

**Национальная академия наук Украины  
Институт проблем безопасности атомных электростанций**

**А. А. Ключников, В. А. Краснов, В. М. Рудько,  
В. Н. Щербин**

**ОБЪЕКТ «УКРЫТИЕ»  
1986 – 2011**

**На пути к преобразованию**

**Чернобыль 2011**

The monograph presents the causes and consequences of the accident at Unit 4 Chernobyl NPP, peculiarities of the Shelter construction, the results of studies to determine the location and amount of fuel-containing materials and their potential danger. The characteristics of the radioactive aerosol are considered as well as formation mechanisms and migration routes of liquid radioactive waste. The Project of Stabilization of Building Structures, preparation and implementation of other projects being implemented under the Implementation Plan at the Shelter (SIP) are described, including the creation of New Safe Confinement and a strategy for the further transformation of the Shelter into an ecologically safe system.

Designed for professionals dealing with the transformation of the Shelter and radioactive waste, as well as nuclear and radiation safety.

**Объект «Укрытие»:** 1986 – 2011. На пути к преобразованию : монография / А. А. Ключников, В. А. Краснов, В. М. Рудько, В. Н. Щербин ; – НАН Украины, Ин-т проблем безопасности АЭС. – Чернобыль (Киев. обл.) : Ин-т проблем безопасности АЭС, 2011. – 288 с.

ISBN 978-966-02-5968-3

В монографии представлены причины и последствия аварии на 4-м энергоблоке ЧАЭС, особенности строительства объекта «Укрытие», результаты исследований по определению расположения и количеству топливосодержащих материалов и их потенциальная опасность. Рассмотрены характеристики радиоактивных аэрозолей, механизмы образования и пути миграции жидких радиоактивных отходов. Описана реализация проекта стабилизации строительных конструкций, подготовка и реализация других проектов, выполняемых в рамках плана осуществления мероприятий на объекте «Укрытие» (SIP), включая создание нового безопасного конфайнмента, а также стратегия дальнейшего преобразования объекта «Укрытие» в экологически безопасную систему.

Предназначена для специалистов, занимающихся проблемами преобразования объекта «Укрытие», обращения с радиоактивными отходами, а также ядерной и радиационной безопасности.

УДК 621.039.586«1986/2011»

ISBN 978-966-02-5968-3

© А. А. Ключников, В. А. Краснов,  
В. М. Рудько, В. Н. Щербин, 2011

## СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

---

АД	- аэродинамический диаметр
АЗ	- аварийная защита
АЗМ	- аварийная защита по мощности
АЗС	- аварийная защита по скорости нарастания мощности
АЗФ	- фрагменты активной зоны
АЭС	- атомная электростанция
ББ	- бассейн-барботер
ВАО	- высокоактивные отходы
ВСРО	- вспомогательные системы реакторного отделения
ВТ	- вентиляционная труба
ГКЯР	- Государственный комитет ядерного регулирования
ГПАН	- Госпроматомнадзор
ГСП	- государственное специализированное предприятие
ГУП	- группа управление проектом
ГЦН	- главный циркуляционный насос
ДУА	- дистанционно управляемый агрегат
ЕБРР	- Европейский банк реконструкции и развития
ЖРО	- жидкие радиоактивные отходы
ИАСК	- интегрированная автоматизированная система контроля
ИБДУ	- интегрированная база данных на объекте «Укрытие»
ИИК	- информационно-измерительный канал
ИИС	- информационно-измерительная система
ИПБ АЭС	- Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины
КИЭП	- Киевский институт «Энергопроект»
КМЗ	- критмассовая зона
КМПЦ	- контур многократной принудительной циркуляции
ЛТСМ	- лавообразные топливосодержащие материалы
МСПП	- модернизированная система пылеподавления
МЭД	- мощность экспозиционной дозы
НБК	- новый безопасный конфайнмент
НИИСК	- научно-исследовательский институт строительных конструкций
ОЯТ	- отработанное ядерное топливо
ПВК	- пароводяные коммуникации

ПОМ	- план осуществления мероприятий на объекте «Укрытие»
ПОС	- проект организации строительства
ППН	- плотность потока нейтронов
ППР	- проект производства работ
ПРК	- парораспределительный коридор
ПЭН	- питательные электронасосы
РАО	- радиоактивные отходы
РБМК	- реактор большой мощности канальный
РЗМ	- разгрузочно-загрузочная машина
РНЦ КИ	- Российский научный центр «Курчатовский институт»
САОР	- система аварийного охлаждения реактора
СИЗ	- средства индивидуальной защиты
СК	- система контроля
СКЯБ	- система контроля ядерной безопасности
СПП	- система пылеподавления
СУЗ	- стержни управления и защиты
СЦР	- самоподдерживающаяся цепная реакция
ТК	- технологический канал
ТВС	- тепловыделяющая сборка
ТРО	- твердые радиоактивные отходы
ТСМ	- топливосодержащие материалы
ТУЭ	- трансурановые элементы
УГВ	- уровень грунтовых вод
ЦЗ	- центральный зал
ЧАЭС	- Чернобыльская атомная электростанция
ЮБВ	- южный бассейн выдержки



## ВВЕДЕНИЕ

Прошло уже четверть века со дня наибольшей техногенной катастрофы современности – аварии на ЧАЭС, которая затронула жизни многих людей во всем мире.

Как известно, важнейшим итогом деятельности по реализации первоочередных мер, направленных на минимизацию последствий аварии на 4-м энергоблоке ЧАЭС, стало сооружение объекта «Укрытие». Проектирование и строительство объекта «Укрытие» было осуществлено в рекордно короткие сроки (всего за полгода) и в тяжелейших радиационных условиях, что не позволило создать объект в полном соответствии с нормами и правилами, действующими в атомной энергетике и в сфере обращения с радиоактивными отходами.

Главным источником ядерной и радиационной опасности объекта «Укрытие» являются скопления топливосодержащих материалов (ТСМ), образовавшиеся в процессе аварии. Потенциальная опасность ТСМ со временем возрастает вследствие спонтанного разрушения поверхности лавообразных ТСМ с образованием высокоактивной пыли, которая представляет собой значительную радиэкологическую опасность, учитывая высокую вероятность обрушения строительных конструкций.

Поэтому сразу же после завершения строительства объекта «Укрытие» были начаты и продолжаются по настоящее время научно-исследовательские, опытно-конструкторские, проектные и строительно-монтажные работы с целью повышения уровня его безопасности и в конечном итоге преобразования в экологически безопасную систему.

Первоначально исследования состояния объекта «Укрытие» выполнялись, главным образом, специалистами ВНИПИЭТ (генерального проектировщика объекта) и Комплексной экспедиции Института атомной энергии им. И. В. Курчатова. По результатам этих исследований был осуществлен ряд неотложных мер, направленных на обеспечение безаварийной эксплуатации данного объекта.

После распада СССР основной объем работ по изучению факторов ядерной и радиационной опасности объекта «Укрытие», а также состояния его строительных конструкций, выполняется украинскими организациями, в частности ИПБ АЭС НАН Украины (до 2004 г. МНТЦ «Укрытие»), НИИСК, Киевским институтом «Энергопроект» и др.

Начиная с 1998 г., исследование состояния объекта «Укрытие» и реализация первоочередных проектов по его преобразованию в экологически безопасную систему выполняются в соответствии с Планом осуществления мероприятий на объекте «Укрытие» (ПОМ). Эта деятель-

ность осуществляется специалистами из Украины и многих зарубежных стран.

На сегодняшний день в рамках реализации ПОМ выполнены стабилизационные мероприятия, запущена модернизированная система пылеподавления, завершается монтаж систем противопожарной защиты, физической защиты, интегрированной автоматизированной системы контроля. В настоящее время осуществляется проектирование нового безопасного конфайнмента (НБК).

Целью настоящей монографии является обобщение результатов всей предыдущей деятельности, связанной с ликвидацией последствий аварии на 4-м энергоблоке ЧАЭС за весь послеаварийный период, а также освещение предстоящих задач по преобразованию объекта «Укрытие» в экологически безопасную систему.

В монографии проанализированы причины и масштабы аварии, а также первоочередные меры по минимизации ее последствий, включая строительство объекта «Укрытие» над разрушенным 4-м энергоблоком. Изложены результаты исследования состояния ядерных материалов, приведена оценка их количества, описаны места локализации ТСМ, их физико-химические свойства. Проведен анализ современного состояния ядерной и радиационной безопасности объекта «Укрытие». Особое внимание уделено стабилизационным мероприятиям, реализация которых позволила обеспечить приемлемый уровень безопасности объекта «Укрытие», исходя из 15-летнего срока эксплуатации стабилизированных конструкций и с учетом завершения строительства НБК за этот период.

В отдельных разделах монографии дана оценка текущей ситуации, связанной с проектированием НБК, а также проанализированы перспективы будущего извлечения ТСМ. Обращается внимание на то, что разработка технологий и технических средств по извлечению и последующему обращению с ТСМ является чрезвычайно важной задачей для окончательного преобразования объекта «Укрытие» в экологически безопасную систему. Однако решение этой задачи отложено на неопределенный срок.

Авторы настоящей монографии надеются, что изложенная информация будет полезной для широкого круга ученых и специалистов, а также будет способствовать их приобщению к решению проблем этого уникального объекта, не имеющего аналогов в мировой практике.



## РАЗДЕЛ 1

### История создания объекта «Укрытие»

#### 1.1. Авария на 4-м энергоблоке ЧАЭС

25 апреля 1986 г., перед остановкой реактора 4-го энергоблока ЧАЭС на средний ремонт, были запланированы испытания турбогенератора (ТГ) № 8 в режиме выбега (по инерции при прекращении подачи пара на турбину) для проверки возможности использования запасенной механической энергии ротора для обеспечения электропитанием ПЭН и ГЦН в условиях полного обесточивания станции. Проведение испытаний было вызвано тем, что до начала эксплуатации блоков этой серии не был отработан противоаварийный режим, обеспечивающий надежную принудительную циркуляцию в контуре охлаждения реактора на время, необходимое для выхода на режим вспомогательных дизель-генераторов, при обесточивании собственных нужд блока.

Комиссия ГПАН СССР в докладе [1] констатирует, что положение об использовании выбега турбогенераторов с нагрузкой собственных нужд исходило от Главного конструктора [2] и Генпроектанта [3]. Оно объяснялось необходимостью гарантированного поддержания принудительной циркуляции в контуре охлаждения реактора, для чего требовалось обеспечить ГЦН и ПЭН надежным электроснабжением. Указанная концепция использования выбега была признана разработчиком и включена в проекты строительства АЭС с РБМК. Необходимость проведения этих испытаний была обусловлена тем, что своевременно, до начала промышленной эксплуатации блоков данной серии, не был отработан один из важных противоаварийных режимов эксплуатации.

В 1982 г на 3-м энергоблоке ЧАЭС были проведены соответствующие испытания, которые показали, что необходима доработка системы регулирования возбуждения ТГ. Дополнительные испытания проводили в 1984 – 1985 гг. Программами 1982 и 1984 гг. предусматривалось подключать к выбегающему ТГ по одному ГЦН с каждой стороны реактора, а программами 1985 и 1986 гг. – по два ГЦН. Программами 1984, 1985 и 1986 гг. предусматривалось отключение САОР ручными задвижками.

Общее руководство при испытаниях на 4-м блоке ЧАЭС осуществлял заместитель главного инженера по эксплуатации второй очереди А. С. Дятлов, он же проводил инструктаж задействованного персонала [4]. Эксплуатационная документация вместе с обсуждаемой программой и имевшимися у персонала сведениями о реакторной установке, давали достаточные основания для безопасного проведения запланированного режима [1].

При испытаниях необходимо было выполнить:  
снижение мощности реакторной установки;  
блокировку САОР для предотвращения ложного срабатывания ее при испытаниях;

перекоммутацию электропитания ГЦН таким образом, чтобы четыре из них использовались для проведения испытаний, а четыре – получали питание от сети и обеспечивали охлаждение АЗ;

отключение по пару турбогенератора № 8 и проведение испытаний.

Испытания должны были проводиться с мощностью 700 - 1000 МВт (тепловых) 25 апреля 1986 г. Примерно за сутки до аварии (около 3-4 часов 25 апреля), мощность реактора была снижена примерно до 50 % (1600 МВт), однако дальнейшее снижение мощности было запрещено диспетчером Киевэнерго из-за поломки на Южно-Украинской АЭС. Продолжение снижения мощности энергоблока было разрешено диспетчером в 23 ч, таким образом, длительное время активная зона находилась в режиме отравления ксеноном. В течение примерно двух часов мощность реактора была снижена до уровня, предусмотренного программой (около 700 МВт тепловых), а затем, по неуставленной причине, до 500 МВт. Вслед за этим персонал допустил ошибку, в результате которой мощность реактора начала быстро неконтролируемо снижаться. При этом мощность, которая регистрировалась внутризонными датчиками энерговыделения, уменьшилась до значения не более 30 МВт, а мощность, зарегистрированная боковыми ионизационными камерами – до нуля. Персонал, находившийся на БЩУ-4, принял решение о восстановлении мощности реактора извлекая поглощающие стержни реактора и вследствие чего через несколько минут началось ее увеличение и стабилизация на уровне 160 - 200 МВт (тепловых). При быстром снижении мощности и последующей работе на уровне 200 МВт усиливалось отравление активной зоны реактора ксеноном, что приводило к необходимости дополнительно извлекать регулирующие стержни из активной зоны. При этом большинство стержней системы управления и защиты (СУЗ) находились на верхних концевиках. После достижения 200 МВт тепловой мощности были включены дополнительные ГЦН, которые, совместно с двумя дополнительно работающими насосами питания, должны были служить нагрузкой для генераторов во время эксперимента. Увеличение расходов теплоносителя через реактор привело к уменьшению парообразования. В то же время питание относительно холодной воды оставалось небольшим и соответствовало мощности 200 МВт, что вызвало повышение температуры теплоносителя на входе в активную зону и приближение к температуре начала кипения. Это создало неблагоприятные условия, в которых особенно сильно мог проявиться



положительный паровой коэффициент реактивности. В 01 ч 23 мин 04 с начался эксперимент.

В 01 ч 23 мин 40 с оператором управления реактором была нажата кнопка ручной аварийной остановки реактора. Причина нажатия оператором кнопки АЗ-5 достоверно не установлена. По показаниям ответственного руководителя испытаний, заместителя главного инженера по эксплуатации второй очереди ЧАЭС А. С. Дятлова кнопка АЗ-5 была нажата в связи с завершением испытаний. Судебно-технические эксперты после аварии выполняли фотографирование ленты самописца с записью мощности реактора с 17-ти и 30-ти кратным увеличением, где и заметили незначительное повышение мощности за 20 с до взрыва. Однако невооруженным глазом это повышение мощности не фиксируется.

Через три секунды после нажатия кнопки АЗ-5 появились сигналы аварийных защит по периоду разгона реактора (АЗС) – период менее 20 с, а также по превышению мощности (АЗМ) – мощности более 530 МВт (тепловых). За время около 3 с вытеснители аварийных стержней СУЗ при проектной скорости движения стержней 0,4 м/с прошли расстояние 1,2 м и полностью вытеснили столбы воды, расположенные под ними. Сработал «эффект вытеснителей», вследствие чего, согласно расчетам, была введена положительная реактивность и начался неуправляемый разгон реактора в его нижней части.

Из записи в оперативном журнале старшего инженера управления реактором: «01 ч 24 мин: сильные удары, стержни СУЗ остановились, не дойдя до нижних концевиков. Выведен ключ питания муфт».

По разным свидетельствам было от одного до нескольких мощных ударов (большинство свидетелей указали два мощных взрыва), и в 01 ч 23 мин 49 с реактор был полностью разрушен (рис. 1.1.).

Было выполнено большое количество работ, посвященных исследованию факторов, которые потенциально могли бы привести к разгону реактора.

Возможность управления ядерным реактором определяется наличием запаздывающих нейтронов, испускаемых осколками деления, спустя некоторое время после деления ( $\beta_{эф}$  – эффективная доля запаздывающих нейтронов на деление). Кроме того, зависимость мощности реактора от времени (период реактора) определяется его реактивностью  $\rho$ .

Реактивность  $\rho$  неразрывно связана с эффективным коэффициентом размножения нейтронов  $K_{эф}$ :

$$\rho = (K_{эф} - 1) / K_{эф}, \quad (1.1)$$

где  $K_{эф}$  – отношение числа нейтронов последующего поколения к числу нейтронов предыдущего поколения в активной зоне реактора.



Рис. 1.1. Разрушенный 4-й блок ЧАЭС.

В стационарном состоянии  $\rho = 0$ , в подкритическом  $\rho < 0$ , в надкритическом  $\rho > 0$ .

При  $0 < \rho < \beta_{\text{эф}}$  реактор критичен на запаздывающих нейтронах, при этом период реактора составляет десятки секунд, что позволяет эффективно управлять реактором.

При  $\rho > \beta_{\text{эф}}$  реактор становится надкритическим на мгновенных нейтронах и его период будет равен

$$T_p = T / (\rho - \beta), \quad (1.2)$$

где  $T$  - время жизни нейтронов в активной зоне (порядка  $10^{-3}$  с).

Одним из недостатков реактора РБМК-1000 до выполнения мероприятий по повышению безопасности была большая величина положительного парового коэффициента реактивности, характеризующего изменение реактивности при изменении паросодержания и составлявшего 4–5  $\beta_{\text{эф}}$ , т.е. безопасность реактора могла быть обеспечена только системой управления и защиты.

