

УДК 621.039.51

Арутюнян Р.В., Большов Л.А., Богатов С.А., Боровой А.А., Велихов Е.П., Гаврилов С.Л., Гнеденко В.Г., Пазухин Э.М. ПРОБЛЕМЫ ОБЪЕКТА «УКРЫТИЕ». Препринт № ИБРАЭ-2002-17. Москва: Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН, 2002. 22 с.

Аннотация

В настоящей работе представлена точка зрения сотрудников ведущих научных организаций России на проблемы объекта «Укрытие». Рассмотрены вопросы создания «Укрытия», приводится информация о топливосодержащих материалах, оставшихся в объекте, оценки его ядерной и радиационной безопасности. Значительное внимание уделяется путям преобразования «Укрытия» в безопасную систему.

©ИБРАЭ РАН, 2002

Arutyunyan R., Bolshov L., Bogatov S., Borovoi A., Velikhov E., Gavrillov S., Gnedenko V., Pazukhin E. THE PROBLEMS OF THE SHELTER. Preprint IBRAE-2002-17. Moscow: Nuclear Safety Institute RAS, July 2002. 22 p.

Abstract

This paper presents the point of view of the specialists of the leading scientific organizations on the problems of the Shelter. Creation of the Shelter is considered. The information on fuel containing materials inside the Shelter and assessment of nuclear and radiation safety are presented. Significant attention is paid to conversion of the Shelter into safe system.

©Nuclear Safety Institute, 2002

# Проблемы объекта "Укрытие"

*Арутюнян Р.В., Большов Л.А., Богатов С.А.<sup>1</sup>, Боровой А.А.<sup>1</sup>, Велихов Е.П.<sup>1</sup>, Гаврилов С.Л.<sup>1</sup>,  
Гнеденко В.Г.<sup>1</sup>, Пазухин Э.М.<sup>2</sup>*

ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ БЕЗОПАСНОГО РАЗВИТИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ  
113191, Москва, ул. Б. Тульская, 52  
тел.: (095) 955-22-36, факс: (095) 958-11-51, эл. почта: gav@ibrae.ac.ru

<sup>1</sup> РОССИЙСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР "КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ"  
<sup>2</sup> НПО "РАДИЕВЫЙ ИНСТИТУТ им. В.Г. ХЛОПИНА"

## Содержание

Введение .....	3
1. Создание "Укрытия" .....	4
2. Топливосодержащие материалы (ТСМ) в "Укрытии" и на площадке .....	8
3. Вода в "Укрытии" .....	10
4. Влияние объекта "Укрытие" на окружающую среду .....	11
5. Состояние строительных конструкций .....	13
6. Вопросы безопасности существующего "Укрытия" .....	14
6.1. Ядерная безопасность .....	14
6.2. Радиационная безопасность .....	16
7. Преобразование "Укрытия" .....	18
Список литературы .....	21

## Введение

26 апреля 1986 г. на 4-ом блоке ЧАЭС произошла крупнейшая в истории атомной энергетики авария, в результате которой была полностью разрушена активная зона реактора, повреждено реакторное отделение, деаэрационная этажерка, машинный зал и ряд других сооружений. Были уничтожены барьеры и системы безопасности, защищающие окружающую среду от радионуклидов, содержащихся в облученном топливе, и произошел выброс активности из реактора. Этот выброс на уровне миллионов Кюри в сутки, продолжался в течение 10 дней с 26.04.86 по 06.05.86, после чего упал в тысячи раз и в дальнейшем постепенно уменьшался (см. рис.1)

По характеру протекания процессов разрушения 4-го блока и по масштабам последствий указанная авария имела категорию запроектной и относилась к 7-ому уровню (тяжелые аварии) по международной шкале ядерных событий INES.

Ликвидация последствий чернобыльской аварии потребовала привлечения огромных материальных, технических и людских ресурсов. Работы, начатые 16 лет назад, продолжаются и по сей день. К сожалению, многие проблемы еще далеки от успешного завершения и среди них такая важнейшая, как обеспечение полной безопасности разрушенного ядерного топлива и радиоактивных материалов, находящихся в объекте "Укрытие 4-го блока ЧАЭС".

Прошлой, настоящей и будущей судьбе этого уникального сооружения посвящена настоящая работа.

Многое из того, что высказано в ней, уже публиковалось авторами, совместно с их украинскими коллегами. Но нам представилось важным повторить часть материалов, чтобы представить целостный взгляд на проблему "Укрытие", тем более что вокруг этой проблемы не прекращаются научные споры и околонучные спекуляции.

### Интенсивность выброса

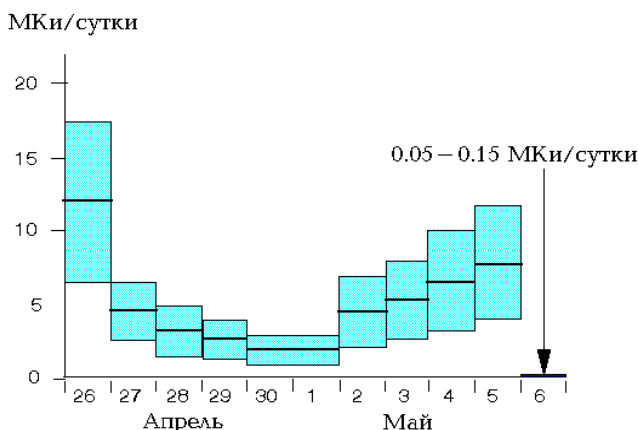


Рис. 1. Интенсивность выброса продуктов деления активной зоны реактора на активной стадии аварии без учета инертных газов. Данные по активности приведены к 10 мая.

## 1. Создание "Укрытия"

После стабилизации ситуации (10 мая) необходимо было в кратчайшие сроки выполнить комплекс работ по ограничению последствий аварии - создать новые барьеры на пути распространения радиоактивности, оставшейся в разрушенном реакторе, и защитить окружающую территорию от проникающего и рассеянного излучения.

В середине мая 1986 г. Правительственная комиссия приняла решение о долговременной консервации 4-го блока с целью предотвращения выхода радионуклидов в окружающую среду и уменьшения воздействия проникающей радиации на площадке ЧАЭС.

Постановлением ЦК КПСС и СМ СССР 634-188 от 29.05.86 г. Министерству среднего машиностроения СССР были поручены "работы по захоронению 4-го энергоблока ЧАЭС и относящихся к нему сооружений".

Известно, что из-за особой ответственности сооружения, сотрудниками ВНИПИЭТ, НИКИЭТ, "Курчатовского института" и др. было проработано восемнадцать вариантов проекта. Эти варианты можно разбить на две группы.

К первой из них относились проекты, в которых предполагалось соорудить вокруг блока независимое герметичное здание огромных размеров или арку, пролетом 230 м, или купол пролетом до 120 м. В какой-то мере эти проекты превосходили варианты "Укрытия-2", которые через 7 лет обсуждались на Международном конкурсе в Киеве и через 14 лет предлагались для использования в программе SIP.

Ко второй группе проектов относились те, в которых максимально использовались конструкции разрушенного блока. На эти конструкции должны были опираться вновь возводимые стены и кровля сооружаемого "Укрытия".

Проработки и технико-экономические расчеты показали, что работы по первому варианту продлятся 1,5-2 года и потребуют огромных расходов, тогда как работы по второму займут существенно меньшее время и потребуют существенно меньших затрат.

Был выбран второй подход. Он позволил значительно выиграть в стоимости и в скорости строительства (проектирование и строительство было закончено за 6 месяцев, случай беспрецедентный в мировой практике). Но осуществленный проект имел негативные стороны: отсутствие сколько-нибудь полной информации о прочности старых конструкций, на которые опирались новые, необходимость применять дистанционные методы бетонирования, невозможность в ряде случаев использовать сварку и

т.д. Все трудности возникали из-за огромных радиационных полей вблизи разрушенного блока. Они, в конце концов, стали причиной двух существенных недостатков конструкции (см. [1]):

- неопределенной прочности опор, поддерживающих основные, несущие балки "Укрытия";
- негерметичности (общая площадь щелей в кровле и стенах объекта после завершения строительства составляла ~ 1000м<sup>2</sup>).

Необходимость и пути создания объекта "Укрытие" вызывали ожесточенные дискуссии с момента возникновения этой идеи и вплоть до последнего времени.

Так в последние годы на научных конференциях и в широкой печати стали высказываться мнения, что строительство "Укрытия" было бесполезным, а с учетом гигантских дозовых и финансовых затрат, вредным мероприятием. Не надо было ничего делать, подождать 10 - 20 лет, разрабатывать соответствующие технологии и потом разобрать 4-ый блок, а топливо захоронить.

