных чиновников написал:

«Документ содержит совершенно секретные сведения. Считаю, что авторов следует привлечь к партийной и уголовной ответственности за разглашение государственной тайны».



Рис. 20. Академик В.А. Легасов отвечает на вопросы после доклада в Вене

Пришлось решать вопрос на уровне Н.И. Рыжкова⁵. Перед отъездом в Вену члены советской делегации получили четкие инструкции: с иностранцами не общаться, ни на один вопрос не отвечать, говорить слово в слово то, что написано в подготовленном материале. Только благодаря решительной позиции В.А. Легасова (видимо, подкрепленной соответствующими полномочиями) удалось отойти от этой схемы» [12].

«К августу 1986 г. был подготовлен материал для конференции МАГАТЭ под названием «Авария на Чернобыльской АЭС и ее последствия» [13]. Конференция проходила в Вене с 25 по 29 сентября 1986 г. Несколько сот зарубежных специалистов, многочисленные журналисты были потрясены объемом представленной информации, а главное — открытостью обсуждения. Советским специалистам приходилось отвечать на десятки вопросов, и на каждый в меру нашего понимания давался откровенный ответ» [12] (рис. 20, 21).

Добавим, что доклад, который сделал академик В.А. Легасов, продолжался более 5 часов и был дополнен многочисленными диапозитивами и видеофильмами.

Специальная комиссия экспертов МАГАТЭ подтвердила правильность основных выводов доклада о причинах аварии и мерах повышения безопасности реакторов РБМК.

⁵Н.И. Рыжков — Председатель Совета Министров СССР.

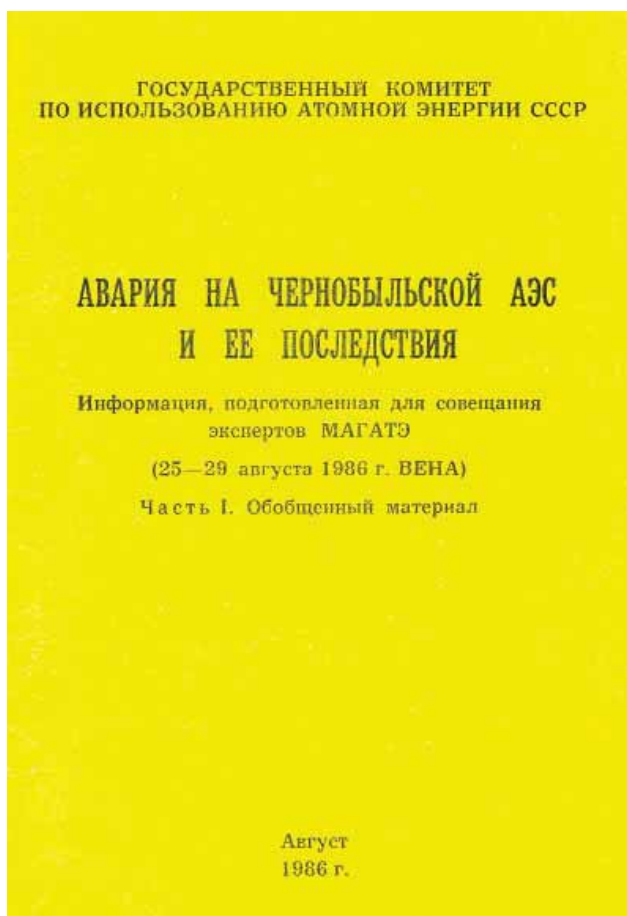


Рис. 21. Обложка доклада, подготовленного советской делегацией для совещания экспертов МАГАТЭ. Среди авторов доклада 12 сотрудников КИ

Сейчас, после многих лет исследований, проведенных на объекте «Укрытие», создания значительного числа программ, способных моделировать аварийные процессы, наконец, развитию представлений о самом понятии безопасности в атомной энергетике, наше понимание произошедшего в Чернобыле, естественно, претерпело изменения (см, например, [14 – 16]). Но это никак не снижает значения доклада, сделанного в Вене почти четверть века назад.

Сразу же после отмены режима секретности (1989 г.) международное сообщество проявило большой интерес к обсуждению всей чернобыльской тематики и, в частности, к вопросам, касающимся «Укрытия».