В соответствии с первой официальной версией «первопричиной аварии» явилось крайне маловероятное сочетание нарушений порядка и режима эксплуатации, допущенных персоналом энергоблока. Катастро-



фические размеры авария приобрела в связи с тем, что реактор был приведен персоналом в такое нерегламентное состояние, в котором существенно усилилось влияние положительного эффекта реактивности на рост мощности» [5]. В соответствии с этой версией персоналу вменялись в вину ряд «наиболее опасных нарушений», вследствие чего реактор был «приведен в нерегламентное состояние». Вместе с тем в решении научно-технического совета ГПАН СССР от 15 февраля 1990 г. № 8, по рассмотрению причин Чернобыльской аварии, сделан однозначный вывод о том, что «инкриминированные персоналу нарушения не являлись причиной аварии, не влияли на ход ее развития и масштабы последствий». Персонал действовал в соответствии с эксплуатационной документацией, так или иначе санкционировавшей эти действия. Отклонения параметров реактора от регламентных значений, которые могли происходить при этом, не могли своевременно контролироваться персоналом в силу недостатков системы контроля реактора. В распоряжении персонала не было ни одного параметра, по значению которого он мог бы сделать вывод о том, что реакторная установка пребывает в нерегламентном состоянии. «И проект, и технологический регламент допускали режимы, подобные тому, который имел место 26 апреля 1986 года на 4-м блоке Чернобыльской АЭС и реализоваться они могли без какого-либо вмешательства персонала» [1].

Межведомственной комиссией под председательством первого заместителя Министра среднего машиностроения СССР А. Г. Мешкова была сформулирована версия аварии, которая состояла в том, что авария на 4-м энергоблоке ЧАЭС произошла в результате неконтролируемого разгона реактора вследствие запаривания технологических каналов активной зоны из-за срыва циркуляции в КМПЦ. Срыв циркуляции произошел из-за несоответствия расхода питательной воды и расхода теплоносителя в КМПЦ. Последующий углубленный анализ теплогидравлического режима работы ГЦН, выполненный разработчиком ГЦН с привлечением научных институтов, не подтвердил предположения о кавитации и срыве ГЦН [6]. Было установлено, что наименьший запас до кавитации ГЦН имел место в 01 ч 23 мин 00 с, т.е. приблизительно за 40 с до разгона реактора, но был выше того, при котором мог бы произойти срыв ГЦН.

Тогда же, в конце мая 1986 г., группой специалистов было сделано дополнение [7] к акту расследования аварии, в котором излагались следующие причины аварии:

принципиально неверная конструкция стержней системы управления и защиты;

положительные паровой и быстрый мощностный коэффициенты реактивности;

большой расход теплоносителя при малом расходе питательной воды;

нарушение персоналом регламентного ОЗР, малый уровень мощности;

недостаточность в проекте средств защиты и оперативной информации для персонала;

отсутствие указаний в проекте и технологическом регламенте об опасности нарушения ОЗР.

В этом же документе указывается на недостаточность и неоднозначность информации персоналу, заложенной в проектной и эксплуатационной документации, вследствие чего нарушение персоналом регламента «в части поддержания минимально допустимого оперативного запаса реактивности и программы испытаний в части поддержания уровня мощности реактора» названо непреднамеренным. В разделе «Причины аварии и виновники развития аварии» констатируется, что в соответствии с положениями «Инструкции по расследованию и учету нарушений в работе электростанций, систем, энергосистем, и энергообъединений» авария классифицируется как вина организации-разработчика.

Таким образом, уже в 1986 г. оформились две противоположные версии на непосредственные причины аварии, одна из которых связывала основные причины аварии с нестабильностью реактора РБМК, несовершенством конструкции и регламента эксплуатации, другая — с нарушением регламента эксплуатации реакторной установки персоналом станции.

Следует отметить, что уже в первой официальной версии приводится один из основных конструктивных недостатков РБМК — большой положительный паровой коэффициент реактивности, результатом которого явились катастрофические последствия аварии.

При дальнейшем изучении причин аварии, математическом моделировании возможного влияния отдельных факторов на разгон реактора и сравнении полученных при этом параметров с фактическими в большинстве работ обсуждаются два механизма, которые могли вызвать всплеск мощности с последующими катастрофическими последствиями:

введение положительной реактивности стержнями СУЗ вследствие недостатка их конструкции при состоянии реактора, которое было перед аварией [1, 8–17];

внешнее воздействие на поток теплоносителя в КМПЦ, такое как кратковременное открытие паровых предохранительных клапанов, резкое снижение производительности «выбегающих» ГЦН, кавитация ГЦН и т.д. [18–21].



Реализация всех механизмов разгона возможна только при большом положительном паровом эффекте реактивности, присущем данному типу реактора.

Рассмотрим более подробно состояние реактора перед аварией и предлагаемые сценарии первой фазы аварии. Следует обратить внимание, что этот режим главным конструктором при проектировании не рассматривался: «Ни одним проектным и эксплуатационным документом не определялся безопасный уровень мощности, разгрузка ниже которого приводила реактор в ядерно-опасное состояние» [22].

На время аварии активная зона содержала 1659 ТВС со средним выгоранием  $10,3 \text{ МВт} \cdot \text{сут/кг U}$ , один дополнительный поглотитель и один незагруженный канал Основной часть ТВС (75 %) представляли собой сборки первой загрузки с выгоранием  $12\text{--}15 \text{ МВт} \cdot \text{сут/кг}$  [5]. Паровой коэффициент реактивности для РБМК-1000 отрицателен для свежезагруженного топлива, а с ростом выгорания и выгрузкой дополнительных поглотителей (ДП) становится существенно положительным при стационарном режиме перегрузки ( $2\text{--}2,5 \cdot 10^{-4} \%$  по объему пара).

Перед аварией работали все восемь ГЦНов, что существенно уменьшило паросодержание в активной зоне, переместив парообразование в верхнюю половину. Кроме того, из-за снижения паросодержания возрастает уровень воды в барабан-сепараторах, в связи с чем уменьшается их подпитка, что приводит к повышению температуры теплоносителя на всасе ГЦН. Из-за малого недогрева теплоносителя до кипения на входе в активную зону небольшое увеличение мощности должно привести к значительному увеличению паросодержания в нижней части активной зоны по сравнению с верхней.

Одной из возможных причин аварии, по мнению ряда специалистов, могут являться процессы, вызванные отключением или кавитацией ГЦН. Так, в работе [20] выполнен анализ возможного развития аварийного процесса с момента нажатия кнопки АЗ-5 с учетом возникновения ситуации с обесточиванием четырех ГЦН, выбегавших до этого момента вместе с турбогенератором (по два ГЦН на сторону). Для сравнения проводились расчеты и без отключения ГЦН. Анализ полученных данных показывает, что сразу после нажатия кнопки АЗ-5 происходит существенное изменение нейтронного поля, сопровождающееся увеличением нейтронного поля в нижней части реактора и уменьшением его в верхней половине. При том снижении оперативного запаса реактивности, которое было допущено персоналом, рост нейтронной мощности в нижней части реактора через 1,5 с после срабатывания АЗ-5 начинает преобладать над снижением нейтронной мощности в верхней части, так что средняя интегральная мощность возрастает, достигая максимума к 7,5 с, после чего

начинает резко падать. Локальный максимум нейтронного поля в правой половине реактора кратковременно достигает номинального значения, максимальная температура ТВЭЛ при таких условиях срабатывания АЗ-5 не превышает значения 420 °С.

Режим с отключением четырех ГЦН приводит к интенсивному росту нейтронной мощности и разгону реактора, который начинается в нижней половине реактора, куда стержни системы управления и защиты не успели дойти. При этом в местах наибольшего энерговыделения активной зоны температура ТВЭЛ превысит температуру плавления топлива, что должно вызвать интенсивный процесс генерации и перегрева пара в АЗ, рост давления в КМПЦ, кратковременное снижение расхода оставшихся в работе ГЦН, разрушение технологических каналов и всего реактора. Аналогичные выводы делаются и в работе [19], в которой для пред-аварийного состояния реактора, близкого к возникшему на 4-м энерго-блоке ЧАЭС, когда активная зона заполнена водой с малым недогревом до кипения, исследовалось воздействие на систему срабатывания аварийной защиты АЗ-5 и кратковременного ввода в зону положительной реактивности в процессе движения стержней аварийной защиты и изучались последствия отключения турбогенератора и работы на выбеге двух из четырех работавших ГЦН каждой петли. Расчеты показали, что срабатывание аварийной защиты само по себе не приводит к разгону реактора, в то время как работа двух из четырех ГЦН каждой половины от выбегающего ТГ с неуклонным уменьшением расхода может привести к развитию катастрофического процесса и без воздействия положительной реактивности от вытеснителей стержней СУЗ старой конструкции. Если на развитие процессов, обусловленных выбегом ТГ, на 40-й секунде после прекращения подачи пара на ТГ воздействует срабатывание АЗ-5, то разгон реактора произойдет на 46–48-й секундах.

Большое количество исследований причин аварии и моделирования процессов, которые привели к аварии, позволили сделать вывод, что основными факторами, повлиявшими на развитие аварии, явились большой положительный коэффициент реактивности и недостатки конструкции СУЗ, проявившиеся в нерегламентном состоянии реактора, в которое он был приведен перед аварией, причем существенную роль в развитии аварии сыграли пространственные динамические процессы [10, 13, 14, 16, 17].

Итак, в момент срабатывания АЗ-5 в 01 ч 23 мин 40 с большинство стержней находились на верхних концевиках, 42 стержня были погружены на глубину до 2 м, глубже 2 м – 2 стержня и 3 УСП были введены в зону более чем на 1 м.



Параметры реактора характеризовались следующими величинами [8]:

мощность - 200 МВт (тепловых);

оперативный запас реактивности (значение получено по программе ПРИЗМА-АНАЛОГ по состоянию на 01 ч 22 мин 30 с) – 8 стержней РР;

поле по высоте двугорбое с максимумом вверху;

расход теплоносителя - 56 000 м<sup>3</sup>/ч;

расход питательной воды - 200 т/ч;

теплофизические параметры близки к стабильным.

Все стержни поглотители (кроме УСП) начали движение в активную зону со скоростью 0,4 м/с. При этом графитовые вытеснители стали «выдавливать» столбы воды из нижних частей каналов СУЗ. Замена воды на графит резко уменьшает поглощение нейтронов и, как следствие, вводит положительную реактивность. При рассмотрении этого эффекта в работах [13, 14] расчетные величины вводимой положительной реактивности составляла от  $0,6\beta_{эф}$  до  $1,3\beta_{эф}$ .

Следует отметить, что при снижении мощности после 23 ч 10 мин уменьшение оперативного запаса реактивности (ОЗР) определялось, в основном, отравлением реактора ксеноном и снижением температуры графита (рис. 1.2).

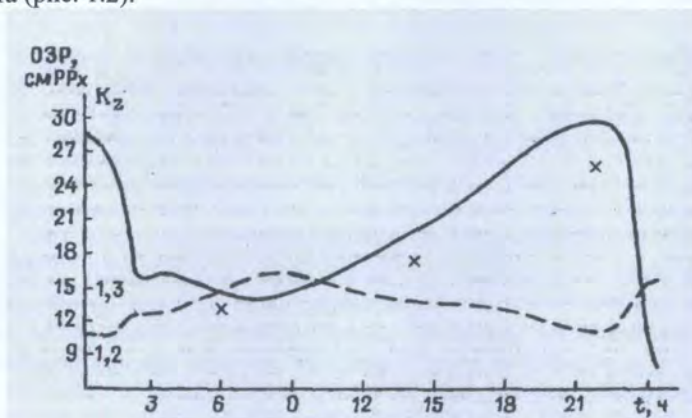


Рис. 1.2. Изменение оперативного запаса реактивности (сплошная) и коэффициента неравномерности (штриховая) в переходном процессе (x — эксперимент) [16].

Все расчеты показывают, что «концевой» эффект поглотителей возможен только при двугорбом аксиальном распределении нейтронного потока, т. е. слабой нейтронной связи между верхней и нижней половинами реактора.

Результаты анализа аварийного процесса, выполненного в работе [12], показали, что этот процесс был неуправляемым; начало интенсивного изменения определяющих параметров совпало с началом погружения в активную зону стержней-поглотителей; перед началом развития аварийного процесса реактор характеризовался существенно заниженным оперативным запасом реактивности и значительной высотной и радиальной неравномерностью энерговыделения.

Результаты расчета стационарного нейтронно-физического и гидравлического состояния показали, что высотный профиль имеет «двугорбый» вид. Получена также радиальная неравномерность поля энерговыделения, причем, три самых больших пика приходится на правый нижний квадрант. Высотное распределение паросодержания показывает, что теплоноситель начинает кипеть, в основном, на последнем метре активной зоны.

В результате выполненных расчетов предложена следующая версия развития аварии: примерно за минуту до аварии произошло отключение турбогенератора и начался выбег двух из четырех ГЦН на каждой половине контура циркуляции. По сигналу аварийной защиты АЗ-5 началось погружение в активную зону всех СУЗ. В начальные три секунды это приводит к небольшому снижению мощности реактора со смещением нейтронного потока в нижнюю часть активной зоны. После третьей секунды нейтронный поток быстро растет, что можно объяснить влиянием одновременно трех факторов – конструкцией СУЗ, допускающей локальное введение положительной реактивности, низкого ОЗР в исходном состоянии и асимметричного высотного профиля энерговыделения. К седьмой секунде мощность реактора возрастает более чем в 30 раз, энерговыделение максимально в нижней части активной зоны, коэффициент неравномерности по объему достигает 5,5 (рис. 1.3).

Интенсивность генерации пара приводит к появлению дополнительной реактивности. Локальное выделение положительной плотностной реактивности усиливает радиальную неравномерность энерговыделения, в результате чего к восьмой секунде тепловыделение возросло до номинального уровня 3000 МВт.

Значительная высотная и радиальная неравномерность энерговыделения приводит к тому, что более, чем в 200 ТВС средняя по сечению ТВЭЛ температура становится выше 3300 К (рис. 1.4).

В нижней части АЗ на высоте 1 м ТВС разрушаются, в результате чего существенно повышается давление во внутриреакторном пространстве, происходит разрыв всех технологических каналов с последующим полным обезвоживанием контура циркуляции. Дополнительная плотностная реактивность и отсутствие охлаждения неизбежно приводят



к расплавлению АЗ. Разрушение ТВС приводит также к остановке СУЗ на высоте 3,5 м.

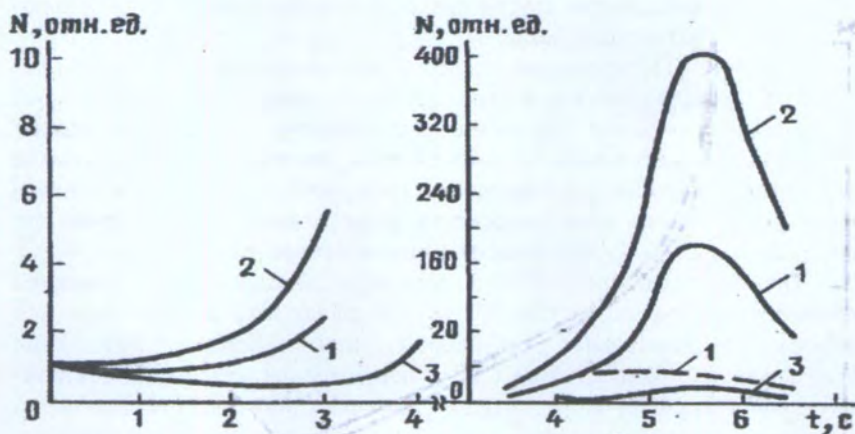


Рис. 1.3. Изменение нейтронной мощности: 1 — интегральная; 2, 3 — верхней и нижней половин активной зоны; штриховая — расчет без теплофизики [16].

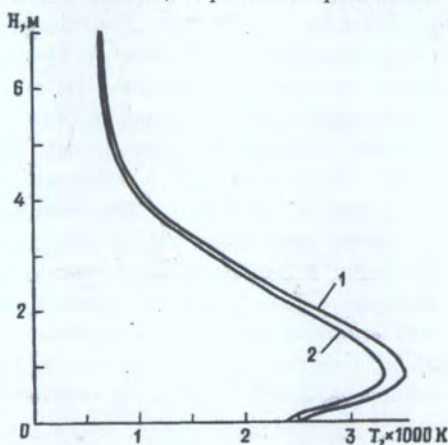


Рис. 1.4. Распределение по высоте реактора температуры топлива в ТВС 43-16 (1) и 17-34 (2) [12].

Аналогичные выводы сделаны в работе [17], где отмечается что причинами разгона реактора явились положительный паровой коэффициент реактивности и положительный выбег реактивности на начальном этапе погружения стержней СУЗ. Это оказалось спусковым механизмом

для развития аварийных процессов. Авторы указывают, что этих двух причин вполне достаточно, чтобы объяснить и смоделировать разгон реактора без привлечения других предположений о причинах роста паросодержания в активной зоне.

В работе [13] проведено исследование процессов изменения мощности реактора, разрушения и движения разрушенного топлива на основе заключения, что разгон (до момента разрушения топлива) обусловлен большим положительным коэффициентом реактивности и дефектом конструкции стержней регулирования, в частности возможностью увеличения реактивности из-за вытеснения воды в нижней части зоны при введении стержней СУЗ в процессе остановки реактора.