Высказывалась и прямо противоположная точка зрения - надо было сразу построить огромное, абсолютно герметичное и безопасное сооружение, способное закрывать блок сотни лет, т.е. пойти по первому варианту.

Насколько обоснованы перечисленные точки зрения?

После аварии 4-й блок представлял собой открытый источник огромной активности. На поверхности развала реактора, на разрушенных и сохранившихся конструкциях и кровлях, на внешних поверхностях зданий и площадке вокруг блока было сосредоточено множество выброшенных фрагментов активной зоны и топливной пыли. Согласно более поздним оценкам только на поверхности открытого развала находилось (5-10) т топливной пыли [1]. Через десять дней после аварии активность ее составляла ~50 миллионов Кюри. Ветровой перенос из открытого источника такой мощности привел бы к быстрому расползанию высокоактивного пятна. Ни о каком пуске 1, 2 и, тем более, 3-го блока не могло быть и речи.

Ежегодно на территорию ЧАЭС выпадает около 600мм осадков. Эта вода, пройдя через материалы открытого развала и сделавшись радиоактивной, рано или поздно должна была попасть в грунт. По очень грубым оценкам ~ 10 тысяч кубометров воды в год. Ни о каком управлении водяными потоками при отсутствии "Укрытия" не приходится говорить.

Итак, строительство "Укрытия" поставило барьеры для вторичной миграции радионуклидов и интенсивного загрязнения окружающей среды, позволило осуществить работы по восстановлению деятельности ЧАЭС и снизить дозовые нагрузки для людей, работающих на ЧАЭС и в Зоне.

Можно привести еще аргументы, доказывающие необходимость максимально быстрого возведения "Укрытия".

Что касается создания сооружения, целиком закрывающего разрушенный блок, то затраты на это, материальные и дозовые, в 1986 г. можно оценить как абсолютно неприемлемые.

Так по оценкам объединения "Альянс", стоимость возведения такой "арки" или "купола" (через 10 лет после аварии) должно было обойтись в 1,3 млрд. долларов, а время проектирования и строительства оценивалось в 5 - 7 лет. В 1986 г. в условиях сильнейшего загрязнения строительной площадки и окружающей местности, наличия мощного излучения от самого блока, при почти разрушенной инфраструктуре станции только финансовые расходы возросли бы на порядок.

Как уже говорилось, строительство объекта потребовало огромного напряжения сил всего государства и поистине героической работы от его создателей.

Обсуждение чисто строительных вопросов - оптимальности выбранных типов конструкций, технологии их монтажа и т.п. выходит за рамки настоящей работы. Отметим только, что конкретные технические решения выбирались на основе реальных возможностей скорейших поставок материалов и оборудования.

Можно выделить следующие этапы строительства "Укрытия" (см. рис. 2÷4)

- 1 этап - очистка и бетонирование территории вокруг 4 блока.
- 2 этап - возведение защитных (пионерных) стен по периметру.
- 3 этап - выполнение разделительных стен между 4 и 3 блоками.
- 4 этап - возведение каскадной стены.
- 5 этап - выполнение покрытия машинного зала.

6 этап - монтаж высотной контрфорсной стены.

7 этап - выполнение опор и монтаж покрытия реакторного блока.

8 этап - монтаж вентсистем и контрольно-измерительных коммуникаций и приборов.

Сооружение объекта было завершено в ноябре 1986 г.

30 ноября 1986 г. Государственная Приемочная Комиссия, назначенная распоряжением Совета Министров СССР от 23.10.86 г. № 2126рс, приняла на техническое обслуживание законсервированный энергоблок № 4 ЧАЭС.



*Рис. 2. Разрушенный блок.*

Насколько ясно представляли себе строители (и, главное, открыто говорили об этом) срок службы "Укрытия"? Нам представляется, что и знали и открыто говорили.

Действительно, в документе "Заключение о надежности и долговечности конструкций покрытия, а также радиационной безопасности реакторного отделения блока № 4 Чернобыльской АЭС", представленным Правительственной Комиссии 11 октября 1986 г.[2], сказано:

"Учитывая низкую скорость коррозии в условиях работы конструкций, при выполненных защитных покрытиях можно считать обеспеченным срок службы их:

- из труб 30 - 40 лет,
- из балок 30 лет".

К сожалению, впоследствии эти цифры были, как бы узаконены для срока службы всего объекта, а не только для несущей способности новых металлоконструкций.

Часто время 30 лет указывается, как гарантированное время безопасного состояния объекта "Укрытие". Вместе с тем, в том же документе сказано:

"В связи с тем, что укрытие реакторного отделения возводится на разрушенных конструкциях и в условиях высокой радиационной обстановки не представляется возможным получить достоверные данные об их несущей способности, а также учитывая сложность установки конструкций и контроля их положения..., что приводит к существенному снижению несущих способностей конструкции...". То есть срок 30 лет никак не распространяется на весь объект.

Поэтому, последующие "открытия и откровения" средств массовой информации о том, что от общественности скрывали правду и "Укрытие" совсем не вечное, а временное сооружение, есть следствие простого незнания соответствующих документов.

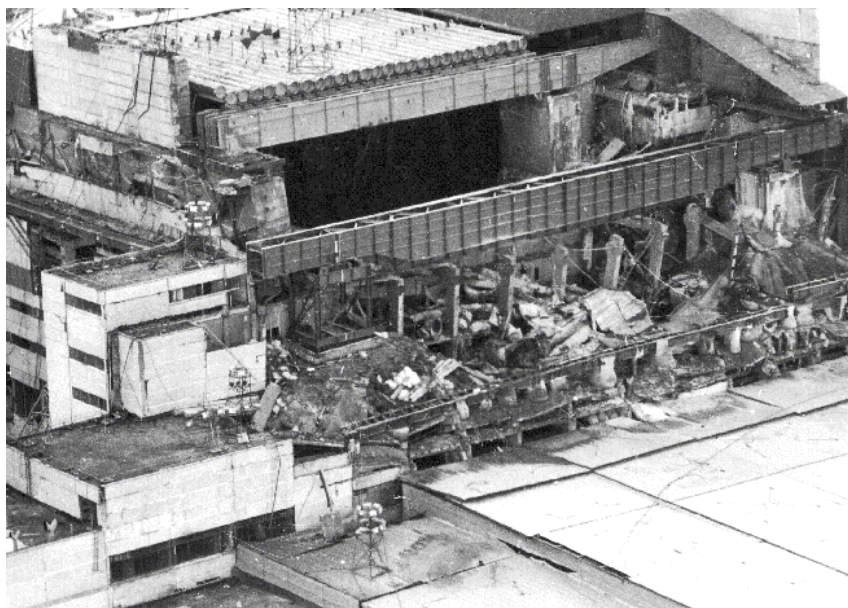


Рис.3. Перед постановкой южных "ключек". Установлена балка Мамонт и трубный накат, на балках Б1 и Б2.

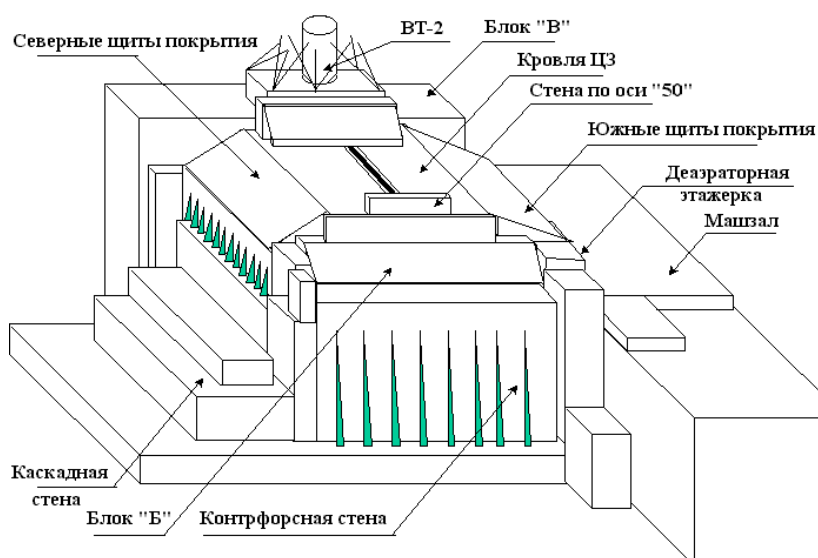


Рис.4 Основные конструкции "Укрытия".