Это было вполне закономерно. Чернобыль стал не только трагедией, крупнейшей аварией, но одновременно и крупнейшим в истории атомной энергетики «экспериментом по полному разрушению реактора». Результаты этого эксперимента, оплаченного столь дорогой ценой, просто обязаны были быть максимально использованы для повышения безопасности атомной энергетики.

Впервые исследователи получили и столь разнообразные данные о поведении разрушенного ядерного топлива и его взаимодействии с конструкционными материалами реактора и блока.

В конце 1989 г. в рамках работы МАГАТЭ состоялась конференция («On Recovery Operation in the Event on Nuclear Accident or Radiological Emergency», Vienna, Austria, 6–10 November 1989), на которой впервые были доложены основные результаты исследований разрушенного ядерного топлива, находящегося в помещениях объекта «Укрытие».

В том же году под эгидой Агентства был выпущен наиболее полный (на тот момент) обзор работ по состоянию, ядерной и радиационной безопасности объекта «Укрытие» [17] (к 10-летию со дня аварии он был значительно дополнен [18]).

В дальнейшем при МАГАТЭ начала работать специальная рабочая группа по обращению с разрушенным топливом при ликвидации последствий крупных аварий на АЭС.

В ее состав вошли специалисты из 7 стран, в том числе от СССР сотрудники КИ, работавшие в Чернобыле. Эта группа опубликовала целый ряд материалов, использовавшихся затем в официальных документах Агентства (см., например, [19]).

В лабораторном корпусе в Чернобыле, на объекте «Укрытие», специалисты КИ принимали представителей от зарубежных организаций (рис. 22, 23).



Рис. 22. ОЯРБ МНТЦ. Делегация США знакомится с состоянием работ по ЛПА на объекте «Укрытие»



Рис. 23. ОЯРБ МНТЦ. Делегация Японии знакомится с состоянием работ по ЛПА на объекте «Укрытие». Японские специалисты, рассказывая о состоянии безопасности своих АЭС, выражали твердую уверенность, что крупная авария на них полностью исключена

Среди них были такие, с которыми сотрудничество КИ по вопросам безопасности «Укрытия» продолжилось многие годы: GRS (Общество Технической и Ядерной Безопасности, Германия), IRSN (Институт Радиационной Защиты и Ядерной Безопасности, Франция), LATA (Лос-Аламосская Техническая Ассоциация, США) и многие др.

Кроме большой помощи в расчетно-теоретических работах (например, передачи последних версий расчетных программ, специально адаптированных к тематике «Укрытия»), они помогали и в экспериментальных исследованиях, в том числе при проведении сложных материаловедческих анализов микроструктуры ЛТСМ.

Здесь особенно следует выделить роль GRS (см. [20–23]).

В этом институте совместно с КИ были проведены детальные расчеты по ядерной безопасности ТСМ, проводились исследования по рискам, связанным с выбросом топливной пыли из объекта при разрушении строительных конструкций. Большую помощь специалисты GRS оказали при создании работы «Анализ текущей безопасности объекта «Укрытие» и прогнозные оценки развития ситуации» (см. Часть 1, Глава 8), выступив в качестве ее официальных рецензентов.

Наконец, именно сотрудники этого института (см. рис. 24, 25) явились инициаторами осуществления большой программы «Франко-Германская инициатива для Чернобыля» (см. Часть 4, Глава 19).



Рис. 25. В КИ на семинаре по проблемам Чернобыля (2001 г.) Сотрудник КИ С.Л. Гаврилов и Руководитель отдела GRS по обращению с РАО д-р. Г. Претч (G. Pretzsch) — справа



Рис. 24. Профессор А. Биркхофер (A. Birkhofer), Директор GRS, во время визита на ЧАЭС

4. Главные итоги работы КИ по чернобыльской тематике

В заключение хотелось бы пречислить главные из задач по ЛПА на ЧАЭС, в решение которых специалисты «Курчатовского института» внесли определяющий вклад:

- *научное руководство созданием «Укрытия»;*
- *обнаружение большинства скоплений ТСМ в объекте, их исследование, определение ядерной и радиационной безопасности;*
- *принятие необходимых противоаварийных контрмер (иногда избыточных, из-за неполной информации о РАО и ТСМ);*
- *создание систем мониторинга внутреннего состояния «Укрытия» и его влияния на окружающую среду;*
- *разработку основополагающих документов по безопасности «Укрытия»;*
- *предложение основных принципов преобразования «Укрытия» в экологически безопасную систему и активное участие в их реализации.*