При нажатии кнопки АЗ-5 началось движение в АЗ стержней регулирования со скоростью 0,4 м/с. В начальный момент вносится небольшая отрицательная реактивность, затем в процессе вытеснения воды в нижней части каналов СУЗ и перемещения максимума нейтронного поля в нижнюю часть АЗ происходит рост реактивности. Примерно на четвертой секунде начинается интенсивное кипение теплоносителя, рост реактивности, обусловленный паровым эффектом, преобладает над уменьшением реактивности, происходящим при дальнейшем введении стержней СУЗ. Максимальная реактивность составляет 1,47  $\beta$ . Максимальная мощность (46 номиналов) достигается к 5,86 с, в момент времени 5,9–6,0 с после начала движения стержней СУЗ в наиболее энергонапряженной области АЗ температура топлива достигает точки плавления 2850°C, с этого момента начинается разрушение ТВЭЛ, появляется жидкое топливо. Через 0,25 с примерно 1,5 м топливного столба полностью разрушено, к 6,4 с появляются первые признаки кипения топлива, а к 7,5 с топливо в нижней половине ТВЭЛ расплавлено и частично испарилось. Это приводит к резкому уменьшению его плотности в наиболее энергонапряженной области (1,5 м от низа зоны), а по границам этой зоны количество топлива, наоборот, увеличивается за счет перемещения к оставшейся твердой части жидкого топлива и топливных частиц. Расчеты показали, что через 1 с после достижения температуры плавления в наиболее энергонапряженной части плотность топлива уменьшается до 10 % исходной. На высоте 0,5 и 2,5 м от низа АЗ за первые 0,5 с после начала разрушения происходит увеличение плотности топлива до 130–140 % исходного. Однако через одну секунду и здесь плотность уменьшается до 10–20 % номинальной.

Из расчетов следует, что к моменту разрушения наиболее энергонапряженная часть канала заполнена паром и оставшегося теплоносителя недостаточно для охлаждения топлива. Эти результаты, с одной стороны, не подтверждают гипотезу о внесении дополнительной положительной



реактивности из-за охлаждения топлива (как следствие доплер-эффекта), с другой стороны, ставят под сомнение возможность значительного положительного роста реактивности вследствие взаимодействия диспергированного топлива с водой, поскольку плотность его становится малой.

При попадании горячего топлива на стенку трубы канала, а также благодаря росту давления происходит разгерметизация каналов. Максимальное давление достигает 9,5 МПа. Через одну секунду после диспергирования топлива температура внешней поверхности оболочки достигает значения, достаточного для разрушения. Разрушение нескольких каналов вызовет сдвиг верхней плиты биологической защиты (вследствие выброса пара в реакторное пространство), разгерметизацию каналов и быструю потерю остатков воды, при этом будет вводиться дополнительная положительная реактивность, причем разрушение и движение разрушенного топлива начнет влиять на реактивность после шестой секунды процесса.

Расчеты показали, что за первые 7,5 с процесса в реакторе полностью диспергируется около 16 % топлива. Дальнейшее его разрушение определяется не столько нейтронным всплеском, сколько другими более медленными процессами.

Таким образом, в работе [13] делается заключение, что уменьшение плотности диспергированного топлива до 60 - 70 % приводит к увеличению реактивности, однако конфигурация топлива с повышенной реактивностью нестабильна и дальнейшее его разрушение приводит к остановке реактора, кроме того, эти изменения реактивности происходят уже после пика нейтронной мощности.

Результаты расчетов не подтвердили гипотезу о втором нейтронном всплеске в результате взаимодействия диспергированного топлива с водой. Альтернативным механизмом такого всплеска, как считают авторы, может быть быстрый выход ксенона из активной зоны.

В исследованиях, проведенных в [16], рассмотрены три возможные причины аварии:

- постепенное уменьшение потока теплоносителя вместе с положительным паровым коэффициентом;

- в дополнение к предыдущему кавитация ГЦН;

- введение положительной реактивности вследствие недостатков конструкции стержней СУЗ.

Наиболее вероятной причиной, инициировавшей аварию, авторы считают последнюю. Согласно расчетам, подобная добавка реактивности была возможна только благодаря двугорбому распределению нейтронного поля. Анализ показал, что система аварийной защиты реактора

срабатывала слишком медленно, чтобы погасить дополнительную реактивность, вносимую графитовыми вытеснителями в условиях аварии.

В ряде работ в качестве возможных причин аварии рассматриваются и другие процессы.

В работе [23] предполагается, что в результате нарушения регламента произошло увеличение генерации пара, которая, вследствие положительного парового коэффициента реактивности, стала быстро возрастать, приведя к перегреву топлива. Конечным результатом явились взрыв, пожар и повреждение большей части 4-го блока.

В результате анализа поведения топлива было получено, что величина расплавленной части топлива составила 6 %. Расплавленное диспергированное топливо разрушило циркониевые оболочки и его взаимодействие с водой привело к разрыву КМПЦ. Давление пара вычислялось по программе SPIRIT и его величина достигла значения 29,7 МПа за 0,1 с. Повышение давления в 2 раза за интервал времени 0,1 с может явиться достаточной причиной для повреждения КМПЦ.

Аналогичные выводы сделаны в работе [15], где проведены оценки положительной реактивности, введенной благодаря росту паросодержания. Исследовали два возможных сценария для второго всплеска мощности:

образование смеси топлива и воды в нескольких центральных каналах, что приводит к разрыву этих каналов;

большое парообразование во всей активной зоне, что приводит к разгерметизации реактора.

При вводе стержней по команде АЗ-5 происходит рост реактивности и, как следствие, рост мощности. При этом температура топлива достигает 1500 К, вследствие контакта топлива с циркониевыми оболочками каналов происходит разрушение относительно небольшого числа каналов и взаимодействие топлива с водой. Повышение давления приводит к сдвигу схемы «Е», разгерметизации КМПЦ, полной потере теплоносителя и, в результате, ко второму разгону, разрушившему реактор.

В работе [24] оценены возможные причины разрушения активной зоны 4-го энергоблока с использованием экспериментальных результатов, полученных при облучении мощным нейтронным импульсом топливного канала, охлаждаемого водой с имитацией предаварийного физического состояния активной зоны.

В работе [25] разработан сценарий аварии, который характеризуется двумя всплесками мощности. Проведенные расчеты показали, что около 40 % топлива в АЗ расплавилось и диспергировалось в воду. Это вызвало быстрое испарение в КМПЦ. Быстрое испарение теплоносителя создает всплеск давления, который приводит к множеству почти одновременных



разрывов технологических каналов. Одновременно с этим цирконий и ниобий, входящие в состав оболочек ТВС, нагрелись до температуры плавления и вступили в реакцию с водой и паром, это привело к генерации большого количества водорода. Первый взрыв, вероятно, был вызван разрывами в контуре давления, приведший к уменьшению уровня воды в барабан-сепараторе вследствие потери теплоносителя, что сопровождалось высвобождением водорода. Вследствие генерации примерно 200 кг водорода одна треть его через разгерметизированный КМПЦ попадает в центральный зал, где создается водородно-воздушная смесь с переходом от горения к детонации. Поскольку детонация 20 кг водорода почти эквивалентна взрыву 600 кг тринитротолуола, то предлагаемая версия объясняет имеющиеся разрушения здания реактора. При экзотермическом окислении оболочки ТК графитовые кольца, расположенные между оболочкой и графитовым замедлителем, нагреваются более чем до 1000 °С. Графитовые кольца начинают гореть в воздухе. В течение 1–1,5 ч огонь распространился на графитовый замедлитель, который нагрелся до температуры возгорания горящими графитовыми кольцами [26].

Согласно выводам работы [27], тротильный эквивалент взрыва составил не менее 300 кг тринитротолуола, причем показано, что строительные конструкции разрушили вылетевшее облако осколков раздробленных графитовых блоков. Подобный взрыв могла вызвать детонация водородно-кислородной смеси, где источником водорода могли служить пароциркониевые реакции, реакция пара с железом, взаимодействие расплава топлива с водой [28].

На основании проведенного в работе [21] анализа причин аварии, делается вывод, что авария произошла в результате действия нескольких факторов, к которым относятся:

- большой положительный паровой коэффициент реактивности;

- проведение испытаний в условиях малой мощности, когда легко мог генерироваться пар;

- низкая скорость ввода стержней АЗ (0,4 м/с).

Кроме рассмотренных работ, где, согласно расчетам, в аварийный процесс вовлечена значительная часть топлива, в работе [29] оценивается мгновенное энерговыделение по соотношению активностей ксенона-133 и ксенона-133m. Отношение активностей этих изотопов определяется динамикой реактора в период, предшествующий выбросу РБГ в атмосферу. В результате выполненных оценок делается заключение о крайне неоднородном распределении нейтронного поля, а расчетная доля перегретого топлива, вовлеченного в процесс мгновенного энерговыделения, составила 0,01—0,1 % общей массы топлива.

Вариант распределенной быстродействующей нейтронно-физической модели РБМК был разработан в КИЯИ АН Украины. Эта модель использовалась в программном комплексе ДИКРУС, разработанном ВНИИАЭС, в качестве быстродействующего блока нейтронно-физического расчета. Результаты моделирования не противоречат данным, зарегистрированным программой «ДРЕГ» за последние девять секунд (после нажатия кнопки АЗ-5). Сравнение проводилось по сигналам АЗС и АЗМ, росту давления и уровней в БС, повышению давления в РП соответственно на третьей, шестой и девятой секундах. Однако рассматриваемую модель все еще нельзя считать в полной мере адекватной объекту. Тем не менее, результаты расчетов [9] могут рассматриваться как один из наиболее полных – они не содержат нереалистичных допущений в своей постановочной части, а в части полученных результатов не противоречат результатам других исследований.

Выполненные различными организациями независимо друг от друга исследования на основе математических моделей показывают, что развитие аварийного процесса происходило следующим образом:

«...возможность опасного увеличения мощности реактора РБМК с многократным ростом локальных энерговыделений в активной зоне по причине ввода стержней аварийной защиты в реактор – исходным событием аварии явилось нажатие кнопки АЗ в условиях, которые сложились в реакторе РБМК-1000 при низкой его мощности и извлечении из реактора стержней РР сверх допустимого их количества» [1].

После первоначальной фазы перераспределения нейтронного потока, обусловленной конструкцией стержней СУЗ и независимой от теплогидравлического состояния реактора и контура МПЦ, повышение энерговыделений до определенных значений вызвало к действию большой паровой коэффициент реактивности, органически присущий конструкции РБМК. С появлением и ростом парообразования зона повышенных энерговыделений саморазгонным образом возрастает, распространяясь на всю активную зону. Создавшиеся условия значительного повреждения хотя бы ограниченного количества ТВС (достаточно 3–4 шт.) из-за особенностей конструкции реактора могут привести к разрушению самого реактора с выводом из строя его системы аварийной защиты. Разрыв труб нескольких ТК приводит к росту давления в реакторном пространстве и к частичному отрыву несущей плиты реактора от кожуха и заклиниванию по этой причине всех стержней СУЗ, которые к этому моменту прошли только около половины своего пути.

Разрушение труб ТК, которое первоначально инициировалось лишь локальным всплеском нейтронной мощности, усиливается образованием пара в ограниченной зоне реактора, с момента начала разрыва канальных



труб вызывает к действию новый эффект – массовое парообразование по всему объему активной зоны из-за декомпрессии контура охлаждения реактора и высвобождение полной величины присущего реактору большого парового эффекта реактивности.

Возможный механизм, вызвавший последующие разрушения, рассмотрен в [30]. После разрушения ТК, вызванного неконтролируемым разгоном реактора, приводит к интенсивному парообразованию, а стремительное повышение температуры – к пародиркониевой реакции и генерации водорода. Давление пароводородной смеси выбрасывает схему Е и центральный зал заполняется воздушно-водородной смесью. Объемный взрыв этой смеси разрушает здание реактора.

В совместном докладе НИКИЭТ, РНЦ КИ и ВНИИАЭС [31] рассмотрены результаты современного расчетного анализа процессов, сопровождавших чернобыльскую аварию. Представлены данные, полученные по трем расчетным моделям: модель 1 (РНЦ КИ), модель 2 (НИКИЭТ), модель 3 (ВНИИАЭС совместно с КИЯИ НАН Украины). Авторы доклада отмечают, что «несмотря на различия в моделях и некоторых результатах, исследования на третьем этапе (1991–1995 гг.) подтвердили, что основными факторами развития аварии были большой положительный паровой эффект реактивности и выбег реактивности при вводе стержней СУЗ».

Таким образом, на основании рассмотренных сценариев можно сделать следующие выводы:

авария на реакторе типа РБМК была неизбежной, вследствие имеющихся на тот момент серьезных конструктивных недостатков, специфических ядерно-физических характеристик РБМК-1000, обусловленных конструкцией его активной зоны; низкой эффективности системы управления и защиты; неверной конструкцией стержней аварийной защиты реактора; низким качеством типового технологического регламента;

«спусковым механизмом» [32] явился ввод положительной реактивности в нижнюю часть реактора при срабатывании аварийной защиты.

В 1986 г. Международная консультативная группа по ядерной безопасности (INSAG) выполнила собственную оценку причин и обстоятельств Чернобыльской аварии [33]. Выводы Международной группы в докладе INSAG-1 основаны на неполной и, в ряде случаев, неточной официальной информации [5], переданной из СССР экспертам МАГАТЭ в августе 1986 г. Доклад Комиссии ГПАН СССР [1], представленный в МАГАТЭ в 1991 г., явился основанием для уточнения позиции экспертов Международной группы, которая была изложена в докладе INSAG-7. «В настоящее время представляется, что авария явилась следствием совпадения следующих основных факторов: специфических физических харак-

теристик реактора; специфических особенностей конструкции органов управления реактором и того факта, что реактор был выведен в состояние, не оговоренное регламентом и не исследованное независимым органом по вопросам безопасности. Наиболее важным представляется то, что именно физические характеристики реактора обусловили его неустойчивое поведение» [8].

INSAG-7 сформулировал выводы о причинах аварии, акцентируя внимание на том, что:

«Можно сказать, что авария стала следствием низкой культуры безопасности не только на Чернобыльской АЭС, но и во всех советских проектных, эксплуатирующих и регулирующих организациях атомной энергетики, существовавших в то время»;

«Как указывается в INSAG-1, человеческий фактор следует по-прежнему считать основным элементом среди причин аварии»;

«Наибольшего осуждения заслуживает то, что несогласованные изменения в программу испытаний были сразу же преднамеренно внесены на месте, хотя было известно, что установка находится совсем не в том состоянии, в котором она должна была находиться при проведении испытаний».

Таким образом, основой аварии на ЧАЭС была признана низкая культура безопасности не только на ЧАЭС, но и во всех советских проектных, эксплуатирующих и регулирующих организациях атомной энергетики, существовавших в то время.

## **1.2. Первоочередные меры по ограничению выбросов радиоактивных веществ в окружающую среду**

После первого мощного выброса радиоактивности, вызванного взрывом реактора, выброс радиоактивности не прекратился.

Мощность этого выброса определялась следующими процессами:

1. Остаточным выделением тепла за счет радиоактивного распада продуктов деления, наработанных в реакторе.

С учетом выхода летучих продуктов деления эта величина составляла ~230 кВт/тU [34] после взрыва и в дальнейшем спадала.

2. Выделением тепла вследствие химических реакций (в основном в вызванном окислении графита) [26].

Интенсивность выброса с 26 апреля по 2 мая постепенно уменьшалась, после 2 мая до 6 мая росла, возможно, за счет создания в развале объединения из разрозненных ячеек в единый расплав [35], и после 6 мая резко упала (рис. 1.5) [5].



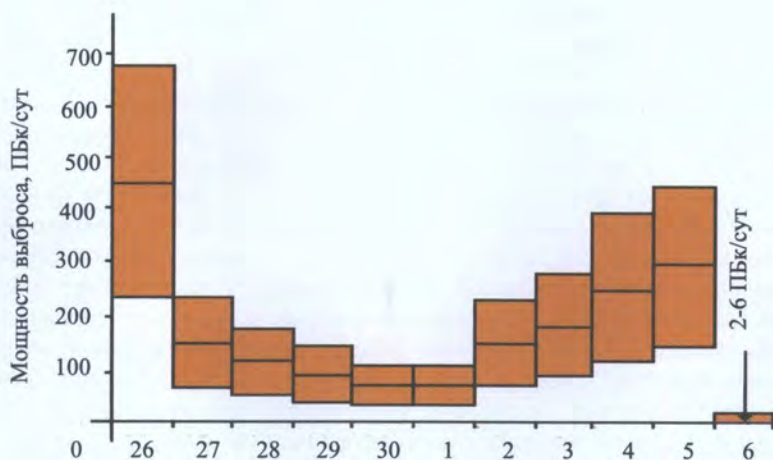


Рис. 1.5. Суточный выброс радиоактивных веществ в атмосферу во время Чернобыльской аварии (без учета благородных газов). Величины рассчитаны на 6 мая 1986 г. с учетом радиоактивного распада. Выброшенная 26 апреля 1986 г. активность составила 740 - 890 ПБк. Предел неопределенности для всех выбросов  $\pm 50\%$ .

Позднее были выполнены оценки, базировавшиеся на реконструкции динамики выброса по плотности загрязнения территории  $^{137}\text{Cs}$  и учетом метеорологических условий во время аварии [36], согласно которым мощность выброса монотонно увеличивалась с 26 по 28 апреля за счет разогрева ядерного топлива.