Опасность "Укрытия" определялась количеством и состоянием сосредоточенных в объекте радиоактивных материалов и ядерного топлива. А информации об этом, к моменту завершения строительства объекта, было явно недостаточно для оценки рисков и рекомендации контрмер.

Поэтому после сооружения объекта по решению Правительственной Комиссии была создана "Комплексная экспедиция" при ИАЭ им. И.В. Курчатова ("КЭ"), основными задачами которой стало проведение дальнейших строительных и монтажных работ по укреплению "Укрытия" и повышению ядерной и радиационной безопасности объекта. Активное участие в работах "Комплексной экспедиции" принимали проектные, строительные и монтажные организации Минсредмаша. В составе Научного отдела кроме сотрудников "Курчатовского института" работали специалисты ВНИПИЭТ, НИКИЭТ, ИБРАЭ РАН, "Радиового института", НИКИМТ, ИЯИ АН Украины и др.

## 2. Топливосодержащие материалы (ТСМ) в объекте и на площадке<sup>1</sup>

Трудный и долгий путь исследования ТСМ, находящихся в "Укрытии", можно условно разбить на 4 этапа.

На **первом из них (1986-87гг.)**, благодаря измерениям радиоактивных выпадений, удалось определить интегральное количество топлива, оставшееся в пределах "Укрытия". От первоначальной загрузки реактора 4-го блока должно было остаться более 95%<sup>2</sup>. Впоследствии, после кропотливых исследований по всем территориям (1987 – 2000гг.) эти данные полностью подтвердились.

Определены были и основные модификации ТСМ, сосредоточенные в "Укрытии" - фрагменты активной зоны, топливная пыль, лавообразные ТСМ (см. рис. 5-7).

**Второй этап (1988 – 91гг)** – время интенсивного накопления информации. Исследования ведутся с помощью скважин пробуренных из доступных помещений к скоплениям ТСМ и специальных разведывательных групп. Итогом этого этапа может считаться "Техническое обоснование ядерной безопасности объекта "Укрытие" (ТОЯБ) [7], в котором приводятся первые оценки распределения ТСМ по помещениям "Укрытия".

Начаты исследования урана и трансурановых элементов, находящихся в скоплениях воды в "Укрытии". Исследователи впервые столкнулись с желтыми новообразованиями – растворимыми солями урана, выступающими на лаве. Они стали четвертой модификацией ТСМ.

### Третий этап (1992-96гг.).

В начале этого этапа изменилась организационная структура работ на "Укрытии". Чернобыль перешел под юрисдикцию Украины и на базе "Комплексной экспедиции" был организован Межотраслевой научно-технический центр "Укрытие". По инициативе Национальной Академии Наук Украины в составе центра были созданы подразделения (Проектно-конструкторское Отделение, Отделение ядерной и радиационной безопасности), которыми руководили и в составе которых работали и работают российские специалисты. На этом этапе бурение скважин внутри объекта было практически прекращено. Однако продолжалась работа разведывательных групп, развивались системы контроля и диагностики ТСМ, дающие важнейшую информацию о состоянии топлива в "Укрытии" и на площадке. Проводились многочисленные анализы проб.

Были предложены новые методы оценки количества лавы на нижних отметках объекта – по выбросу радиоактивного цезия и по химическому составу лавы [8]. Результаты, полученные этими интегральными методами, еще раз убеждают, что подавляющая часть топлива осталась в пределах "Укрытия".

Важнейшим этапом для понимания реального уровня безопасности объекта и для планирования будущих работ стал, выпущенный в 1996г., "Анализ текущей безопасности объекта "Укрытие" и прогнозные оценки развития ситуации" [9]. В нем аккумулирован многолетний опыт работ на "Укрытии" и впервые развит метод оценки рисков аварий, учитывающий специфику объекта. "Анализ..." стал документом, на основании которого ЧАЭС получила лицензию на эксплуатацию объекта "Укрытие"



<sup>1</sup> Существует большое количество литературы по ТСМ в "Укрытии". Наиболее полные обзоры – [1], [3 – 6].

<sup>2</sup> Здесь и дальше речь пойдет о топливе и связанных с ним нелетучих радионуклидах. Летучие вещества, такие как йод, цезий и др. были в значительных количествах выброшены из 4-го блока на активной стадии аварии.

Рис. 5. Модификации ТСМ. Фрагменты активной зоны.



Рис.6. Модификации ТСМ. Застывшая лава, вытекающая из клапана.

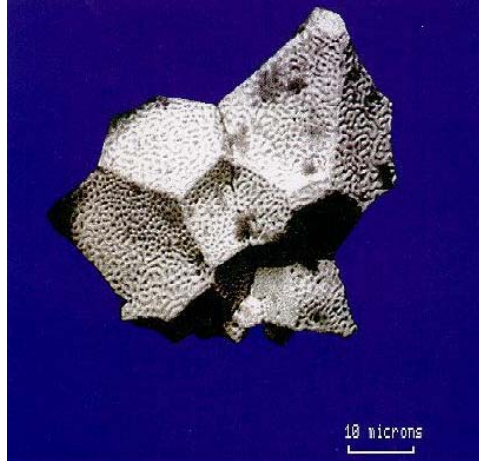


Рис.7. Модификации ТСМ. "Горячая частица" из двуокиси урана. Микроблочное строение.

#### Четвертый этап (1996-2001 гг.).

Развертывается широкий фронт работ по преобразованию "Укрытия". Он требует не только получения новой информации, но и более тщательного и целенаправленного анализа всех данных по ТСМ. Поэтому, одновременно с новыми, более тщательными обследованиями верхних и подреакторных помещений "Укрытия", выполняется большой объем аналитических и расчетных исследований. В рамках Франко-Германской инициативы под руководством "Курчатовского института" создается база данных по ТСМ в "Укрытии". В ней впервые от общих описаний ТСМ объекта удалось перейти к конкретным помещениям и, главное, скоплениям топлива в них. Удалось более точно оценить их радиационную и ядерную опасность [10].

Наконец, относительно недавно (конец 2001г.) МНТЦ "Укрытие", совместно со специалистами "Курчатовского института", ИБРАЭ РАН, "Радиового института", ЧАЭС и др. была выпущена новая редакция документа "Анализ текущей безопасности объекта "Укрытие" и прогнозные оценки развития ситуации" [1]. Ниже мы будем постоянно ссылаться на этот документ.

#### **Что известно сегодня о топливе в "Укрытии" и какова точность этой информации?**

Как уже говорилось, на основании совокупности всех данных по выбросу можно утверждать, что более 95%, т.е. более 180 т облученного топлива из разрушенной активной зоны реактора находится в объекте "Укрытие" (см. работу [11] и ссылки в ней).

Отыскать все 180 т внутри "Укрытия" пока не удалось. Исследователи не смогли добраться до ряда мест в объекте, где могут находиться заметные количества топлива. Обратимся к самым последним оценкам, которые были сделаны экспертами при создании базы данных [10]. Эти оценки приведены в Таблице 1, в 4-ой колонке. В 3-ей колонке даются значения, использованные в "Анализе ..." (1996г.). Видно, что данные хорошо совпадают.

**При самом осторожном подходе экспертов к оценке общего количества топлива, когда любые сомнения толкуются только в "минус", цифра получается всегда большая 125т (для топлива из разрушенного реактора). Менее осторожная оценка ~150т. На площадке объекта под слоем гравия, песка, бетона находится ~0,7т топлива.**

Наиболее важными "белыми пятнами" остаются:

- центральный зал, где ТСМ находятся под слоем сброшенных материалов;
- каскадная стена;
- внутренние объемы больших скоплений ТСМ в помещении 305/2;
- помещение 307/2.

Прогнозы, что эти "белые пятна" будут вскоре ликвидированы, достаточно пессимистичны. Весь опыт работ на "Укрытии" свидетельствует, что дальнейшее существенное продвижение в исследованиях ТСМ, например, отбор проб из глубины их скоплений, связано с резким возрастанием дозовых затрат. Представляется, что меры по стабилизации объекта и создание нового конфаймента настолько повысят



текущую безопасность "Укрытия", что позволят безболезненно отодвинуть эти исследования до стадии разборки объекта.