ЛИТЕРАТУРА

1. Легасов В.А. Мой долг рассказать об этом. «Энергия» № 9, 1996. — С. 41–49.
2. Беляев С.Т. Диагностические исследования на площадке ЧАЭС и внутри «Укрытия» 4 блока (1986–1991 гг.), «Москва — Чернобылю», книга 2. М.: Воениздат, 1998. — С. 72–88.
3. Боровой А.А., Велихов Е.П. К 25-летию аварии на Чернобыльской АЭС. Работы «Курчатовского института» по ликвидации последствий аварии. НИЦ «Курчатовский институт». М., 2011. — 129 с.
4. Российский национальный доклад: «25 лет Чернобыльской аварии. Итоги и перспективы преодоления ее последствий в России. 1986–2011 г. МЧАЭС. М., 2011. — 160 с.
5. Боровой А.А. Мой Чернобыль. Новый мир, № 3, 1996. — С. 132–180.
6. Вклад курчатовцев в ликвидацию последствий аварии на Чернобыльской АЭС. М.: НИЦ «Курчатовский институт», 2012. — 172 с.
7. Шикалов В.Ф., Усатый А.Ф., Сивинцев Ю.В. и др. Анализ медикобиологических последствий аварии на Чернобыльской АЭС для участников ЛПА сотрудников Российского научного центра «Курчатовский институт» Мед. радиология и радиационная безопасность. 2002, Т. 47, № 3. — С. 23–33.
8. Отчет Научного комитета ООН по действию атомной радиации за 2000 год. Приложение J. Уровни облучения и эффекты в результате Чернобыльской аварии. М., РАДЭКОН, 2001.
9. Рябухин Ю.С., Сушкевич Н.Г. (составители); Цыб А.Ф., Сушкевич Н.Г. (редакторы). Научный отчет международной программы по медицинским последствиям аварии на ЧАЭС «Медицинские последствия Чернобыльской аварии». Женева, ВОЗ, 1996. — С. 178–181.
10. Хлестов О. Вечное эхо Чернобыля. Российские вести, 28 июня — 5 июля 2006 г.
11. Газета «Правда», 11 мая 1986 г.
12. Калугин А.К. Современное понимание аварии. «Природа», № 11, 1990. — С. 70–77.
13. Информация об аварии на Чернобыльской АЭС и ее последствиях, подготовленная для МАГАТЭ. Атомная энергия, т. 61, выпуск 5, ноябрь 1986. — 320 с.
14. Чернобыльская авария: дополнение к INSAG-1 INSAG-7. Доклад Международной консультативной группы по ядерной безопасности. Вена, 1993. — 159 с.
15. Abagyan A.A., Adamov E.O., Burlakov E.V. et. al. Chernobyl accident causes: overview of studies over the decade. IAEA International forum «One decade after Chernobyl: nuclear safety aspects», Vienna, April 1–3, 1996, IAEA-J4-TC972, Working Material, p. 46–65.
16. Сидоренко В.А. Безопасность реакторов РБМК: основные результаты и перспективы. IAEA International forum «One decade after Chernobyl: nuclear safety aspects», Vienna, April 1–3, 1996, IAEA-J4-TC972, Working Material, p. 435–447.
17. Borovoi A.A. Analytical report (Post-accident Management of Destroyed Fuel from Chernobyl) IAEA, Work Material, 1990, 99 p.
18. Borovoi A.A. Chernobyl Sarcophagus: Safety Problems. IAEA International forum «One decade after Chernobyl: nuclear safety aspects», Vienna, April 1–3, 1996, IAEA-J4-TC972, Working Material, p. 265–286.