С целью снижения воздействия выбросов из разрушенного реактора в окружающую среду Правительственная комиссия, созданная 26 апреля, приняла решение начать сбрасывать с вертолетов в шахту реактора материалы, предназначенные для локализации источника выбросов. За две недели, начиная с 24 апреля, на 4-й энергоблок было сброшено около 5000 т различных материалов [37]. Для охлаждения топлива – 2400 т свинца, для предотвращения возможной самоподдерживающейся цепной реакции – 40 т карбида бора, для прекращения горения графита – 800 т доломита, для фильтрации выброса продуктов деления – 1800 т песка и глины. Всего же за апрель-май 1986 г. было сброшено около 15000 т таких материалов: свинцовая дробь - 1500 т, свинцовые чушки - 5220 т, мраморные крошки - 3532 т, доломит - 1167 т, карбид бора - 42 т, каучук - 489 т, цеолит - 1890 т, полимеризующаяся жидкость - 140 т и тринатрийфосфат - 1536 т [38]. К сожалению, как показано в работе [38], материалы,

сброшенные на разрушенный блок, в шахту реактора в значительных количествах не попадали.

В центральном зале наибольшей высоты (около 15 м над полом) холм из сброшенных материалов достигает у стены разрушенного южного барабан-сепаратора при средней его высоте около 7 м в центре зала. Это можно объяснить тем, что источник дыма был расположен примерно на 25 м восточнее от шахты реактора. Кроме того, верхняя плита биологической защиты, стоявшей почти вертикально, вместе с остатками водяных коммуникаций, перекрывали шахту реактора сверху. Сброс материалов засыпки с большой высоты привел к разрушению плит кровель машинного зала, деаэрационной этажерки, а за счет интенсивного пылеобразования, привел к созданию радиационного загрязнения в северном направлении [35]. Материалы засыпки, которые попали в центральный зал, потушили очаг возгорания, который находился снаружи шахты реактора и покрыли толстым слоем выброшенные туда высокорadioактивные обломки активной зоны, уменьшив их радиационную опасность для строителей и персонала.

В целом же дальнейшее уменьшение выброса было обусловлено естественными процессами внутри блока: завершением горения графита и понижением температуры образовавшихся ЛТСМ вследствие спада остаточного тепловыделения и теплоотводом за счет конвекции атмосферного воздуха.

Существовала еще одна гипотетическая опасность, которая заключалась в том, что достаточно большая часть ядерного топлива могла проплавить перекрытие под реакторным отделением, фундаментную плиту и загрязнить высокой радиоактивностью грунтовые воды. Для устранения этой потенциальной опасности Правительственной комиссией было принято решение соорудить железобетонную подфундаментную плиту размером  $30 \times 30$  м, толщиной примерно 2,5 м, которая охлаждалась водой. Работы по сооружению этой плиты были завершены 28 июня благодаря героическому труду горняков в предельно тяжелых условиях. Однако при расчетах взаимодействия раскаленного топлива с конструкционными материалами реакторного отделения не учитывалось, что в процессе взаимодействия с конструкционными материалами топливо будет смешиваться или растворяться в их расплаве, в связи с чем будет значительно увеличиваться объем и улучшаться условия теплоотдачи. Поэтому реальная опасность проплавления существовала только для перекрытия между помещением 305/2 и парораспределительным коридором [39].

В условиях, когда фактически не было понятно, какие процессы происходят в разрушенном блоке, из-за отсутствия времени на их



моделирование, невозможности получения достоверной информации в связи с огромными радиационными полями вблизи и внутри блока, а также из-за психологического воздействия масштабов катастрофы невозможно было в некоторых случаях принять оптимальные решения.

### 1. 3. Строительство объекта «Укрытие»

В результате аварии была разрушена активная зона реактора, значительная часть технологического оборудования и строительных конструкций 4-го энергоблока ЧАЭС (рис. 1.6). Были уничтожены барьеры и системы безопасности, которые защищали окружающую среду от радионуклидов, содержащихся в облученном ядерном топливе.



Рис. 1.6. Разрушенный 4-й энергоблок ЧАЭС.

Поэтому сразу же после аварии стал вопрос о долгосрочной консервации 4-го энергоблока путем строительства сооружения, которое бы ограничило выход радиоактивных веществ и ионизирующего облучения за пределы разрушенного энергоблока.

Постановлением ЦК КПСС и Совета Министров 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». Объект получил название «Укрытие 4-го блока ЧАЭС».

Другим Постановлением ЦК КПСС и Совета Министров СССР 663-194 от 05.06.86 г. функции генерального проектировщика работ «по захоронению 4-го блока ЧАЭС, захоронению радиоактивных отходов и дезактивации оборудования промплощадки ЧАЭС» были возложены на ВНИПИЭТ (г. Санкт-Петербург). Научное руководство работами по захоронению 4-го блока ЧАЭС осуществлял ИАЭ им. И. В. Курчатова.

Особенность и сложность выполнения работ по консервации аварийного энергоблока заключалась в отсутствии как в отечественной, так и в мировой практике опыта преодоления последствий такой масштабной аварии, а также в отсутствии на то время специальных нормативных документов для разработки проектных решений.

Ввиду особой ответственности объекта «Укрытие» было проработано на концептуальном уровне восемнадцать вариантов проекта, которые предусматривали, в частности, устройство холма из щебня и бетона, строительство огромного сооружения в виде арочного свода или купола и другие варианты. Но большинство предложенных решений требовали значительных расходов строительных материалов, а главное – огромных трудозатрат и доз облучения персонала, а также длительного времени на их сооружение, что не отвечало основному требованию – как можно скорее ликвидировать последствия аварии. Некоторые решения не могли быть реализованы при тогдашнем уровне техники.

С учетом материальных расходов и дозовых нагрузок на строительный персонал, а также сжатых сроков строительства был принят окончательный вариант защитного сооружения, который предусматривал максимальное использование уцелевших несущих конструкций 4-го энергоблока в составе конструктивной системы объекта «Укрытие».

Таким образом, строительные конструкции объекта «Укрытие» – это сочетание «старых» конструкций разрушенного энергоблока № 4 и «новых» конструкций, построенных после аварии.

Благодаря такому сочетанию было создано уникальное сооружение, строительные конструкции которого выполняют чрезвычайно важную функцию физического барьера на путях выхода радиоактивных веществ и ионизирующего излучения в окружающую среду.

Основу физических барьеров составляют внешние защитные конструкции, построенные после аварии: каскадная стена, контрфорсные стены, покрытия над реакторным блоком, деаэрационной этажеркой и машинным залом (рис. 1.7).

Относительно уцелевшие конструкции энергоблока № 4 создают опорный контур, на который опираются несущие элементы покрытия над





Рис. 1.7. Внешние защитные конструкции объекта «Укрытие»: 1 – покрытие над центральным залом; 2 – покрытие над машинным залом; 3 – каскадная стена; 4 – западная («большая») контрфорсная стена; 5 – южные щиты; 6 – южные «щиты-клюшки»; 7 – северные «щиты-клюшки»; 8 – северная («малая») контрфорсная стена.

реакторным блоком и деаэрационной этажеркой. В первую очередь – это северная и южная выхлопные шахты, монолитная стена по оси 50 с прилегающим к ней каркасом (рис. 1.8). На эти конструкции опираются главные балки Б1 и Б2, которые вместе с трубным накатом создают покрытие над центральной частью реакторного блока (в частности, над центральным залом). На конструкции деаэрационной этажерки опираются балки «Мамонт» и «Осьминог».

Реализация такого варианта защитного сооружения требовала решения двух наиболее сложных проблем:

обследование технического состояния уцелевших конструкций 4-го энергоблока в чрезвычайно тяжелых радиационных условиях и оценка возможности их использования в качестве конструктивных элементов объекта «Укрытие»;

выбор таких конструктивных и технологических решений, которые бы позволили максимально сократить сроки строительства объекта «Укрытие» и минимизировать радиационное влияние на персонал и окружающую среду.

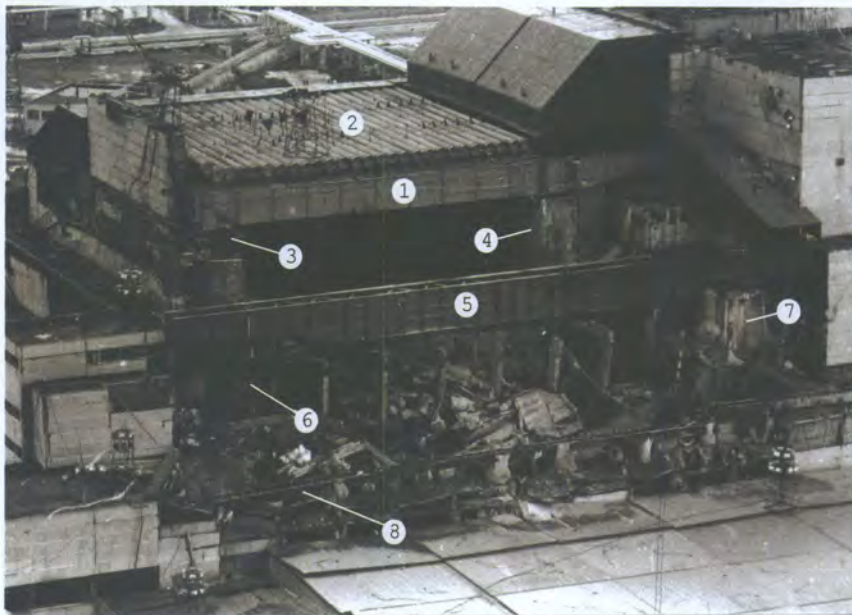


Рис. 1.8. Конструкции опор и несущих элементов покрытия объекта «Укрытие»: 1 – балка Б1 (балка Б2 находится за ней); 2 – трубный накат; 3 – верхняя часть стены по оси 50, усиленная «корсетом»; 4 – выхлопная шахта; 5 – балка «Мамонт»; 6 – западная опора балки «Мамонт»; 7 – восточная опора балки «Мамонт»; 8 – балка «Осьминог».

Кроме ВНИПИЭТ, проектные работы по разным направлениям выполнялись рядом проектных институтов, в частности ЛЕНПСК (г. Санкт-Петербург), ЦНИИПСК (г. Москва), УКРНИИПСК (г. Киев), ДНЕПРПСК (г. Днепропетровск) и другими институтами.

Для выполнения строительно-монтажных работ по консервации аварийного блока и сооружению объекта «Укрытие» в системе Министерства среднего машиностроения СССР было специально создано Управление строительства № 605.

В кратчайший срок были построены объекты обеспечения: базы снабжения, базы по обслуживанию автотранспорта и строительной техники, заводы по приготовлению бетонной смеси, пункты принятия и разгрузки строительных материалов и другие объекты.

Для проживания работающего персонала были приспособлены пионерские лагеря, базы отдыха, школы, создавались палаточные городки и быстромонтируемые здания. Были организованы столовые и объекты санитарно-гигиенического назначения.



Указанные объекты размещались с учетом радиационного состояния территорий их нахождения и наличием транспортных коммуникаций. Персонал ежедневно доставлялся «чистым» автотранспортом к пункту пересадки на специальный автотранспорт, который обслуживал зону строгого режима. Весь автотранспорт, который выходил из зоны строгого режима, подлежал дозиметрическому контролю и, при необходимости, дезактивации на специализированных пунктах.

С целью обеспечения эффективности и безопасности работ по консервации аварийного блока к началу основных строительно-монтажных работ был осуществлен комплекс мероприятий по дезактивации окружающей территории. Были удалены фрагменты активной зоны реактора (обломки тепловыделяющих сборок, графита и конструкционных материалов реактора), пожарные автомобили и другая техника, элементы разрушенных строительных конструкций и технологического оборудования, был снят верхний загрязненный слой почвы. Эти работы выполнялись с помощью специальных инженерных машин, созданных на базе танков и оборудованных защитным экранированием, грейферным захватом, техническим телевидением и приборами для выявления локальных источников ионизирующего излучения, а также бульдозерами, оборудованными защитным экранированием. После завершения работ по удалению радиоактивных отходов территория вокруг аварийного энергоблока была покрыта слоем бетона толщиной до 0,5 м.

Другим существенным фактором улучшения радиационной обстановки было сооружение по периметру аварийного энергоблока так называемых пионерных стен, которые выполняли функцию экранирования. Кроме того, пространство за пионерными стенами использовалось для размещения радиоактивных отходов, которые были собраны с окружающей территории.

Проведение работ по дезактивации окружающей территории и создание защитных пионерных стен позволили приступить к выполнению основного комплекса строительно-монтажных работ по сооружению объекта «Укрытие».

Строительство объекта «Укрытие» в чрезвычайно сложной радиационной обстановке требовало разработки и внедрения таких организационных и технологических решений, которые бы максимально возможно обеспечивали радиационную защиту строительного персонала.

Основные мероприятия по радиационной защите персонала заключались в осуществлении радиационного обследования зон производства работ, использовании разнообразных средств экранирования и применении дистанционных технологий выполнения работ в наиболее радиационно-опасных условиях.

Чрезвычайно эффективной была технология монтажа с использованием укрупненных конструкций, которые собирались в «чистой» зоне и допускали дистанционный монтаж. Конструкции проектировались с узлами опирания и соединения, которые не нуждались в выполнении операций, связанных с присутствием людей непосредственно в зоне монтажа [40].

Для управления процессом монтажа был создан центральный оперативный пост, на который поступала информация с телекамер, смонтированных непосредственно на стрелах кранов и специальных башнях, которые устанавливались в местах с максимальным обзором.

Были также внедрены специальные технологии устройства опалубки и проведения бетонных работ с дистанционным использованием насосов для подачи бетонной смеси.

Для обеспечения радиационной защиты персонала осуществлялся комплекс организационных, радиационно-гигиенических и технических мероприятий, в частности:

- постоянный мониторинг радиационной обстановки в районе ЧАЭС и на прилегающих территориях;

- организация санитарно-пропускного режима;

- обеспечение персонала необходимыми средствами индивидуальной защиты (спецодежда, респираторы и другие);

- индивидуальный дозиметрический контроль;

- экранирование кабин машин и механизмов;

- пылеподавление в зонах выполнения работ и на прилегающих территориях;

- дезактивация машин и механизмов;

- организация питания в «чистой» зоне.

Строительно-монтажные работы выполнялись с использованием уникальных на то время машин и механизмов, в частности: гусеничных кранов «Demag» с грузоподъемностью на основной стреле до 650 т и на вспомогательной стреле – 112 т при вылете 78 м; автомобильных кранов «Liebherr», насосов для подачи бетонной смеси фирм «Schwing», «Putzmeister», «Worthington», а также других машин и механизмов, дооборудовавших дистанционным управлением и средствами защиты [40].

Общий вид строительства объекта «Укрытие» приведен на рис. 1.9.

В процессе строительства объекта «Укрытие» было уложено около 345 тысяч м<sup>3</sup> бетонной смеси и смонтировано 7 тысяч тонн металлических конструкций [40].

Кроме строительно-монтажных работ был выполнен значительный объем работ по созданию необходимых систем для безопасной эксплуа-



тации объекта «Укрытие» (вентиляция, энергоснабжение, система пожаротушения, системы контроля и др.).

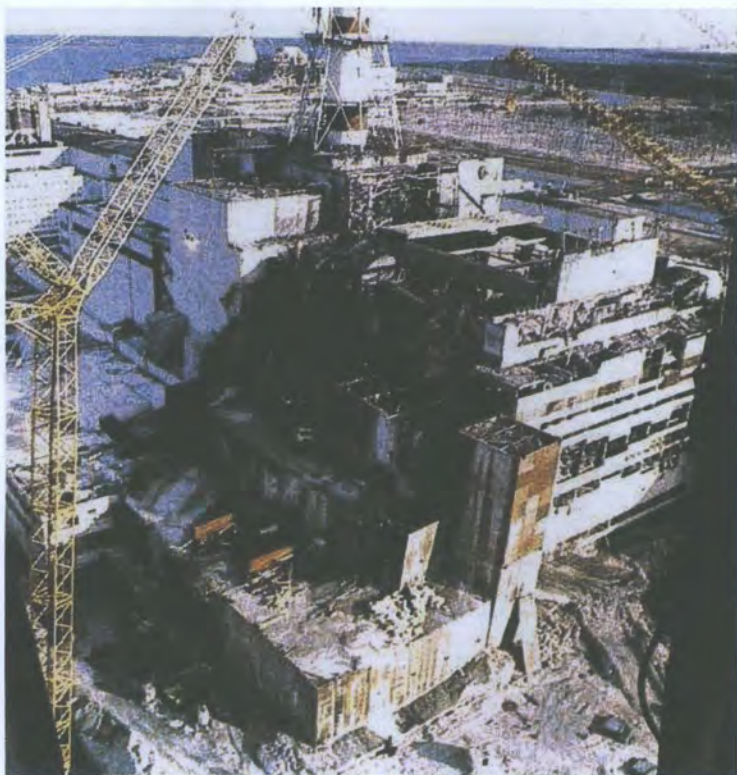


Рис. 1.9. Строительство объекта «Укрытие».

Проектирование и сооружение объекта «Укрытие» было осуществлено за рекордный короткий срок - всего за полгода. Уже 30 ноября 1986 г. был подписан акт Государственной комиссии о принятии на техническое обслуживание объект «Укрытие».

Сооружение объекта «Укрытия» стало важнейшим итогом деятельности по реализации первоочередных мер по минимизации последствий запроектной аварии на 4-м энергоблоке ЧАЭС.