Таблица 1. Оценки количества топлива в помещениях объекта "Укрытие"

Название помещений, №№	Модификации ТСМ в помещении	Обнаруженное топливо, т U		Примечания
		"Анализ" 01.01.1996г.	Экспертные оценки на 01.06.2000 г.	
Центральный зал (914/2)	Фрагменты активной зоны	$(10 \div 30) + 5,5$	Более 21	С учетом 48 сборок со свежим топливом (5,5т) Возможно присутствие ЛТСМ
Южный бассейн выдержки	Фрагменты активной зоны	14,8	14,8	129 кассет с отработанным топливом. Возможно присутствие ЛТСМ
Все верхние помещения, включая ЦЗ (отм. 24м и выше)	Топливная пыль	~30 в ЦЗ	~ 5 на поверхности завала в ЦЗ, ~ 30 всего	Оценка 30 т включает пыль на поверхности и внутри завала в ЦЗ и пыль во всех других помещениях
304/3	ЛТСМ	11 ± 5	6 ± 2	"Горизонтальный поток лавы". С учетом ТСМ в проломе между пом.304/3 и 305/2.
301/5 + 301/6 + 303/3	ЛТСМ		4,5 ± 2,5	"Горизонтальный поток лавы"
217/2	ЛТСМ		0,4 ± 0,2	"Слоновья нога", "сталактиты". ЛТСМ. Попали из "горизонтального потока".
Подаппаратное 305/2 и 504/2 до отм. 24м.	Фрагменты АЗ, ЛТСМ, пыль	Более 60	85 ± 25	Расчеты велись по 6 скоплениям ТСМ. Начало всех потоков ЛТСМ.
ПРК (210/5 + 210/6 + 210/7)	ЛТСМ	25 ± 11	12 ± 6	"Большой вертикальный поток" и "малый вертикальный поток"
ББ-2 (012/14 + 012/15 + 012/16)	ЛТСМ	8 ± 3	Минимум - 3, максимум - 14	
ББ-1 (012/5 + 012/6 + 012/7)	ЛТСМ	1,5 ± 0,7	1,9(+1,0; -0,5)	
Вода во всех помещениях реакторного отделения	Растворимые соли U, взвесь.	~ 3кг	~ 4кг	
Топливо на площадке "Укрытия"	Фрагменты АЗ, пыль	0,6 (+0,3; -0,2)	0,75 ± 0,25	

### 3. Вода в "Укрытии"<sup>1</sup>

Предполагается, что одним из этапов преобразования "Укрытия" станет создание герметичного "Укрытия-2". Это - кардинальная мера против попадания воды в объект. Но пока, несмотря на принимаемые меры (а они постоянно проводятся), около 3 тысяч кубометров атмосферной влаги, конденсационной и технологической воды оказываются внутри "Укрытия".



<sup>1</sup> См. [1], [12-14]

*Рис.8. Отбор проб воды в объекте "Укрытие".*

Вода, поступающая в объект, может служить источником нескольких видов опасности. Прежде всего, это - ядерная опасность. Она может возрасти по двум причинам, связанным с водой:

- попадая в скопления топливосодержащих масс, вода приводит к увеличению эффективного коэффициента размножения нейтронов в системе;
- в воде могут накапливаться соли обогащенного урана.

Может иметь место и совместное действие этих факторов.

Радиационная опасность связана с тем, что вода разрушает ТСМ и способствует неконтролируемому перемещению радиоактивности по внутренним помещениям и выносу радионуклидов за пределы "Укрытия".

Постоянные исследования воды в объекте ведутся с 1991 г. (см. рис. 8).

Это - изучение источников поступления и путей миграции воды внутри объекта, динамики уровней и объемов водных скоплений, определение путей ее выхода из "Укрытия". Постоянно в примерно 30 известных скоплениях отбираются и проходят спектрометрические, радиохимические и элементные анализы сотни проб воды и донных отложений.

***Что сейчас известно о накоплении обогащенного урана в воде?***

Его концентрация в скоплениях еще далека от опасной. Опасная область начинается при значениях превышающих  $10^8$  мкг/л воды<sup>1</sup>. А реальные концентрации в исследованных скоплениях не поднимались выше  $4 \times 10^5$  мкг/л.

***Эти данные дают уверенность в отсутствии ядерной опасности, но не снимают задачи постоянного контроля больших скоплений.***

***Выходит ли радиоактивная вода за пределы "Укрытия"? Опасно ли это?***

Много сил было потрачено для сведения баланса поступления и испарения воды. В результате обнаружилось, что каждый год поступает примерно на  $1000 \text{ м}^3$  (по порядку величины) воды больше, чем испаряется. Излишек влаги может перетекать под каскадной стеной в помещения 3-го блока. Сам факт перетекания подтвержден прямыми наблюдениями и исследованиями с помощью трассера.

***Величина погрешностей, которые присутствуют во всех этих оценках, велика. Она допускает другие, пока неконтролируемые выходы воды за пределы реакторного блока, измеряемые сотнями кубометров в год.***

***По предварительным оценкам это не представляет особой опасности, тем более что на площадке объекта лежит ~750кг топлива и атмосферная влага, омывающая его, попадает в грунт, минуя какие-либо барьеры.***

## **4. Влияние объекта "Укрытие" на окружающую среду<sup>2</sup>**

Главная цель создания "Укрытия" - ограничить влияние разрушенного блока, сделать так, чтобы выход радиоактивных веществ за пределы объекта не превышал допустимых пределов. Удалось ли этого достичь?

Текущий контроль над состоянием "Укрытия" включает в себя измерение целого ряда параметров:

- мощность дозы гамма-излучения на территории промплощадки;
- объемной активности альфа- и бета-аэрозолей в воздухе на площадке (с помощью аспирационных установок);
- активности газо-аэрозольного выброса в атмосферу через "байпас" вытяжной вентсистемы объекта "Укрытие";

<sup>1</sup> В отсутствии нейтронных поглотителей, таких, например, как соединения бора.

<sup>2</sup> по материалам [1], [15-17].

- выноса активных аэрозолей через неплотности в кровлях объекта с помощью специальных планшетов.
- объемной активности и радионуклидного состава грунтовых вод на площадке;

План промплощадки и места расположения на ней аспирационных установок, исследовательских скважин и планшетов на легкой кровле приведены на рис. 9.

Наиболее показательным являются измерения активности аэрозолей в воздухе на площадке. Годовые данные за все время измерений (усредненные по площадке) приведены на рис.10.

Концентрация опасных альфа-аэрозолей значительно уменьшилась после начала работы системы пылеподавления, установленной под кровлей "Укрытие" в центральном зале.

В целом можно сказать, что измерение всех параметров в течение прошедших лет указывает на то, что объект "Укрытие" пока не оказывал значимого негативного влияния на окружающую среду. Тем более что экологическую опасность объекта нельзя оценивать в отрыве от состояния окружающей его территории, а она, как известно, сильно загрязнена.

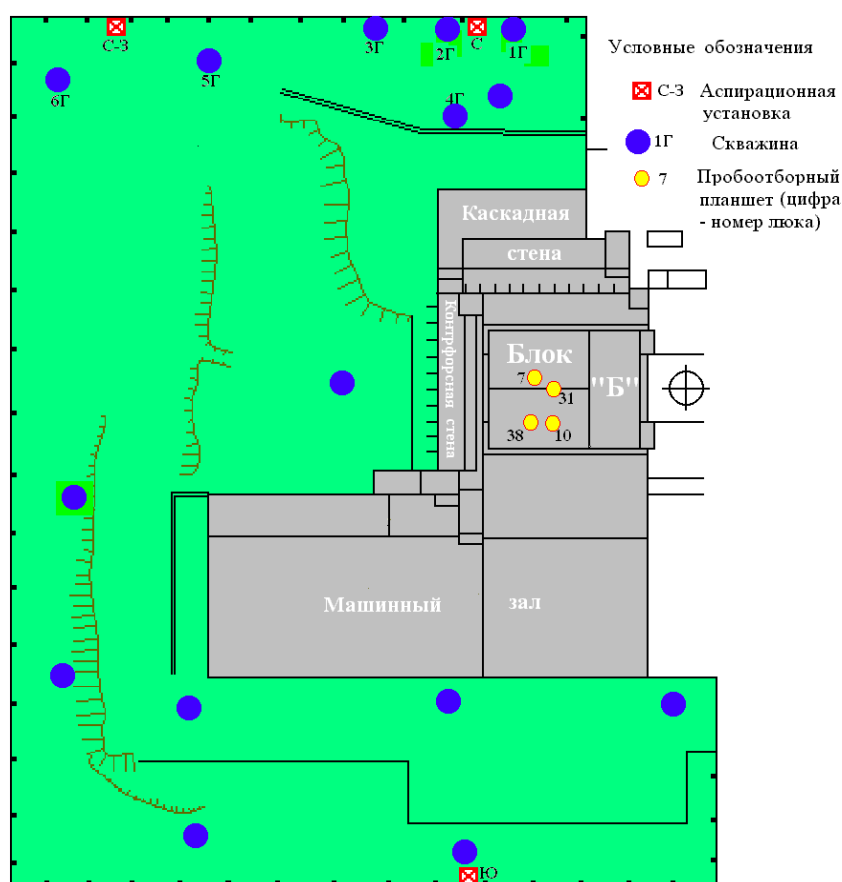


Рис.9. Точки, в которых проводится контроль влияния "Укрытия" на окружающую среду.