19. Borovoi A.A., Graf R., Lend J.H. et. al. Cleanup and Decommissioning of a Nuclear Reactor after a Severe Accident. IAEA, Technical Report Series № 346, Vienna, 1992, 60 p.
20. Гмаль Б., Мозер Е.Ф., Претш Г., Кваде У. Анализ и оценка «Технического обоснования ядерной безопасности объекта «Укрытие». Поведение критичности ТCM на объекте «Укрытие». Отчет GRS по проекту SR – 2075/8–1, рабочий пункт 1, GRS –A – 2414. – 1997. – 44 с.
21. Alex H., Bogatov S., Borovoi A., Gmal B., Koch W., Mädler L., Pretzsch G. «Unterstützende Arbeiten und Analysen zur sicherheitstechnischen Bewertung weiterer Schutzmaßnahmen beim Unfallreaktor Tschernobyl, Block 4», Vorhaben SR 2075/8-1, Statusbericht, GRS–A–2491.
22. Pretzsch G., Lange F., Bogatov S. and Borovoi A.A. Radioactive Dust inside the Chernobyl Sarcophagus. Proc. of Spectrum'98, International Conference on Decommissioning and Decontamination and on Nuclear and Hazardous Waste Management, Vol. 1, pp. 221–226, Sept 13–18, 1998, Denver, Colorado, U.S.A.
23. Pretzsch G., Alex H., Bogatov S., Borowoi A., Bachner D., Gmal B. et. al. «Unterstützende Arbeiten und Analysen zur sicherheitstechnischen Bewertung weiterer Schutzmaßnahmen beim Unfallreaktor Tschernobyl, block 4» GRS-A-2636, 1999, 112 p.

СОДЕРЖАНИЕ

СОКРАЩЕНИЯ и ОБОЗНАЧЕНИЯ	3
ВВЕДЕНИЕ.....	5
18. ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ОБЪЕКТА «УКРЫТИЕ». 1989–1997 гг.....	12
18.1. Первое предложение КИ. Варианты преобразования (см. также [1])... 12	
18.2. Стабилизация. Международный конкурс	15
18.3. После проведения Международного Конкурса	21
18.4. Shelter Implementation Plan (План осуществления мероприятий на объекте «Укрытие»)	26
19. РАБОТА КИ НАД ПРОБЛЕМАМИ «УКРЫТИЯ» В КОНЦЕ ДЕВЯНОСТЫХ – НАЧАЛЕ ДВУХТЫСЯЧНЫХ ГОДОВ	30
19.1. Регламентные работы и работы по подготовке к преобразованию «Укрытия».....	30
19.2. Создание базы данных по ТСМ, находящихся в «Укрытии».....	34
19.2. Структура базы данных	36
19.3. Пример использования базы.....	38
19.4. Модель долговременного поведения скоплений лавы после создания НБК	45
19.4.1. Долговременная динамика поведения ЛТСМ.....	45
19.4.2. Гипотеза о внезапном разрушении ЛТСМ	47
19.4.3. Микроструктура ЛТСМ, находящихся в объекте «Укрытие»	49
19.4.4. Распределение урана и трансурановых элементов между матрицей и включениями в ЛТСМ	50
19.4.4. Разрушение остеклованных РАО – аналогов ЛТСМ (см. [2], [29])	55
19.4.5. Образование подвижной фракции пыли при высыхании помещений «Укрытия»	59
20. СТАБИЛИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ (2004–2008 гг.)	64
20.1. Работы на промплощадке ЧАЭС в начале 2000-х годов.....	64
20.2. Стабилизационные мероприятия	64
20.3. Выполнение работ по стабилизации. Мероприятие № 2.....	67
20.4. Некоторые итоги работ по стабилизации	75
21. НОВЫЙ БЕЗОПАСНЫЙ КОНФАЙНМЕНТ	78
21.1. Концептуальный проект НБК	78
21.2. Создание НБК. Первый пусковой комплекс	83
21.3. Создание НБК. Демонтаж вентиляционной трубы	93

22. ДАЛЬНЕЙШИЕ ПЛАНЫ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ «УКРЫТИЯ»	97
22.1. Демонтаж нестабильных конструкций объекта «Укрытие»	97
22.2. Извлечение топливосодержащих материалов. Демонстрационный эксперимент	103
22.3. Некоторые технологии, предлагавшиеся для долговременной консервации и разборки скоплений ТСМ	108
22.3.1. Омоноличивание	108
22.3.2. Долговременная консервация ТСМ. «ЭКОР»	110
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	114
1. Курчатовцы и авария на ЧАЭС	114
2. Дозовые нагрузки	123
3. Международные контакты (см. [3])	126
4. Главные итоги работы КИ по чернобыльской тематике	133

**Рекомендовано к печати Редакционно-издательским советом
НИЦ «Курчатовский институт»**

Подписано в печать 23.12.2014

Печать цифровая

Тираж 150 экз. Заказ 1

Отпечатано в НИЦ «Курчатовский институт»
123182, Москва, пл. Академика Курчатова, д. 1