В то же время объект «Укрытия» не является объектом, созданным в соответствии с правилами и нормами проектирования, строительства, ввода в эксплуатацию и эксплуатации не только ядерных установок или объектов по обращению с радиоактивными отходами, но и обычных

промышленных сооружений. Его строительные конструкции не отвечают требованиям нормативно-технических документов по безопасности в части структурной целостности и надежности и имеют неопределенный срок эксплуатации.

Строительным конструкциям объекта «Укрытие» присущи такие основные недостатки:

несущие конструкции опорного контура (уцелевшие проектные конструкции энергоблока № 4) и узлы их соединения значительно повреждены, перегружены весом обрушенных на них строительных конструкций и оборудования, а также материалов, которые использовались во время ликвидации аварии. Обнаженная арматура железобетонных конструкций и металлические конструкции испытывают коррозию;

надежность и долговечность несущих конструкций опорного контура не может быть достоверно определена, вследствие отсутствия доступа ко многим элементам и узлам, а также сложных радиационных условий, которые не позволяют выполнить детальное их обследование;

построенные после аварии конструкции разрознены – не соединены между собой, свободно опираются на несущие конструкции без физического соединения и удерживаются в проектном положении только за счет сил трения;

затруднен доступ к элементам и узлам металлических конструкций для периодического осмотра и обновления антикоррозийного покрытия.

Эти недостатки приводят к тому, что со временем уровень безопасности объекта «Укрытие» снижается. Продолжается процесс деградации строительных конструкций. Существует высокая вероятность обрушения строительных конструкций, которое может привести к значительному радиоактивному загрязнению окружающей природной среды, а также облучению персонала и населения.

Все это требовало постоянного наблюдения за состоянием конструкций, важных для безопасности объекта «Укрытие», и вмешательства при возникновении угрозы опасного отклонения их состояния от стабильного. Поэтому сразу же после окончания строительства объекта «Укрытие» были начаты исследования состояния его строительных конструкций и реализация неотложных мероприятий по их усилению.

#### Список литературы к разделу 1

1. *О причинах и обстоятельствах аварии на 4 блоке Чернобыльской АЭС 26 апреля 1986 г.* // Докл. ГПАН СССР. – М., 1991.
2. *О режиме выбега.* Письмо НИКИЭТ. - Исх. № 040-9253 от 24.11.76.
3. *Письмо института ГИДРОПРОЕКТ от 12.02.82 № 11 РЗ, 70-1292.*



4. *Рабочая программа испытаний турбогенератора № 8 Чернобыльской АЭС в режимах совместного выбега с нагрузкой собственных нужд, ЧАЭС, 1986.*
5. *Информация об аварии на Чернобыльской АЭС и ее последствиях, подготовленная для МАГАТЭ // Атомная энергия. – 1986. – Т.61, вып.5. – С. 301 – 320.*
6. *Анализ режима работы ГЦН в предварительный период и в первой фазе аварии на 4 блоке ЧАЭС. – Инв. № 333/1-360-89, ОКМБ ИАЭ им. И. В. Курчатова. – М.: 1989.*
7. *К акту расследования причин аварии на энергоблоке № 4 Чернобыльской АЭС произошедшей 26 апреля 1986 г. / Минэнерго СССР. Союзатомэнерго. – Инв.№ 4/611. – М.: 1986.*
8. *INSAG-7. The Chernobyl Accident: Updating of INSAG-1. A report by the International Nuclear Safety Advisory group IAEA. – Vienna, 1992, Safety series N75-IAEA-7. – 135 p.*
9. *Разработка полномасштабных математических моделей динамики АЭС и РБМК-1000 и анализ их на основе начальной стадии аварии на Чернобыльской АЭС: ( Отчет ВНИИАЭС) / ИАЭ инв. № 07-282, 1/89. – М., 1989.*
10. *Chan P.S.IV., Dastur A. Ji. The sensivity of positive scram reactivity to neutronic decoupling in the RBMK - 1000 // Nuclear Science and Engineering. – 1989. – 103. – P. 289 – 293.*
11. *Chan P.S.W., Dastur A.R. The physical basis for the void reactivity effect and its dependence on absorber rod configuration in the RBMK-1000 // Nuclear Science and Engineering. – 1989. – 103. – P. 283 – 288.*
12. *Абагян А.Л., Аршавский И.М., Дмитриев В.М. и др. Расчетный анализ начальной стадии аварии на Чернобыльской АЭС // Атомная энергия. – 1991. – Т. 71, вып. 4. – С. 275 – 287.*
13. *Афанасьева А.Л., Федосов А.М., Дондерер Р. и др. Анализ аварии на Чернобыльской АЭС с учетом разрушения активной зоны // Атомная энергия. – 1994. – Т. 77, вып. 2. – С. 87 – 93.*
14. *Подлазов Л.Н., Трехов В.Е., Черкашов Ю.М. и др. Расчетное моделирование аварии на четвертом блоке Чернобыльской АЭС // Там же. – С. 93 – 100.*
15. *Landeyro P.A., Buccafurni A. Time-Independent neutronic analysis of the Chernobyl accident.// Nuclear Science and Engineering. – 1991. – 108. – P.126 – 149.*
16. *Vanttola T.A., Hajamaki M.K. One-dimensional considerations on the initial phase of the Chernobyl accident // Nuclear Technology. — 1989. — Vol. 85, Apr. — P. 33—47.*
17. *Кучин А.В., Халимончук В.А. Нейтронно-физические и теплофизические исследования аварии на 4-ом энергоблоке ЧАЭС // Докл. НАН Украины. – 1993. – № 1. – С. 140 – 147.*
18. *Fletcher C.D., Chambers R., Bolander M.A., Dallmart R.J. Simulation of the Chernobyl accident // Nuclear Engineering and Design. – 1988. – 105. – P. 157 – 172.*
19. *Адамов Е. О., Доморадов А. Е., Миронов Ю. В. и др. Роль отдельных факторов в развитии аварии на Чернобыльской АЭС // Атомная энергия. 1993. – Т. 75, вып. 5. – С. 336 – 341.*

20. Адамов Е.О., Василевский В.П., Ионов А.И. и др. Анализ первой фазы развития аварийного процесса на четвертом блоке Чернобыльской АЭС // Атомная энергия. – 1988. – 64, вып. 1. – С. 24 – 28.
21. Wakabayashi T., Mochizukin, Midorikawa H. et al. Analysis of the Chernobyl Reactor Accident (I) Nuclear and Thermal Hydraulic Characteristics and Follow-up Calculation of the accident // Nucl. Engineering and Design. – 1987. – 103. – P. 151 – 164.
22. Решение №8 секции № 2 научно-технического совета Госпроматомнадзора СССР от 15.02.90. – М.: 16 с.
23. Эл-Адам К. Анализ Чернобыльской аварии с помощью программ FRAP-T6 и SPIRIT // NRSC. – 1987. – С. 314 – 323. - (Египет).
24. Sobajima M., Fujishiro T. Examination of the destructive forces in the Chernobyl accident based on NSSR experiments // Nuclear Engineering and Design. – 1988. – 106. – P. 179 – 190.
25. Ishikawa M., Shiozawa S., Wakabayashi T. et al. An examination of the Accident Scenario in the Chernobyl Nuclear power Station // Nuclear Safety. – 1987. – Vol. 28, No. 4, October-December. – P. 448 – 454.
26. Пазухин Э.М. Горение графита реактора 4-го энергоблока во время активной стадии аварии на Чернобыльской АЭС. Возможный вариант сценария // Радиохимия. – 2008. – Т. 50, № 2. – С. 188 – 192.
27. Минеев В.Н., Кореньков В.В., Тюняев Ю.Н. Роль защитных барьеров АЭС при внутреннем взрыве и внешнем ударе // Атомная энергия. – 1990. – 1990. – Т. 69, вып.6. – С. 373 – 377.
28. Асмопов В.Г. Результаты исследований тяжелых аварий водоохлаждаемых реакторов // Атомная энергия. – 1994. – Т. 76, вып. 4. – С. 282 – 302.
29. Пахомова С. А., Кривохатский К. С., Соколов И. А. Оценка величины мгновенного энерговыделения при аварии реактора на ЧАЭС, основанная на определении отношения активностей ксенона-133 и ксенона-133м в воздухе // Радиохимия. – 1991. – № 6. – С. 125 – 132.
30. Пазухин Э.М. Взрыв воздушно-водородной смеси как возможная причина разрушения центрального зала 4-го блока Чернобыльской АЭС во время аварии 26 апреля 1986 г. // Радиохимия. – 1997. – Т. 39, вып.4. – С. 379 – 384.
31. Адамов Е.О., Черкашов Ю.М., Подлазов А.Н. и др. (НИКИЭТ), Пономарев-Степной Н.Н., Бурлаков Е.В., Малкин С.Д. и др. (РНЦ КИ), Абагян А.А., Васекин А.А., Кисель И.М. Авария на Чернобыльской АЭС: обзор исследований за 10 лет // Междунар. конф. МАГАТЭ (Вена, 1 - 3 апр. 1996 г.).
32. Ядрихинский А. А. Ядерная авария на 4 блоке Чернобыльской АЭС и ядерная безопасность реакторов РБМК. – Курчатов, 1989. – 55 с.
33. Summary Report on the Post-Assident Review Meeting on the Chernobyl Accident. Safety series. N75-INSAG-1. – Vienna: IAEA, 1986. – 106 p.
34. Богатов С.А. Взаимодействие аварийного топлива 4-го энергоблока ЧАЭС с конструкционными материалами – количественные оценки // Объект «Укрытие» - 10 лет. Основные результаты научных исследований. – 1996. – С. 112 – 127 (МНТЦ «Укрытие» НАН Украины, Чернобыль).
35. Петелин Г.И., Зимин Ю.И., Тепикин В.Е. и др. Горячие частицы ядерного топлива чернобыльского выброса в ретроспективной оценке аварийных



процессов на 4-м блоке ЧАЭС // Радиохимия. – 2003. – Т. 45, № 3. – С. 278 - 281.

36. Израэль Ю.А., Вакуловский С.М., Ветров В.А. и др. Чернобыль: радиоактивное загрязнение природных сред / Под ред. Ю. А. Израэля. – М.: Гидрометеиздат, 1990. – 296 с.
37. Купный В.И. Объект «Укрытие»: вчера, сегодня, завтра // Объект «Укрытие» - 10 лет. Основные результаты научных исследований. – Чернобыль, 1996. – С. 57 – 77.
38. Пазухин Э.М. Об эффективности засыпки шахты реактора 4-го энергоблока ЧАЭС при аварии 26 апреля 1986 г. // Радиохимия. – 1997. – Т. 39, вып. 4. – С. 375 – 378.
39. Боровой А.А., Пазухин Э.М., Стрижов В.Ф. Эффективность мер по ликвидации последствий аварии на ЧАЭС (активная стадия аварии). - Москва, 2007. – 38 с. – (Препр. / ИАЭ-6471/11).
40. Основные проектные решения, принятые при ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС. Отчет Всесоюзного проектного и научно-исследовательского института комплексной энергетической технологии «ВНИПИЭТ». – Инв. № 34713. – Л., 1986. – 106 с.

## РАЗДЕЛ 2

### Ядерно-опасные материалы внутри объекта «Укрытие»

#### 2.1. Ядерное топливо, находившееся внутри 4-го блока перед аварией

Перед аварией ядерное топливо находилось в четырех местах реакторного отделения 4-го энергоблока:

в активной зоне ядерного реактора РБМК-1000;

в бассейне выдержки тепловыделяющих сборок (ТВС) с отработавшим топливом;

на узле подготовки топливной кассеты в центральном зале (ЦЗ);

в помещении подготовки свежего топлива.

Распределение ядерного топлива перед аварией приведено в табл. 2.1.1. Средняя по зоне глубина выгорания составляла примерно 10,9 МВт·сут/кг урана. Последняя перегрузка была произведена 23 апреля 1986 г. в 04 ч 40 мин. ТВС с 2 %-ным обогащением была установлена в канал с координатами 16-59.

Таблица 2.1.1. Расположение и количество ядерного топлива в помещениях реакторного отделения 4-го блока перед аварией

Помещение	Технологическое назначение помещения	Количество ядерного топлива по урану, т
504/2	Шахта реактора	*190,2
505/3	Южный бассейн выдержки кассет	**14,8
914/2	ЦЗ	**5,5
503/2	Помещение подготовки свежего топлива	**4,1
Всего:		214,6

\* К моменту аварии активная зона реактора содержала 1659 ТВС, один дополнительный поглотитель и один незагруженный канал. Большая часть ТВС представляла собой кассеты первой загрузки с выгоранием 11 - 15 МВт·сут/кг урана. В зоне находилось и некоторое количество свежего топлива. Масса урана в каждой кассете составляла 0,1147 т. Полная масса топлива, загруженного в активную зону, составляла 190,2 т.

\*\* Данные взяты из «Справки о количестве ядерного топлива на 4-м энергоблоке ЧАЭС в момент аварии», утвержденной главным инженером ПО ЧАЭС 30 января 1996 г. При этом данные о количестве топлива в бассейне выдержки приводятся на основе журнала учета ОЯБ и КН, а в ЦЗ и помещении 503/2 на основе «Акта на списание свежего ядерного топлива с 4-го блока от 26



апреля 1986 г.». Ядерное топливо из помещения подготовки (помещение 503/2) было вывезено в 1986 г. (после аварии) на склад свежего топлива ЧАЭС.

## 2.2. Топливосодержащие материалы

В ночь на 26 апреля 1986 г. взрыв, произошедший на 4-м энергоблоке ЧАЭС, полностью разрушил реактор и верхнюю часть здания реакторного отделения.

Взрыв был настолько мощный, что фрагменты активной зоны оказались выброшенными в ЦЗ, на крыши соседних зданий, разбросаны по прилегающей территории промплощадки. Отдельные фрагменты ядерного топлива массой в несколько килограммов были найдены на расстоянии свыше 200 м от реактора.

В настоящее время внутри объекта «Укрытие» находятся модификации ядерного топлива, которые образовались в процессе протекания активной стадии аварии при взаимодействии этого топлива с конструктивными материалами, динамическом и тепловом воздействии взрыва, а также окислении диоксида урана при контакте с кислородом воздуха. Следует выделить три модификации, в которых содержится основная масса облученного ядерного топлива (ОЯТ): фрагменты активной зоны реактора (ФАЗ), топливные частицы (топливная пыль) и лавообразные топливосодержащие материалы (ЛТСМ).

В процессе ликвидации последствий аварии часть ФАЗ, представляющие собой топливные таблетки, обломки ТВЭЛ, ТВС, графит, находящиеся вокруг здания, были сдвинуты к развалу и затем захоронены в каскадной стене. Часть была собрана в контейнеры с ВАО, часть захоронена около блока под слоем бетона и щебня. ФАЗ, выброшенные на крыши зданий и площадки трубы, сбрасывались в развал реактора.

Основная часть ФАЗ находится в ЦЗ и помещении 305/2 (рис. 2.2.1).



Рис. 2.2.1. ФАЗ в юго-восточном секторе помещения 305/2 объекта «Укрытие».

Нагретое за счет остаточного тепловыделения и горения графита топливо вступило во взаимодействие с конструкционными материалами: прежде всего с цирконием, с другими материалами - металлом, серпентинитовой засыпкой схем биологических защит, песком, бетоном и т.д. Вследствие этого, в отдельных областях разрушенного блока начался процесс образования ЛТСМ [1, 2].

Образовавшаяся лава растекалась по соседним помещениям, коридорам, кабельным проходкам и другим свободным каналам, образовав скопления ЛТСМ, в которых по последним оценкам может содержаться до 150 т ОЯТ по урану (рис. 2.2.2).

В составе ЛТСМ содержится значительная часть урана, находившегося до аварии в активной зоне, а также значительная часть радионуклидов (не менее 2/3 от тех, что были наработаны в реакторе). Поэтому чернобыльские лавы сразу стали предметом внимательного изучения, так как они являлись на разрушенном 4-м блоке основным источником ядерной, радиационной и радиэкологической опасности. Основные модификации, образовавшиеся после аварии ЛТСМ, представлены на рис. 2.2.3.

Процентное содержание урана в основной массе проб ЛТСМ, отобранных из различных помещений объекта «Укрытие» колеблется от 5 до 10 %.

Оценка общего количества ядерного топлива, оставшегося в разрушенном 4-м блоке, была сделана на основании исследований по выпадениям радиоактивности на территории СССР и зарубежных стран [3–5], и в настоящее время она дает основание считать установленным, что внутри объекта «Укрытие» осталось более 95 % ядерного топлива от начальной загрузки реактора.

Анализ, выполненный в период с 2001 по 2008 г., а также анализ процессов и событий, имевших место при активной стадии аварии, позволил существенно уточнить пространственное расположение ТСМ объекта «Укрытие» [6 - 11]. Результаты этих исследований хорошо иллюстрируют результаты реконструкции состояний помещений и разрезы 4-го блока ЧАЭС, представленные на рис. 2.2.4 - 2.2.7.

Также было доказано, что на верхних отметках разрушенного 4-го блока ЧАЭС существует два участка, расположенных в непосредственной близости от схемы «Е», где могут находиться скопления ЛТСМ (рис. 2.2.8). Координаты этих участков:

отметка +29.200, оси 45 – 47, ряды М – Н (северо-восточный угол шахты реактора);

отметка +30.900, оси 45 – 46, ряды Н – П (южная часть северного бокса сепараторов, выходящая в шахту реактора).