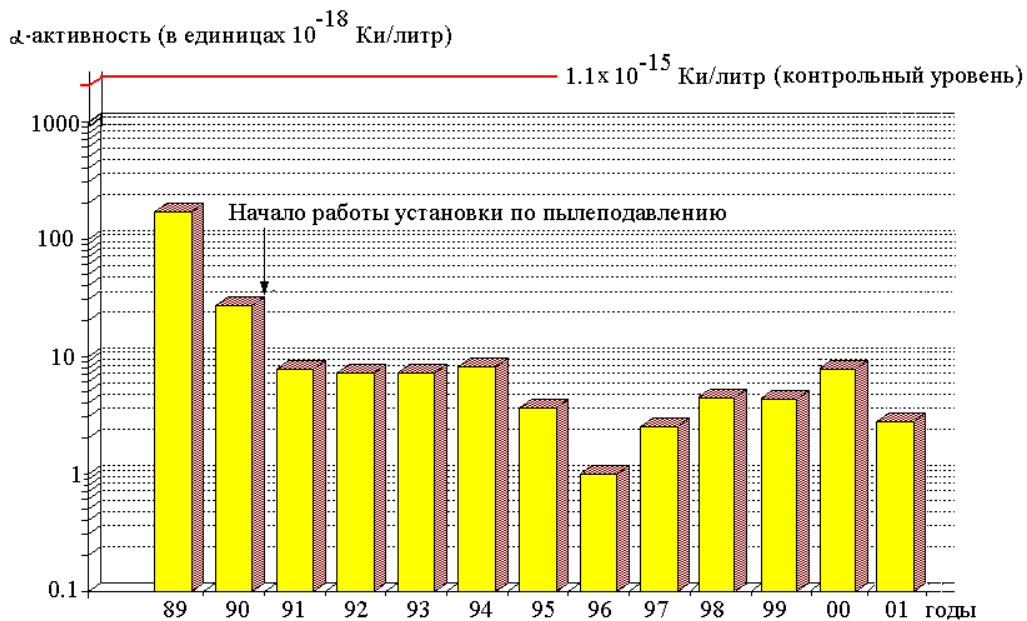


Рис. 10. Загрязнение воздуха на площадке "Укрытия" альфа-аэрозолями.

## 5. Состояние строительных конструкций<sup>1</sup>

Обследования "Укрытия", проведенные в 1987-88гг. специалистами "Комплексной экспедиции", выявили целый ряд конструкций, находящихся в аварийном или близком к аварийному состоянию. Среди них: деаэрационная этажерка, помещения ГЦН, помещение 805/3.

После этого был выполнен значительный объем работ по укреплению этих конструкций.

В дальнейшем список опасных конструкций все увеличивался. Эксплуатирующая организация постоянно проводила работы, направленные на стабилизацию состояния объекта. За последние годы важнейшими из таких работ были - стабилизация вентиляционной трубы 3 и 4 энергоблоков (1998г.) и стабилизация опорных узлов балок Б1 и Б2 (1999г.).

Последнее мероприятие, выполненное в рамках SIP, имеет особенно большое значение. На основании сначала исследований ВНИПИЭТ, а затем НИИСК (1995 г. и позднее) было признано, что обрушение этих балок может произойти даже без существенных внешних воздействий, по деградиционным причинам. А последствия такого обрушения, рассчитанные несколькими независимыми группами для "Анализа ..." [9], были весьма серьезными.

Какие следующие конструкции вызывают наибольшее беспокойство у специалистов сейчас?

В первую очередь, это конструкции западной и южной зон объекта "Укрытие".

Обследование западной стены по оси 50 и прилегающего к ней каркаса, показали, что весь фрагмент имеет наклон в западном направлении. Перемещения верхней части (отм.+45.00) относительно нижней (отм.+12.00) приближается к 1м.

Особое беспокойство вызывают данные о том, что наклон не является величиной стабильной, и колеблется в пределах  $\pm 5\%$  в зависимости от перепада сезонных температур (в сочетании с необратимыми процессами накопления остаточных деформаций).

Несмотря на работы по усилению верхнего яруса колонн деаэрационной этажерки (Южная зона.), проведенные в 1988-89гг. они не решили полностью вопроса ее устойчивости. Сейчас под влиянием высоких напряжений в ослабленных сечениях этих колонн, которые работают на грани исчерпания

<sup>1</sup> см. [1].

несущей способности, происходят деструктивные процессы, в результате которых имеет место нарастание их смещений в сторону машинного зала.

Событием, инициирующими аварию может, например, стать землетрясение: с интенсивностью  $\sim 4,5$  балла и направлением воздействия "запад-восток" (вероятность такого события оценивается  $< 0,02 \text{ год}^{-1}$ ) и "север-юг" (вероятность такого события оценивается  $< 0,01 \text{ год}^{-1}$ ). Надо понимать, что эти оценки вероятности отказа не могут претендовать на высокую точность. Они определяют лишь порядок величины с консервативной точки зрения.

При аварии могут обрушиться упоминавшиеся выше конструкции - западная стена, деаэрационная этажерка а, кроме того, опорные зоны балки "Мамонт" и др. Последствия таких событий мы будем обсуждать ниже.

## **6. Вопросы безопасности существующего "Укрытия"**

### **6.1. Ядерная безопасность <sup>1</sup>**

Определение степени ядерной безопасности "Укрытия" требует детальных знаний о скоплениях ТСМ. Надо знать количество и степень выгорания урана в таком скоплении, его элементный состав (особенно важно количество нейтронных поглотителей и замедлителей, например, бора и воды), плотность, геометрические размеры, материалы, окружающие скопление, его температуру и т.п. А поскольку скопления очень неоднородны, для точных расчетов необходимы не только усредненные, но и локальные данные для указанных параметров.

Таких данных по большинству скоплений нет. Поэтому оценка ядерной безопасности основывается, прежде всего, на исключении тех скоплений, которые заведомо безопасны.

В первые годы после аварии практически все скопления ТСМ могли считаться безопасными из-за существовавших на пути СЦР барьеров. Во-первых, это – высокая температура внутри скоплений, препятствующая проникновению внутрь замедлителя - воды. А без замедлителя, как показывали расчеты, цепная реакция возникнуть не могла. Во-вторых, это – водонепроницаемая поверхность топливных лав. Были и другие барьеры. Важно то, что с течением времени они понижались и выводы о ядерной безопасности в "Анализе ..." (1996 г.) пришлось пересмотреть.

Теперь исключенными из опасных оказались не все скопления.

Безопасны, например, скопления чистой лавы (ЛТСМ) в помещениях бассейна-барботера и парораспределительного коридора. Для них при любых воздействиях, при любых количествах попавшей воды критические параметры не достигаются.

Другое дело – скопления в подаппаратном помещении (305/2). Исследования, в том числе и исследования последних лет, не дают возможности определить все необходимые для расчетов параметры этих скоплений. В то же время, консервативные предположения об их составе (например, предположение, что в их состав входят ЛТСМ и значительное количество фрагментов активной зоны), их значительные размеры, возможность проникновения воды, не позволяют признать их полностью ядерно-безопасными.

В качестве примера можно рассмотреть скопление ТСМ, находящемся в помещении 305/2 у пролома в стене, ведущего в помещение 304/3 [2].

Сейчас, в результате последних работ по обследованию подаппаратного помещения, удалось гораздо более детально, чем раньше, построить модель этого скопления. Она приведена на рис. 11.

---

<sup>1</sup> подробнее см. [1].

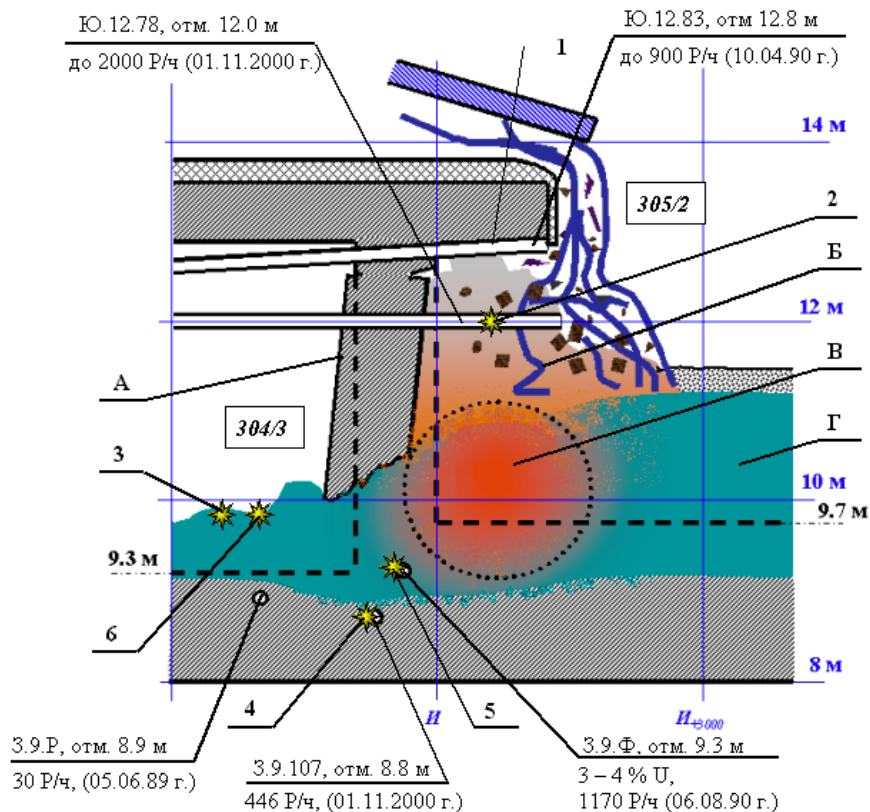


Рис.11. ТСМ у пролома между пом.305/2 и 304/3 Сечение по оси 46<sub>+2600</sub>

где: А - Разделительная стена.

Б - Завал.

В - Область возможного расположения скопления ЛТСМ с включениями шихты и непереплавленного топлива.

Г - ЛТСМ, концентрация урана 4 – 6 %.

1. Максимум потока нейтронов в скважине Ю.12.83 (ось 46<sub>+2600</sub>).

2. Детектор ИИС "Финиш", каналы 40, 42 (ось 46<sub>+2600</sub>).

3. Детектор ИИС "Финиш", каналы 46, 56 (ось 46<sub>+3000</sub>).

4. Детектор ИИС "Финиш", каналы 45, 55 (ось 46<sub>+3000</sub>).

5. Детектор ИИС "Финиш-Р", канал 3 (ось 46<sub>+3800</sub>)

6. Детектор СК ТСМ "Сигнал", каналы 5, 6, 7, 8 (ось 47<sub>-1500</sub>)

Высокие радиационные поля, измеренные в подходящих к скоплению скважинах, и результаты анализов кернов говорят о наличие большого количества ТСМ. Геометрические размеры скопления позволяют вписать в него гипотетическую "критическую сферу". Наконец, прожог пола (подреакторной плиты) позволяет предположить, что в образовавшуюся впадину может попадать вода и скапливаться там.

Измерения, проведенные в 1999 – 2000гг. по трем новым маршрутам в районе пролома подтвердили наличие в этом месте большого массива ТСМ, имеющего повышенную нейтронную активность.

Поэтому, следует принять осторожные выводы "Анализа..." [1]: **"Для ряда скоплений ТСМ, о которых нет достаточной информации, при определенных исходных событиях нельзя полностью исключить возможность возникновения СЦР. К этим помещениям относятся центральный зал, шахта реактора и подаппаратное помещение 305/2, в котором сосредоточена основная масса топливной "лавы".**

**Все это значит, что объект "Укрытие" нельзя считать ядерно-безопасным"**

**Насколько опасным может быть возникновение СЦР?**

"Анализ ..." [1] отвечает на этот вопрос следующим образом.

В случае реализации такого события даже при 100% выходе всех радионуклидов эффективная эквивалентная доза  $D_{эфф.}$  для персонала, находящегося в момент выброса в локальной зоне, может составить всего несколько мЗв. Учет защитных барьеров показывает, что эта доза, скорее всего, уменьшится на порядок.

Что касается облучения персонала внутри объекта, то оценить здесь дозы чрезвычайно трудно. Они зависят от очень многих специфических для конкретного помещения факторов - удаленности от места возникновения СЦР, направления и интенсивности воздушных течений, существования локальных защитных барьеров и т.п.

## 6.2. Радиационная безопасность <sup>1</sup>

Как видно из приведенного выше материала, радиационная опасность объекта связывается, прежде всего, с возможным обрушением строительных конструкций и выбросом радиоактивной "топливной" пыли. Благодаря работам, выполненным ЧАЭС и МНТЦ "Укрытие" в 1996–1999 гг., удалось собрать новый экспериментальный материал по количеству, аэродинамическим характеристикам пыли, её адгезии и т.п. Эти данные оказывают существенное влияние на модель расположения пыли и оценки ее возможного вовлечения в пылевое облако при обрушении конструкций.

В то же время в работах [18, 19] была предложена и развита аэродинамическая модель "Укрытия" и для нее адаптированы расчетные методы для определения формирования и распространения пылевого загрязнения.

Геометрия развалов в "Укрытии" чрезвычайно сложна (чтобы представить это, достаточно взглянуть на рис.12), а пылевое загрязнение очень неоднородно. Детальный сценарий падения конструкций разработать также практически невозможно. Поэтому расчетные оценки имеют порядковую точность, но, тем не менее, мы приведем их основные результаты для иллюстрации опасности выброса.



Рис.12. Зона пылеобразования при падении северных "клюшек".

Один из сценариев аварии подробно разбирается в "Анализе ..." [1] В нем предполагается, что при разрушении западной стены по оси 50 обрушится верхняя ее часть (до отм. 12м) с прилегающим каркасом (оси 49-51'). Обрушится опирающееся на нее западное покрытие между контрфорсной стеной и стеной по оси 50 (горизонтальные щиты и Г-образные западные "клюшки"). Сойдут с опор западные концы блоков балок Б1 и Б2.

Западная контрфорсная стена выдержит воздействие.

Южные щиты и северные "клюшки" сойдут с опор.

Плоское падение блока балок Б2 на поверхности бывшего центрального зала не предполагается, поскольку восточные оконечности блоков балок Б1 и Б2 сохраняют свое положение на вентиляционных шахтах.

<sup>1</sup> подробнее см. [1].

Падение отдельных труб покрытия маловероятно, так как трубы "склеены" между собой в зазорах гидроизолирующим слоем по всей длине.

Элементы конструкций, прилегающих к западной стене в осях 49-51' а также элементы покрытия между контрфорсной стеной и стеной "Укрытия" по оси 50 образуют "завал" в зазоре между зданием и контрфорсной стеной. Контрфорсная стена выдерживает воздействие.

Южные "клюшки", опирающиеся на балки "Мамонт" и "Осьминог", сохраняют свое положение.

Зонами потенциального пылеобразования являются зоны 1, 2, 3 на рис. 13.

Основным механизмом пылеподъема является "сдув" частиц с загрязненных поверхностей. При данном механизме грубодисперсная фракция частиц поднимается легче, чем мелкодисперсная и спектр размеров поднятых частиц отличается от спектра размеров частиц на поверхности.

Реалистичные оценки массы поднятой при падении кровельных конструкций пыли составляют:

Общая масса инертной пыли.....	3,5 тонны
Общая масса "топливной" пыли .....	8 кг(U)
Масса ингаляционной фракции "топливной" пыли.....	3 кг(U)

Вопросы формирования и распространения пылевого облака при обрушении детально рассмотрены в работе [19]. Результаты рассмотрения показывают следующее.

Предполагаемый выброс приведет к тому, что ингаляционное поступление для персонала, находящегося на площадке "Укрытия" может составить заметную долю годового поступления (эффективная доза для персонала  $\leq 2$  бэр). Серьезную опасность будет представлять и образовавшийся при падении конструкций "Укрытия" открытый источник - часть поверхности завала, оставшаяся без кровли.

**Таким образом, проведенные работы по укреплению конструкций объекта позволили уменьшить риск радиационной аварии, но не устранили его полностью.**



Рис. 13. Зоны потенциального пылеобразования при обрушении кровельных конструкций "Укрытия": ЗОНА 1 – обрушение западной стены; ЗОНА 2 – вибрация поверхности; ЗОНА 3 – сдув пыли из под падающих щитов и клюшек с опор; ЗОНА 4 – падение южных клюшек.