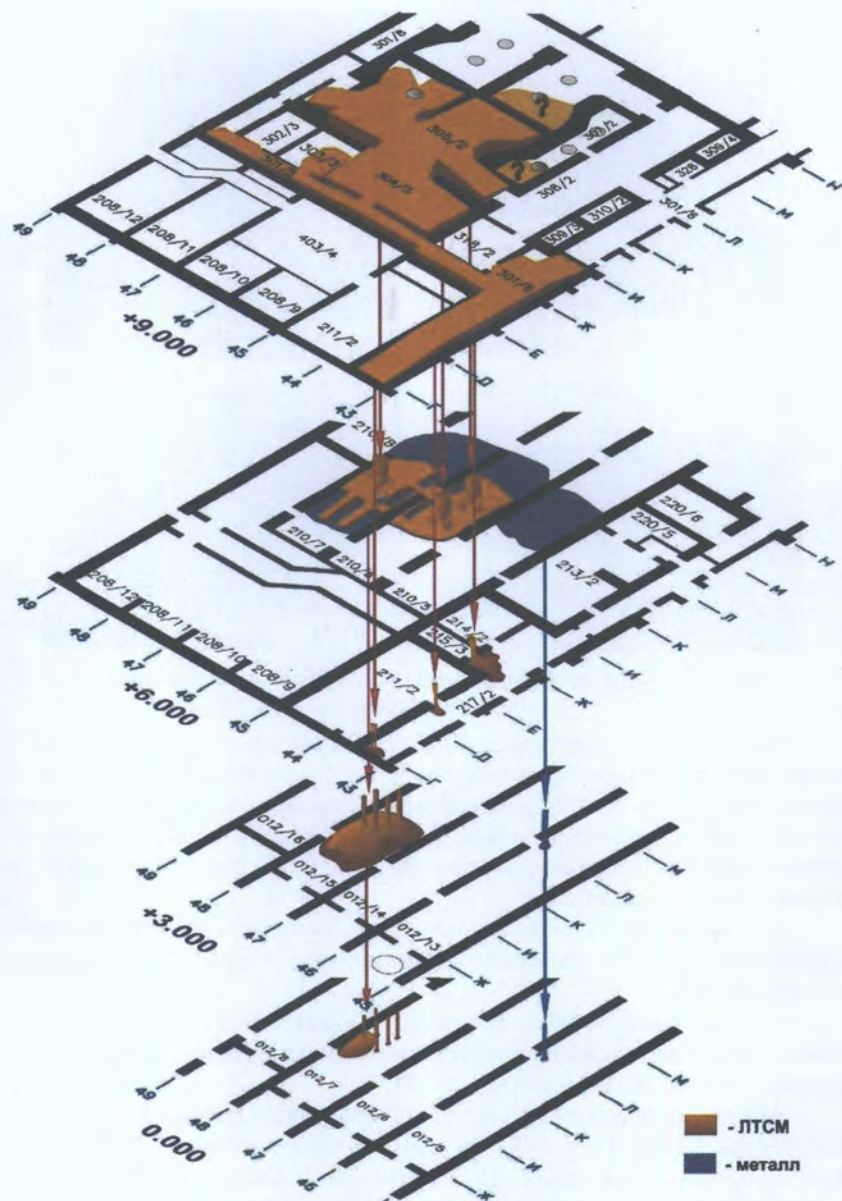


Рис. 2.2.2. Расположение скоплений ЛТСМ на нижних отметках объекта «Укрытие». Схема растекания лавы и расплавленного металла.



Рис. 2.2.3. Образцы черновыльских лав, отобранные из помещений объекта «Укрытие».

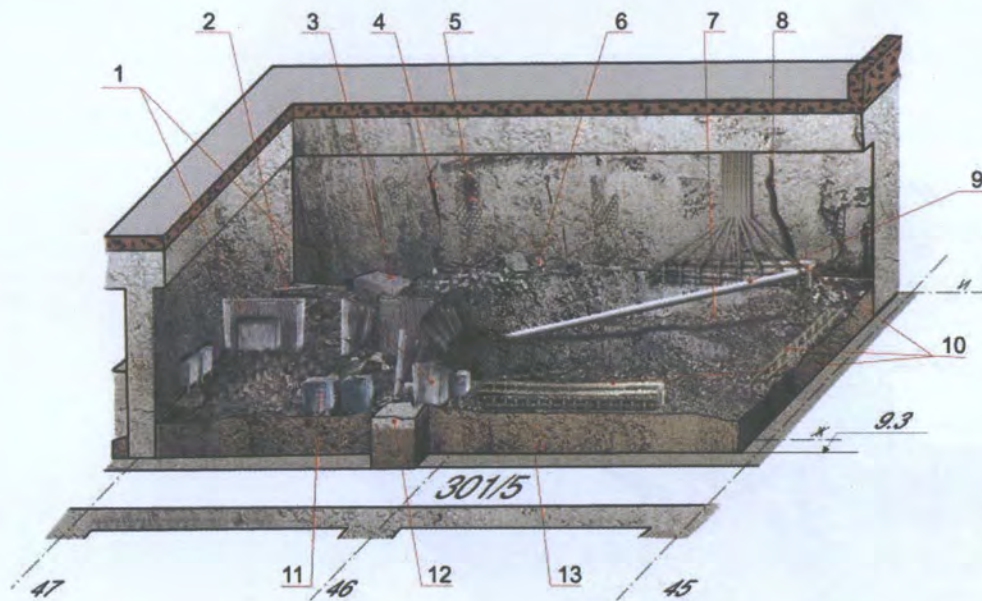
Информация, полученная при обследовании помещения 305/2 и исследовании образцов, отобранных из лавового образования – «сталагмита» (рис. 2.2.9) дал основание заключить, что полихромные ЛТСМ - материал «сталагмита» как модификация черновыльских лав образовались на верхних отметках разрушенного 4-го блока ЧАЭС по своему, особому механизму.

На основе полученных данных по химическому составу полихромных ЛТСМ было проведено математическое моделирование процесса их образования.

Выполненные расчеты показали, что для осуществления процесса лавообразования в условиях протекания активной стадии черновыльской аварии было необходимо около 1 т ОЯТ.

Анализ результатов расчетов показал, что минимальная оценка количества ЛТСМ (1 т  $\text{UO}_2$ ) на верхних отметках разрушенного 4-го блока составляет не менее 15 т. Этот факт необходимо обязательно учитывать при разработке стратегии извлечения ОЯТ из ЦЗ, а также при сооружении конфинмента и преобразовании объекта «Укрытие» в экологически безопасную систему.





- 1 - ограждение электрошкафов;
- 2 - датчик плотности нейтронного потока (скважина 3-10-Г);
- 3 - упавший электрошкаф;
- 4 - трещины в стене;
- 5 - обнажившаяся металлоарматура;
- 6 - возвышение у стены, разделяющей помещения 304/3 и 305/2 (отметка +10.300);
- 7 - область, имеющая гладкую "холмистую" поверхность;
- 8 - глубокая вертикальная трещина;
- 9 - обсадная труба скважины В-12-79, пробуренной из помещения 318/2;
- 10 - пробоотборные гребенки;
- 11 - контейнеры с мусором и ТСМ;
- 12 - "свежий" бетон в дверном проеме помещения 304/3;
- 13 - слой ЛТСМ, заполнивших помещение 304/3.

Рис. 2.2.4. Помещение 304/3 после аварии (реконструкция по материалам фото- и видеосъемки, результатам исследования проб, чертежам и схемам, предоставленным разведывательными группами).

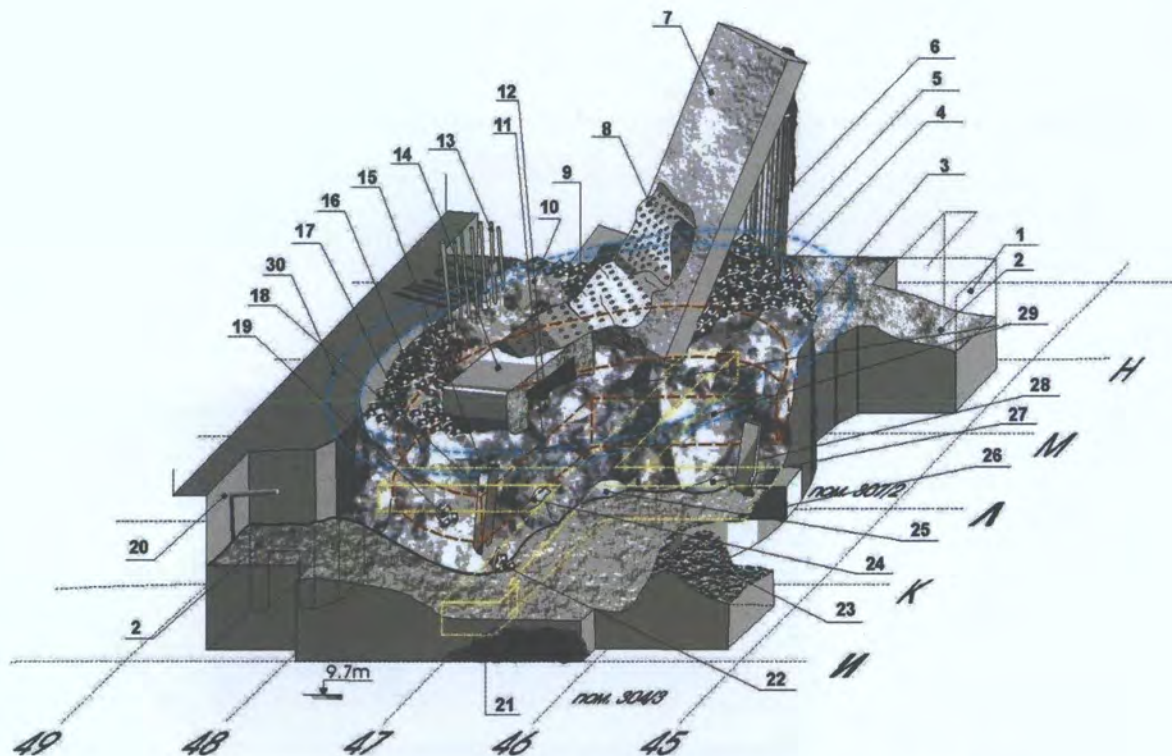


Рис. 2.2.5. Схема расположения конструкций и ТСМ в помещении 305/2.



*Поясняющие данные к рис. 2.2.5:*

- 1 - проем северных откатных ворот;
- 2 - поверхность "свежего бетона";
- 3 - пространство между стеной помещения 307/2 и боковой поверхностью схемы «ОР»;
- 4 - "сталагмит";
- 5 - область, заполненная фрагментами активной зоны;
- 6 - трубы каналов охлаждения;
- 7 - наклонно стоящая железобетонная плита;
- 8 - деформированный лист металла;
- 9 - фрагмент завала (железобетонная конструкция), (отметка +17.000);
- 10 - "граншея";
- 11 - схема «ОР»;
- 12 - провал (отметка +13.000);
- 13 - каналы охлаждения отражателя;
- 14 - железобетонная конструкция;
- 15 - фрагмент элемента завала (железобетонная конструкция?);
- 16 - сборки, с сохранившимися ТВЭЛами;
- 17 - край схемы «ОР»;
- 18 - южная дополнительная опора;
- 19 - фрагменты ТВС;
- 20 - западная стена помещения 305/2;
- 21 - ТСМ (пролом в стене);
- 22 - графитовые блоки и обломки труб (ТК?);
- 23 - «гравийная» куча;
- 24, 25, 27 - бреши в стене из переплавленного вещества;
- 26 - прожог в стене («грот»);
- 28 - колонна;
- 29 - стена из рыхлого переплавленного вещества;
- 30 - проекция бака «Л» на отметку +15.950.

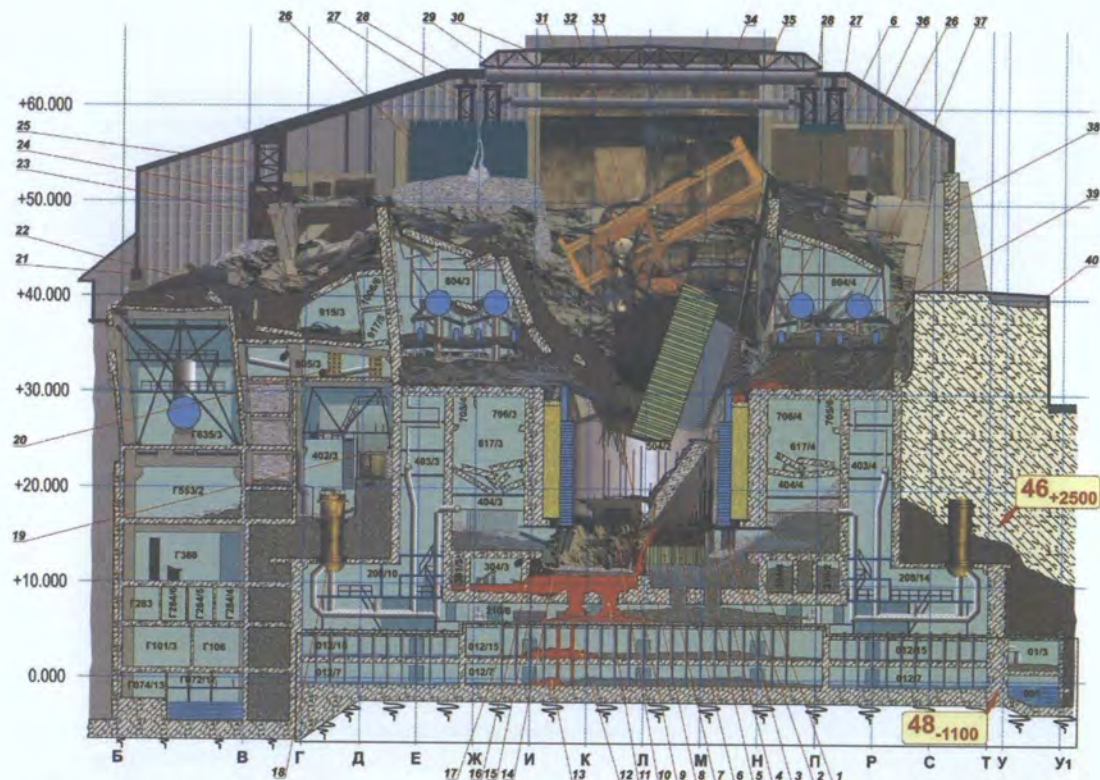










Рис. 2.2.6. Разрез 4-го блока ЧАЭС по оси 46+2500 (помещения бассейна-барботера – по оси 48-1100).



Поясняющие данные к рис. 2.2.6:

- |    |   |   |  |
|----|---|---|--|
| 1  | - трубы нижних водяных коммуникаций (НВК);                                  | 30  | - легкая кровля;                                   |
| 2  | - северная дополнительная опора;  | 31  | - разгрузочно-загрузочная машина (РЗМ);            |
| 3  | - водяной бак биологической защиты – схема «ЛП»;                            | 32  | - тележка РЗМ;                                     |
| 4  | - периферийный ряд каналов охлаждения;                                      | 33  | - мост РЗМ;  |
| 5  | - наклонно стоящая железобетонная плита (фрагмент стены бокса сепараторов); | 34  | - диагностический буй;                             |
| 6  | - металлическая облицовка теплозащиты бокса сепараторов;                    | 35  | - верхняя металлоконструкция реактора – схема «Е»; |
| 7  | - схема «ОР»;   | 36  | - трубы верхних пароводяных коммуникаций (ПВК);    |
| 8  | - технологические каналы в шахте реактора;                                  | 37  | - барабан-сепаратор;                               |
| 9  | - железобетонная конструкция;   | 38  | - северная контрфорсная стена;                     |
| 10 | - стена «рыхлых» ТСМ;   |   |  |
| 11 | - паросбросный клапан;  |  | - железобетон строительных конструкций;            |
| 12 | - «куча» ББ-2;  |  | - металлоконструкции;                              |
| 13 | - «куча» ББ-1, покрытая ЭКОРом;   |  | - бетон 1986 года;                                 |
| 14 | - южная дополнительная опора;   |  | - песчано-гравийная засыпка;                       |
| 15 | - сквозной прожог подреакторной плиты;                                      |  | - завал в центральном зале и других помещениях;    |
| 16 | - пролом-прожог в помещение 304/3;  |  | - завал и ТСМ в помещении 305/2;                   |
| 17 | - паросбросная труба;   |  | - ЛITCM;   |
| 18 | - главный циркуляционный насос;   |  | - вода.  |
| 19 | - наклонная галерея («Досифеевская лестница»);                              |   |  |
| 20 | - шпальная кладка;  |   |  |
| 21 | - балка «Осьминог»;   |   |  |
| 22 | - свинцовые листы;  |   |  |
| 23 | - наклоненные колонны;  |   |  |
| 24 | - западная опора балки «Мамонт»;  |   |  |
| 25 | - балка «Мамонт»;   |   |  |
| 26 | - стена по оси 50;  |   |  |
| 27 | - блок балок Б1;  |   |  |
| 28 | - блок балок Б2;  |   |  |
| 29 | - трубный накат;  |   |  |

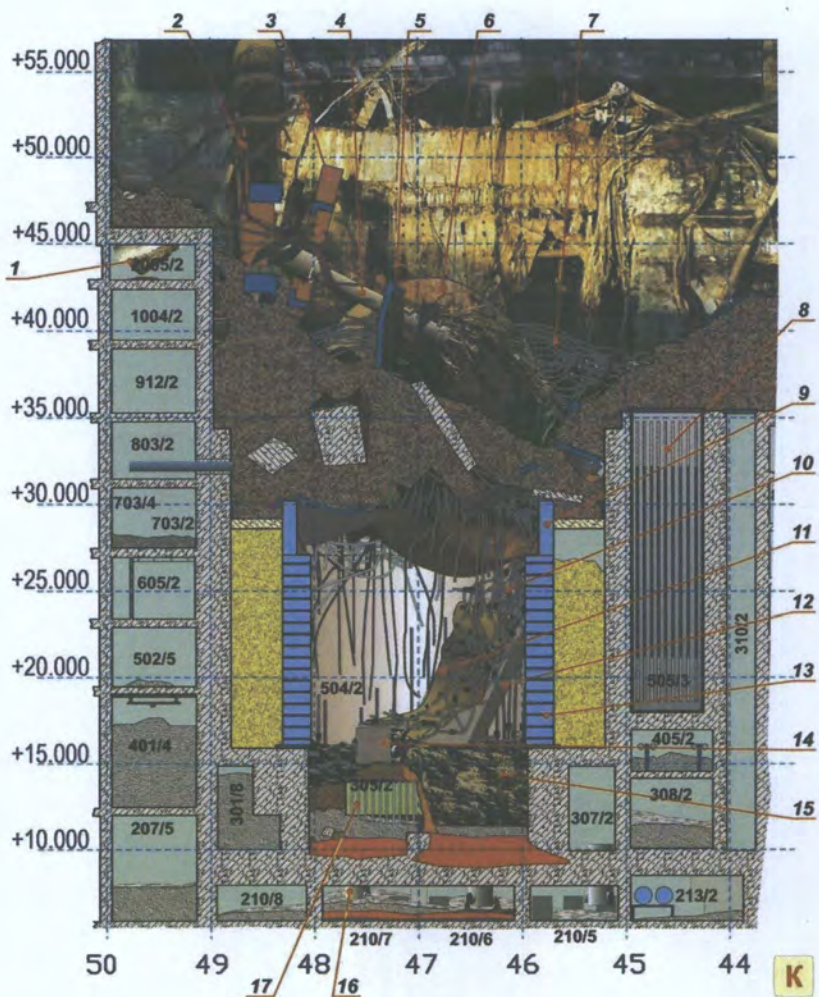


Рис. 2.2.7а. Фрагмент разреза 4-го блока ЧАЭС по ряду К.