## 7. Преобразование "Укрытия"

Несмотря на работы по укреплению конструкций объекта (1988 – 89 гг.), к 1989 г. стало ясно, что в существующем виде "Укрытие" не может считаться объектом, безопасность которого гарантирована на десятки лет. Появилось предложение С.Т. Беляева и А.А. Борового [20] о создании "Укрытия-2". В этом предложении предлагалось возвести над существующим "Укрытием" герметичное сооружение - "Укрытие-2", которое могло бы простоять многие десятилетия. А со временем создать технологии и под защитой "Укрытия-2" разобрать разрушенный блок, вывезти и захоронить топливо.

Предварительная проработка различных вариантов преобразования объекта была проведена ВНИПИЭТ в 1991 г.([21])

Рассматривались варианты:

- "Холм" (полная засыпка объекта);
- "Зеленая лужайка" (полная разборка "Укрытия");
- "Арка" (создание герметичного "Укрытия-2" над существующим объектом, обеспечивающего длительное хранение топлива, вплоть до окончательной разборки);
- "Промежуточное омоноличивание" (последовательная заливка бетоном помещений объекта, а в будущем его разборка) (см. рис.14).

Авторы работы высказывались в пользу варианта омоноличивания.

Надо отметить, что все последующие сколько-нибудь реалистичные предложения по конструкции "Укрытия-2", не выходили за рамки предложенных ВНИПИЭТ.

15 марта 1991 г. результаты работы обсуждались на Научно-техническом Совете Минатома СССР. 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".

Начиная с 1991г. Чернобыльская зона, ЧАЭС и объект "Укрытие" перешли под юрисдикцию Украины. Украинское Правительство поддержало идею проведения Международного Конкурса и организовало его в 1992 - 1993 гг. [22]. К моменту окончания приема предложений (26.04.93) их общее количество составило около 400. Авторами выступали как объединения всемирно известных фирм, так и отдельные люди.

Еще до начала рассмотрения работ, поданных на Конкурс МНТЦ "Укрытие" и РНЦ "Курчатовский институт" выступили с предложением обязательно включить в план проведения работ по преобразованию (при любых дальнейших действиях) стадию "Стабилизации существующего "Укрытия". В направленном в Минчернобыль и на ПО ЧАЭС документе, говорилось:

"Рассчитывать на возможность за короткий срок в 2, 3 и 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".

Во время этой стадии принимаются меры по достаточно долгосрочной (для "Укрытия" более 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".

Было предложено рассмотреть возможность объявления Международного Конкурса на преобразование "Укрытие" в экологически безопасную систему.

Далее в разосланном письме приводилось описание конкретных мер по стабилизации строительных конструкций, созданию внешней системы пылеподавления, предлагались мероприятия по снижению ядерной опасности и т.п.

17 июня 1993 г. Жюри вынесло свое решение и присудило первое место проекту "Resolution" (Объединение французских фирм, возглавляемое компанией Campenon Bernard SGE). Проект "Промежуточное омоноличивание" также стал лауреатом конкурса.

Главным результатом Конкурса стала выработка стратегической линии преобразования. Она должна была включать несколько этапов, главные из которых:

- продолжение исследований;
- стабилизация состояния объекта "Укрытие";
- сооружение нового защитного сооружения вокруг объекта "Укрытие" ("Укрытие-2");
- извлечение, кондиционирование и окончательное захоронение радиоактивных материалов, находящихся внутри "Укрытия-2".

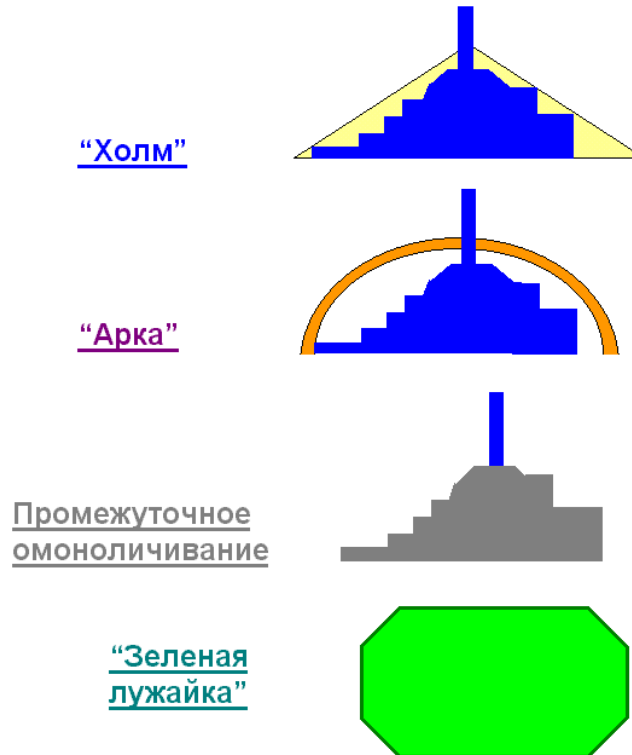


Рис.14. Варианты преобразования "Укрытия", рассмотренные ВНИПИЭТ

Понадобилось еще ~ 5 лет, чтобы работы преобразованию "Укрытия" получили необходимое финансирование в рамках Shelter Implementation Plan (SIP) [23].

Что он из себя представляет.

В окончательный вариант SIP вошли 22 задачи, 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 создание "Укрытия-2" - нового безопасного конфаймента (НБК), который в дальнейшем позволил бы выполнить работы по разборке разрушенного реактора и удалению ТСМ.

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).

Срок реализации работ в SIP первоначально определялся от 7 до 10 лет.

Стоимость всех работ, запланированных в SIP, оценивалась в 758 млн. долл. США. Из них:

247 млн. - краткосрочные мероприятия, связанные с укреплением и стабилизацией некоторой части конструкций;

189 млн. - краткосрочные мероприятия, связанные с противоаварийными мерами, повышением радиационной и ядерной безопасности;

273 млн. - долгосрочные мероприятия;

49 млн. - управление проектом.

Для финансирования SIP учрежден Чернобыльский Фонд Укрытие. Управление Фондом поручено Европейскому Банку Реконструкции и Развития (ЕБРР).

Здесь необходимо сделать замечание. Все перечисленные выше документы международных экспертов целиком основывались на работах, выполненных российскими и украинскими организациями на объекте "Укрытие".

С начала работ по SIP прошло около 5 лет. Завершена подготовительная фаза и должна начаться фаза проектирования и строительства. Видно, что работы продвигаются крайне медленно, а затраты очень велики. Действительно, за эти годы из работ на объекте по SIP была выполнена одна - укреплены балки (см. выше). Стоимость этой работы менее 3 млн. долл. Суммарные затраты за это же время составили ~100 млн. долларов. При этом значительная их часть пошла на выпуск отчетов, по сути, повторяющих более ранние отчеты "КЭ", ЧАЭС и МНТЦ "Укрытие".

Только в 2000-2001гг. наконец рассмотрены и приняты такие ключевые документы, как стратегия стабилизации и стратегия НБК.

Правительственная Межведомственная комиссия по комплексному решению проблем Чернобыльской АЭС под председательством премьер-министра Украины приняла решение, которое нашло отражение в Протоколе № 2 от 12 марта 2001 года:

пункт 2.4 - "С целью ускорения работ по преобразованию объекта "Укрытие" и с учетом настойчивых рекомендаций ЕБРР и независимых экспертов признать, как базовый, проект конфаймента типа "АРКА" с включением в него перспективных технических решений других проектов".

По предварительным проработкам "АРКА" должна иметь максимальную ширину ~ 260 м, максимальную высоту ~ 100 м и глубину ~ 100 м. Она монтируется и затем надвигается на "Укрытие". (см. рис.15)

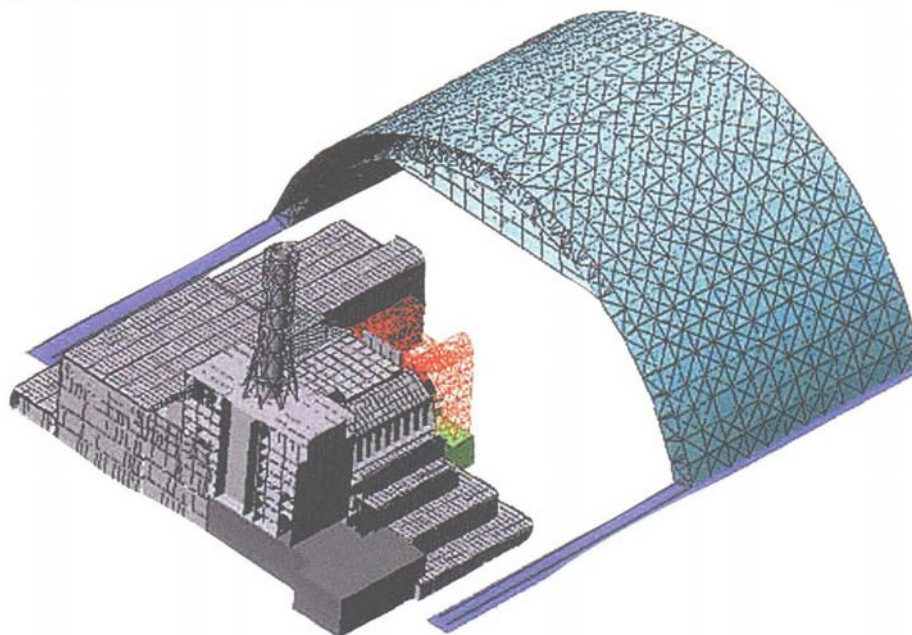


Рис.15. Схема осуществления варианта "Арка".

#### **Чем должны были бы кончиться работы, проводимые в рамках SIP?**

Нам представляется, что если действовать оптимальным способом, то собранных для преобразования денег должно хватить для решения, по крайней мере, четырех основных задач.

Во-первых, стабилизации наиболее опасных конструкций.

Во-вторых, и это – главная задача, создание герметичного и долговечного нового безопасного конфаймента.

Речь о полном извлечении и захоронении ТСМ и РАО сейчас идти не может. За прошедшие годы, несмотря на значительные потраченные средства, не появилось ни приемлемой адаптации существующих технологий к этой проблеме, ни чего-нибудь нового (пакет D). Нет и серьезно проработанных проектов захоронения. Но самое главное, пока нет огромных средств для того, чтобы начать и завершить эти задачи.

Многолетний перерыв неизбежный между возведением НБК и извлечением радиоактивных материалов делает особенно важным высоко надежное функционирование единой системы контроля и диагностики (ее иногда называют "интегрированной"). Требования к такой системе во многом специфичны, как и специфичен сам объект.

Итак, в-третьих, создание надежной системы контроля.

Работы по такой системе сейчас начинаются, но их организация вызывает большое беспокойство. К сожалению, идеологами будущей системы почему-то не стали ни МНТЦ "Укрытие", ни Институт ядерных исследований НАНУ, ни "Курчатовский институт" - крупные научные центры, имеющие уникальный опыт таких работ на "Укрытии".

Наконец, 4-ая задача.

Если эстафета окончательной разборки передается следующим поколениям, то, теперешнее обязано всеми имеющимися средствами облегчить эту задачу.

Необходимо создать соответствующие базы данных и сохранить в них огромный объем информации об "Укрытии", полученный за десятилетия исследований и работы на объекте. Ценность этой информации и в денежном и в дозовом выражении огромна.

В SIP эта задача оказалась размазанной по различным пакетам и на первом этапе работ практически не выполнялась. Тем большее значение приобретает создание в рамках Франко-Германской инициативы базы данных "Состояние безопасности объекта "Укрытие" Чернобыльской АЭС" [24]. В состав базы включены данные по:

- состоянию строительных конструкций "Укрытия";
- состоянию топливосодержащих масс и радиоактивных веществ объекта "Укрытие" Чернобыльской АЭС;
- радиационной ситуации и пожарной безопасности на объекте "Укрытие" и его промплощадке;
- влиянию объекта "Укрытия" на окружающую среду.

О части этой базы, содержащей информацию по ТСМ, уже говорилось выше. Работа над базой продолжалась более 3 лет и сейчас находится в завершающей стадии. К сожалению, до сих пор необходимое взаимодействие проекта SIP с создателями базы не организовано.

## Список литературы

1. "Анализ текущей безопасности объекта "Укрытие" и прогнозные оценки развития ситуации". Отчет МНТЦ "Укрытие", арх. № 3836, 337 с., 154, 2001г. Чернобыль.

2. Решение № 234 Правительственной Комиссии от 11.10.86 г. Приложение: "Заключение о надежности и долговечности конструкций покрытия, а также радиационной безопасности реакторного отделения блока № 4 ЧАЭС.

3. Borovoi A.A. Analytical Report (Post- Accident Management of Destroyed Fuel from Chernobyl) // IAEA, Work Material, 1990. - P. 1 - 99.

4. Богатов С.А., Боровой А.А. О некоторых свойствах топливосодержащих частиц, образовавшихся при аварии на Чернобыльской АЭС, и особенностях формирования топливного выброса. - М., 1990г. – 30 с. - (Препр. / ИАЭ им. И.В. Курчатова; 5344/3).

5. Borovoi A.A, Sich A.R. Chernobyl Accident Revised, Part 2, The State of Nuclear Fuel Located Within the Chernobyl Sarcophagus", Nuclear Safety, Vol.36, No.1, January-June 1995, pp.1-32.

6. Пазухин Э.М. ЛТСМ 4-го блока ЧАЭС: топография, физико-химические свойства, сценарий образования // Сборник "Объект "Укрытие" - 10 лет, основные результаты научных исследований" / Национальная Академия Наук Украины. – Чернобыль, 1996. - С. 78-99.

7. "Техническое обоснование ядерной безопасности объекта Укрытие". Чернобыль: КЭ при ИАЭ им. И.В. Курчатова, 1990г.- 160с.
8. Андерсон Е.Б., Богатов С.А., Боровой А.А. и др. Лавообразные топливосодержащие массы объекта "Укрытие". - Киев, 1993. - 44с.- (Препр. / НАНУ МНТЦ "Укрытие"; 93-17).
9. "Анализ текущей безопасности объекта "Укрытие" и прогнозные оценки развития ситуации" Инв. N216 от 06.09.96г., Чернобыль, 188 стр.
10. Borovoi A., Gavrilov S. Development of the database "Nuclear fuel and radioactive waste in the Shelter of Chernobyl NPP", Nuclear Safety Institute Russian Academy of Sciences, Preprint IBRAE - 2001-01, Moscow 2001, 28p.
11. Боровой А.А., Гагаринский А.Ю. Выброс радионуклидов из разрушенного блока Чернобыльской АЭС, "Атомная энергия", т.90, вып.2, стр. 137 - 145, 2001г.
12. Krinitsyn A. P., Simanovskaya I. Ya., Strikhar O.L. Action of Water on Construction and Fuel-containing Materials in the Facilities of the Chernobyl Sarcophagus" // Radiochemistry. - 1998. - Vol.40.-№.3. - P. 287 - 297.
13. Богатов С.А., Корнеев А.А., Криницын А.П. и др. Проблема воды в объекте "Укрытие". – Чернобыль, 1999. - 27 с. (Препр. / МНТЦ "Укрытие"; 99-5).
14. Выполнение работ по контролю и анализу неорганизованных выбросов из объекта "Укрытие" // отчет (заключительный по договору № 123/2000) / ОЯРБ МНТЦ "Укрытие", 2000г. – 75 с.
15. Боровой А.А., Краснов В.А. Итоги работы последних лет // Сборник "Проблемы Чернобыля". – Вып. 7. – Чернобыль, 2001. - С. 51 - 63.
16. Боровой А.А., Богатов С.А., Пазухин Э.М. Современное состояние объекта "Укрытие" и его влияние на окружающую среду // Радиохимия. - Т.41, №4, 1999. - С. 368 – 378.
17. Малюк И.А., Павлюченко Н.И., Хан В.Е. и др. Мониторинг неорганизованных выбросов из объекта "Укрытие" // Сборник "Проблемы Чернобыля". – Вып. 7. – Чернобыль, 2001. - С. 170 - 180.
18. Богатов С.А. Оценка количества пыли, способного ко вторичному подъему при обрушении кровельных конструкций объекта "Укрытие". - Москва, 2000. – 25 с. (Препр. / ИАЭ им. И.В. Курчатова; 6210/1).
19. Богатов С.А. Оценка радиологических последствий аварии, связанной с обрушением кровельных конструкций объекта "Укрытие". - Москва, 2001. – 29 с. (Препр. / ИБРАЭ; IBRAE-2001-06).
20. 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.
21. Программа работ по повышению безопасности объекта "Укрытие". Утверждена Министром СССР В.Ф. Коноваловым 18 октября 1989г.
22. Описание объекта "Укрытие" и требования к его преобразованию. (Минчернобыль Украины, Академия Наук Украины). - Киев, Наукова думка, 1992.
23. The EC-Tacis Nuclear Safety Program and the US-DoE-INSP-Program: Chernobyl Unit 4 - Shelter Implementation Plan, 1997. - 232 p.