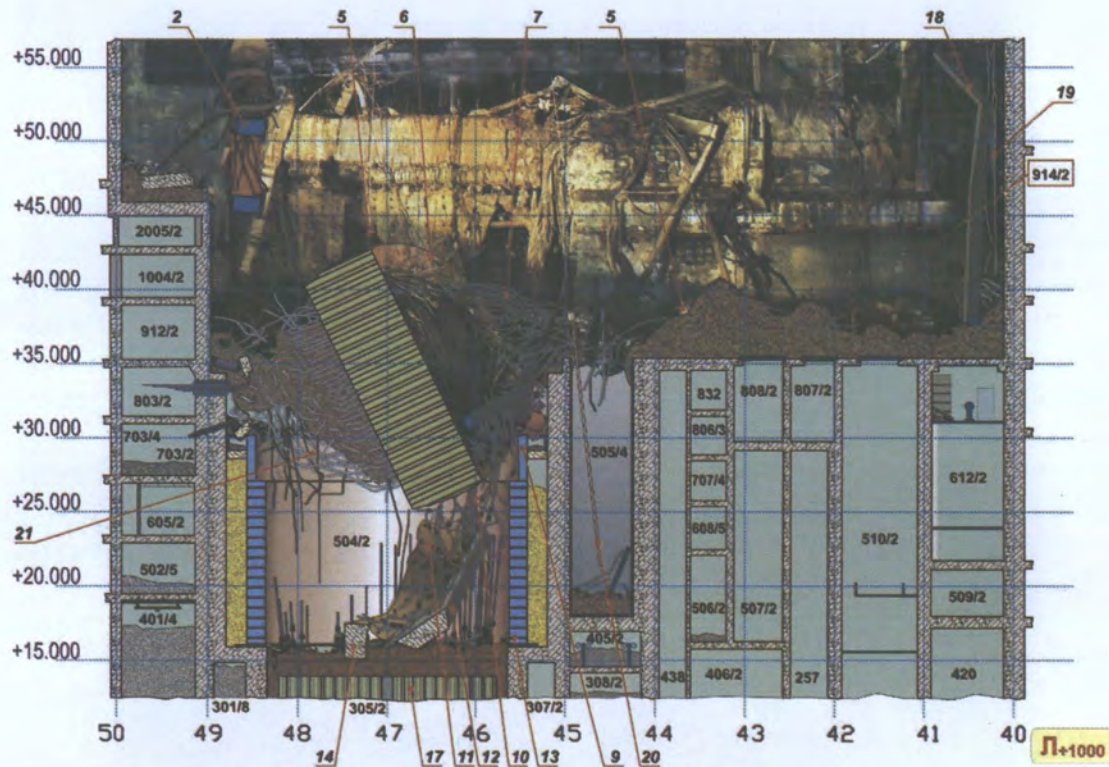


Рис. 2.2.76. Фрагмент разреза 4-го блока ЧАЭС по ряду Л<sub>+1000</sub>.

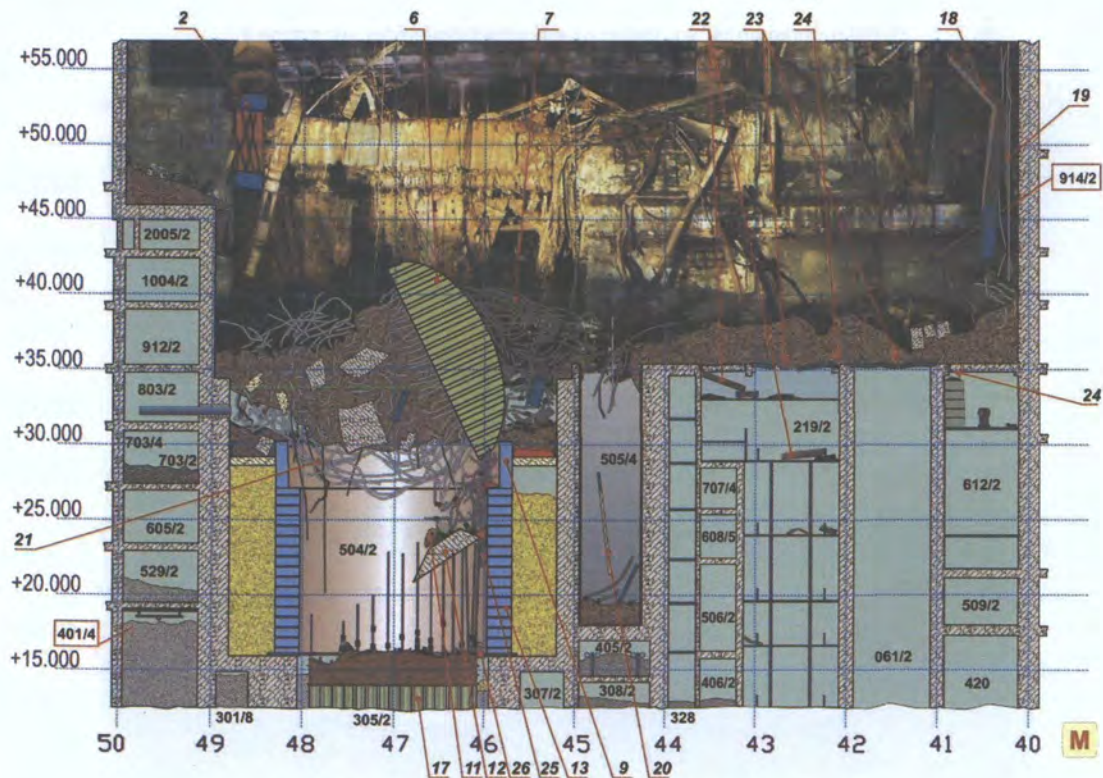






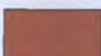




Рис. 2.2.7в. Фрагмент разреза 4-го блока ЧАЭС по ряду М.



Поясняющие данные к рис. 2.2.7:

1	- скафандр разгрузочно-загрузочной машины (РЗМ);		
2	- мост РЗМ;		
3	- тележка РЗМ;		
4	- разгрузочно-загрузочная машина (РЗМ);		
5	- диагностический буй;		
6	- верхняя металлоконструкция реактора – схема «Е»;		
7	- технологические каналы («волосы Елены»);		
8	- кассеты с отработанным ядерным топливом;		
9	- водяной бак биологической защиты – схема «Д»;		
10	- технологические каналы;		
11	- металлическая облицовка теплозащиты бокса сепараторов;		
12	- наклонно стоящая железобетонная плита (фрагмент стены бокса сепараторов);		
13	- водяной бак биологической защиты – схема «Л»;		
14	- железобетонная конструкция;		
15	- стена «рыхлых» ТСМ;		
16	- паросбросный клапан;		
17	- схема «ОР»;		
18	- балки бывшей кровли центрального зала;		
19	- кассеты со свежим топливом;		
20	- диагностическая «Игла»;		
21	- трубы верхних пароводяных коммуникаций (ПВК);		
22	- железобетонные плиты, попавшие в помещение 219/2 из центрального зала;		
23	- провалы в помещения, лежащие под центральным залом;		
24	- повреждения перекрытия пола центрального зала;		
25	- сталагмит (ЛТСМ);		
26	- сталактит (ЛТСМ);		
			- железобетон строительных конструкций;
			- металлоконструкции;
			- бетон 1986 года;
			- песчано-гравийная засыпка;
			- завал в центральном зале и других помещениях;
			- завал и ТСМ в помещении 305/2;
			- ЛТСМ;
			- расплавленный и застывший металл;
			- «рыхлые» ТСМ.

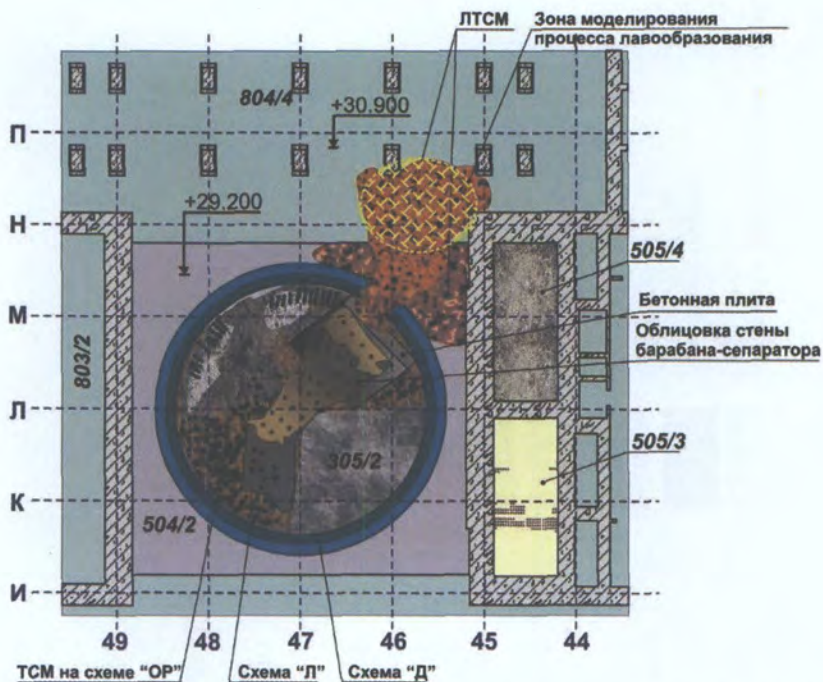


Рис. 2.2.8. Возможное расположение ЛТСМ в районе отметок +24.00 - +35.00.

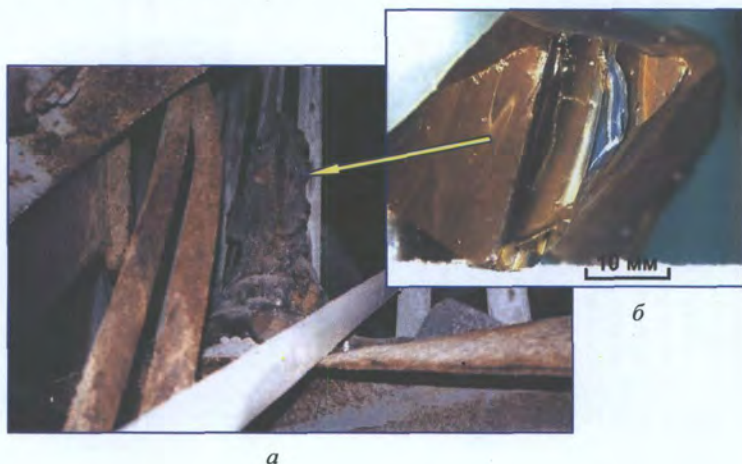


Рис. 2.2.9.: а - «сталлагмит», б - образец полихромных ЛТСМ.



Анализ результатов измерений информационно-измерительной системы (ИИС) «Финиш» позволил сделать вывод о том, что в юго-восточной части помещения 305/2 (в районе пролома, ведущего в помещение 304/3, или в непосредственной близости от него), а также в области прожога в направлении помещения 307/2 в районе отметки +9.000, присутствуют скопления ТСМ с высоким содержанием урана (рис. 2.2.10) [9].

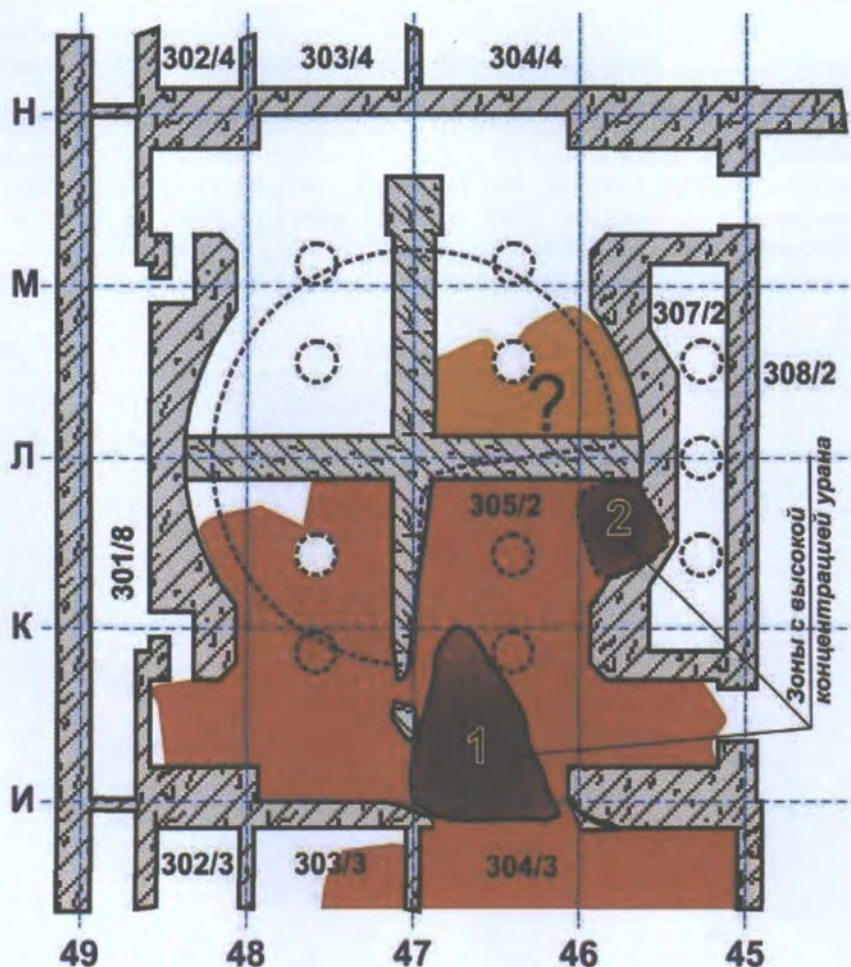


Рис. 2.2.10. Помещение 305/2. Расположение зон с высокой концентрацией урана.

Необходимо отметить, что сценарий образования, изложенный в работе [2], не объяснял и не предполагал присутствие таких зон в подреакторном помещении.

В 2002 – 2009 гг. был проведен ряд теоретических и расчетных работ, результаты которых позволили внести коррективы в сценарий образования чернобыльских лав [7-13].

В частности, было получено более полное представление о механизме образования ЛТСМ, произведена оценка вязкости ЛТСМ и обоснована возможность образования зон с высоким содержанием урана в массиве плиты перекрытия, расположенной под подреакторным помещением 305/2.

Кроме того, были подвергнуты дополнительному изучению и имеющиеся фото- и видеоматериалы, что позволило определить границы распространения лавообразных топливосодержащих материалов, содержащихся в помещении 305/2, оценить геометрические и массовые параметры массива ЛТСМ. (рис. 2.2.11 и 2.2.12), оконтурить зоны с высокой концентрацией урана, присутствующие в границах этого массива (рис. 2.2.10 и 2.2.13).

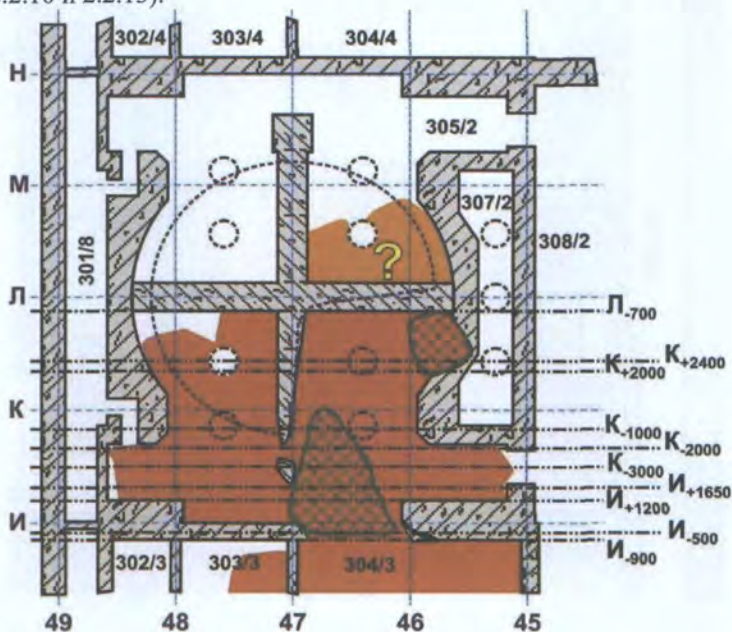


Рис. 2.2.11. Массив ЛТСМ пом. 305/2. ЛТСМ на отметке +9.700.



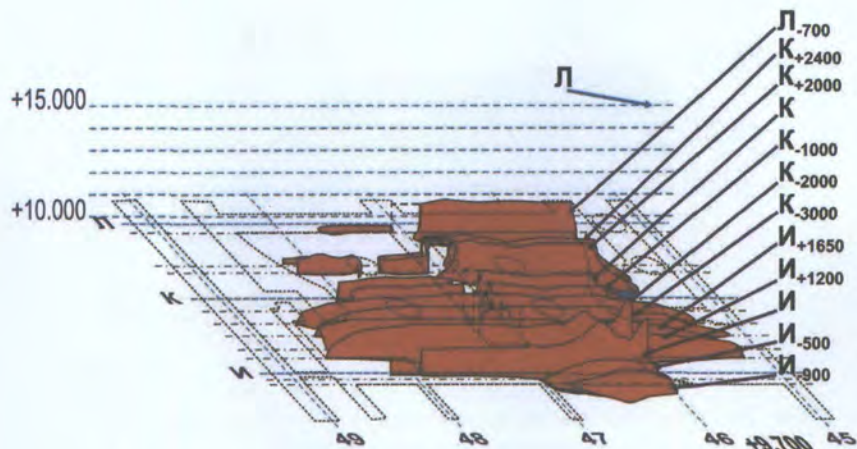


Рис. 2.2.12. Помещение 305/2. ЛТСМ. Расположение сечений на отметке +9.700.

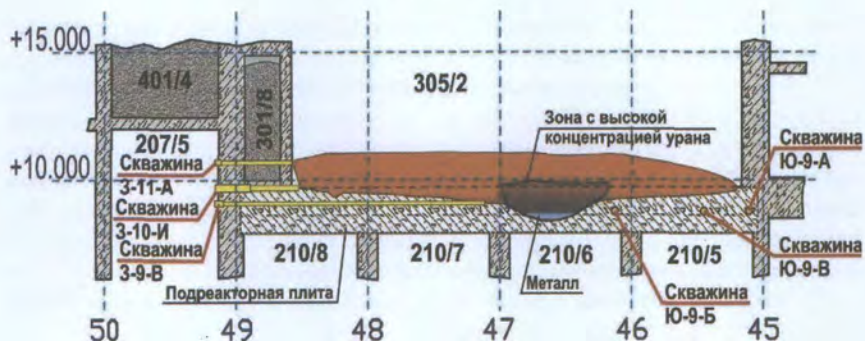


Рис. 2.2.13. Сечение массива ЛТСМ по ряду И+1650.

Необходимо отметить, что, в соответствии с заключением экспертов, зарегистрированное в помещении 304/3 в июне 1990 г. аномальное событие (после проверки всех гипотез осталась одна) было связано со значительным увеличением генерации нейтронов именно в зоне 1 (рис. 2.2.8), т.е. в скоплении ТСМ, находящемся в помещении 305/2 у пролома в стене, ведущего в помещение 304/3 [14].

В работе [9] на основе анализа результатов буровых работ и скважинных измерений была разработана модель, определены геометрические и рассчитаны массовые параметры этой зоны (рис. 2.2.14), выполнен расчет ядерно-физических параметров.

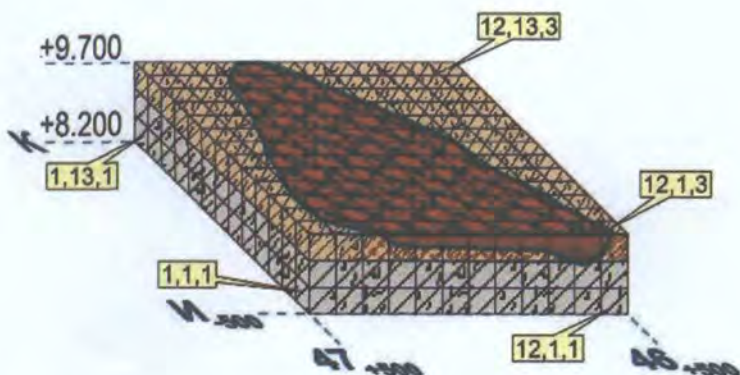


Рис. 2.14. Фрагмент подреакторной плиты, включающий скопление ТСМ с высоким содержанием урана.

Результаты расчетов распределения плотности потоков нейтронов по границам зоны с высоким содержанием топлива в помещении 305/2 по характеру изменений удовлетворительно совпали с результатами прямых измерений. Это дало основание утверждать, что в зоне содержится не менее 10 т топлива по урану.

В 2010 г. с учетом новых расчетных данных и на основе анализа процессов, которые происходили в помещении 305/2 на стадии образования и растекания чернобыльских лав, проведена оценка распределения ядерного топлива в этом помещении. Оценка произведена для семи отдельных характерных зон [15]. При оценке учитывались как данные анализов проб, отобранных из помещения 305/2, так и результаты анализов проб, извлеченных из близлежащих помещений.

Оценка количества топлива была выполнена с учетом топлива в зоне с высокой концентрацией урана (рис. 2.2.13).

Общее количество облученного ядерного топлива в помещении 305/2, согласно проведенному анализу, составляет по урану  $80 \pm 30$  т (табл. 2.2.1). Т.е. экспертная оценка «снизу» - 50 т.

По оценкам, выполненным в 2000 г. ( $85 \pm 25$  т), минимальное количество топлива в помещении 305/2 составляет 60 т [6]. Следует отметить, что эти оценки базировались в основном на данных анализов проб, отобранных непосредственно из помещения 305/2 и результатах визуального обследования этого помещения. Результаты оценок также в некоторой степени противоречили результатам тепловых измерений, проведенных в 1988–1989 гг. [16]. Все это привело к некорректной (завышенной) оценке количества топлива в юго-западной части помещения 305/2 (скопление № 2).



**Таблица. 2.2.1. Экспертные оценки распределения ТСМ по скоплениям помещения 305/2 объекта «Укрытие»**

Помещение	Скопление, отметки	Краткая характеристика ТСМ в скоплении	Объем ТСМ, м <sup>3</sup>	Количество топлива по урану, т
305/2	№ 1, отм. +8.400 – +11.000	Черные ЛТСМ, ФАЗ	150 – 180	36 ± 12
	№ 2, отм. +9.000 – +11.000	Коричневые и черные ЛТСМ, возможно ФАЗ	80 - 100	25 ± 6
	№ 3, отм. +11.000 – +13.500	ЛТСМ, шихта, ФАЗ	5 - 10	3 ± 2
305/2 и 504/2	№ 4, отм. +11.000 – +16.500	Рыхлые ТСМ	40 - 60	3,5 ± 2
	№ 5, отм. +11.000 – +24.000	ЛТСМ, шихта, ФАЗ, рыхлые ТСМ	70 - 100	12 ± 7
	№ 6, отм. +16.000 – +24.000	Сталактит - ЛТСМ	0,7 – 1,4	0,2 ± 0,1
305/2	№ 7, отм. +9.700	ЛТСМ	до 20	до 1,5

В то же время результаты исследований, выполненных в ИПБ АЭС в 2007 - 2010 гг. [8–11, 13] показали, что в юго-восточной части подреакторного помещения (скопление № 1) содержится значительно больше топлива, чем это предполагалось ранее [6]. Кроме того, изучение завала, расположенного вдоль южной стены помещения 305/2 (скопление № 3), «изнутри» [17] потребовало корректировки данных по запасам топлива в нем.

Экспертные оценки, выполненные в 2010 г. позволили существенно уточнить топографию топлива в помещении 305/2, и вполне сопоставимы с результатами ранее проведенных исследований.

Однако операции, выполненные при обработке значительного объема исходных данных не позволили выполнить оценку точнее, чем это представлено в табл. 2.2.1.

Экспертная оценка количества ядерного топлива в различных помещениях объекта «Укрытие» представлена в табл. 2.2.2.

Удельная активность некоторых излучателей для базового состава топлива 4-го энергоблока на 15 февраля 2011 г. представлена в табл. 2.2.3.

Таблица 2.2.2. Оценки количества топлива в помещениях объекта «Укрытие»

Название (номера) помещений	Модификации ТСМ в помещениях	Обнаруженное топливо, т (У)	Примечания
		Оценки на 06.09.2010 г.	
Центральный зал (914/2) и шахта реактора выше отм. +24.000	фрагменты активной зоны, ЛТСМ	более 22	С учетом 48 сборок со свежим топливом (5,5 т)
Южный бассейн выдержки (505/3)	129 кассет с ОЯТ	14,8	Возможно присутствие ЛТСМ
Все верхние помещения, включая ЦЗ (отм. +24.000 и выше)	топливная пыль	~5 на поверхности завала в ЦЗ, ~30 всего	Оценка 30 т включает поверхностное загрязнение внутри завала в ЦЗ и во всех других помещениях
304/3	ЛТСМ	$6 \pm 2$	«Горизонтальный поток лавы»
301/5+301/6+303/3	ЛТСМ	$5 \pm 2,5$	«Горизонтальный поток лавы»
217/2	ЛТСМ	$0,4 \pm 0,2$	«Слоновья нога», «сталактиты»
Подаппаратное помещение 305/2 и 504/2 до отм. +24.000	фрагменты АЗ, ЛТСМ, пыль	$80 \pm 30$	Расчеты велись по 7-ми скоплениям ТСМ. Начало всех потоков ЛТСМ. Учтены ТСМ в проломе между пом. 304/3 и 305/2
ПРК (210/5+210/6+210/7)	ЛТСМ	$12 \pm 6$	«Большой вертикальный поток» и «малый вертикальный поток»
ББ-2 (012/14+012/15+012/16)	ЛТСМ	мин. - 3, макс. - 14	
ББ-1 (012/5+012/6+012/7)	ЛТСМ	$1,0 \pm 0,5$	
Топливо под каскадной стеной	фрагменты АЗ, пыль	?	
Вода во всех помещениях реакторного отделения	Растворимые соли урана, взвесь	~4 кг	
Топливо на площадке ОУ	фрагменты АЗ, пыль	$0,75 \pm 0,25$	



**Таблица 2.2.3. Удельная активность, Бк/г урана**

Альфа-излучатели	Бета-излучатели	Бета-гамма-излучатели
$^{238}\text{Pu} - 6,41 \cdot 10^6$	$^{90}\text{Sr} - 6,63 \cdot 10^8$	$^{106}\text{Rh} - 2,86 \cdot 10^4$
$^{239}\text{Pu} - 5,0 \cdot 10^6$	$^{90}\text{Y} - 6,63 \cdot 10^8$	$^{125}\text{Sb} - 1,75 \cdot 10^5$
$^{240}\text{Pu} - 8,18 \cdot 10^6$	$^{106}\text{Ru} - 2,86 \cdot 10^2$	$^{134}\text{Cs} - 2,43 \cdot 10^5$
$^{241}\text{Pu} - 2,30 \cdot 10^4$	$^{147}\text{Pm} - 6,00 \cdot 10^6$	$^{137}\text{Cs} - 7,98 \cdot 10^8$
$^{242}\text{Pu} - 1,30 \cdot 10^4$	$^{241}\text{Pu} - 2,97 \cdot 10^8$	$^{154}\text{Eu} - 1,05 \cdot 10^7$
$^{241}\text{Am} - 2,24 \cdot 10^7$		$^{155}\text{Eu} - 2,04 \cdot 10^6$
$^{243}\text{Am} - 5,15 \cdot 10^3$		
$^{244}\text{Cm} - 8,65 \cdot 10^5$		
В сумме $\approx 2,5 \cdot 10^9$ Бк/г урана		

Общая активность облученного ядерного топлива, находящегося в объекте «Укрытие» на 15.02.2011г. составляла примерно  $4,9 \cdot 10^{17}$  Бк.

Радиационная безопасность ОУ во многом определяется состоянием находящихся в нем ЛТСМ, в которых наблюдаются явные изменения прочностных свойств, проявляющиеся в их растрескивании, разрушении крупных фрагментов и т.д. Таким образом, актуальным становится вопрос, какие же существенные изменения могут произойти в ЛТСМ в течение достаточно длительного периода времени. Проявления таких изменений проще всего обнаружить на поверхности ЛТСМ. В работе [18] в течение 2009 - 2010 гг. исследовалось изменение содержания разных по аэродинамическим диаметрам (АД) альфа-активных аэрозолей в помещении 304/3. Показано, что возрастание концентрации альфа-активных аэрозолей с АД < 0,6 мкм объясняется диспергированием поверхности ЛТСМ, причём это диспергирование началось практически сразу после их образования.

### **2.3. Исследовательские скважины в объекте «Укрытие»**

Для оценки геометрии залегания и состояния топливосодержащих материалов (ТСМ) в подреакторных помещениях 305/2 и 304/3 ОУ начиная с 1988 г., в направлении этих помещений были пробурены исследовательские скважины. Расположение скважин в районе высотных отметок +9.000 и +12.000 представлено на рис 2.3.1 и 2.3.2.

Изучение кернового материала, извлеченного из скважин на отметках +9.000 - +12.000 и проведенные в последствии скважинные измерения позволили получить основную массу информации о ТСМ расположенных на подреакторной плите и в массиве этой плиты.

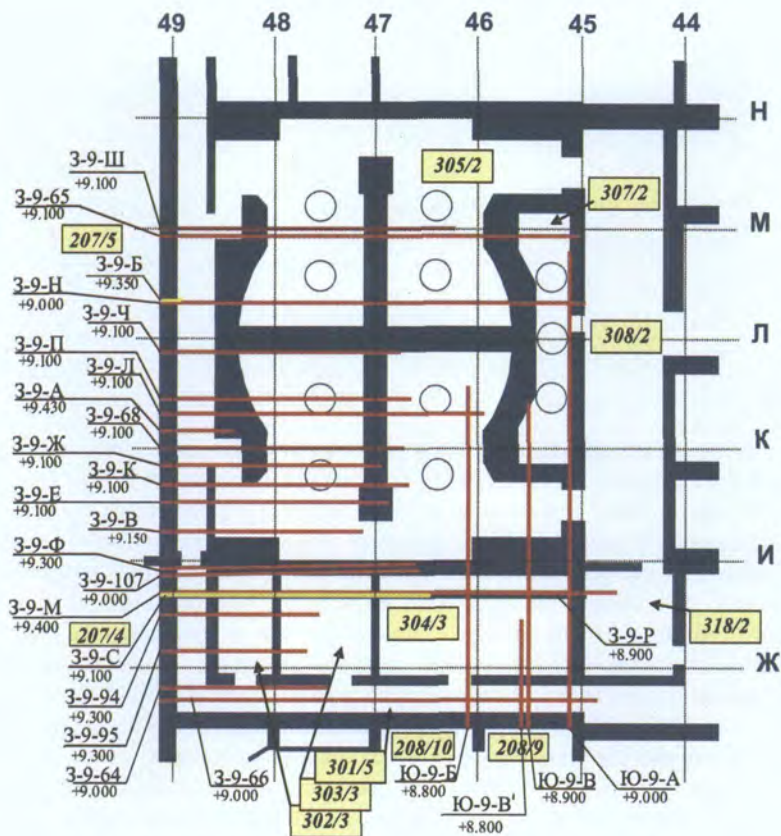


Рис. 2.3.1. Исследовательские скважины на отметке +9.000.

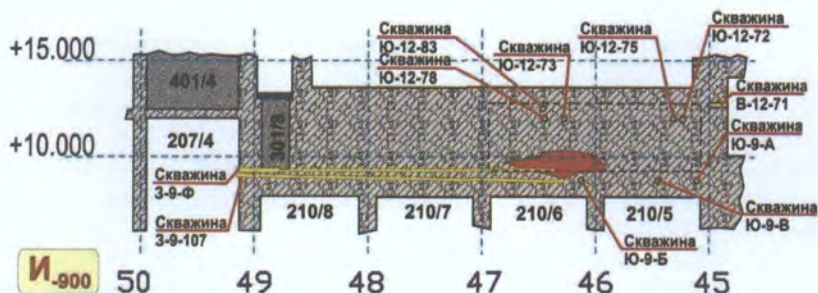


Рис. 2.3.2. Разделительная стена между помещениями 305/2 и 304/3. ЛТСМ. Сечение по ряду И-500.



Представление о расположении стволов отдельных скважин и массива ЛТСМ помещения 305/2 дают фрагменты сечения 4-го блока ЧАЭС, представленные на рис. 2.3.2 – 2.3.4.

В 2008 – 2010 г.г. были проведены работы по обследованию наиболее информативных (с точки зрения контроля состояния ТСМ) скважин Ю-12-78, 3-9-К, 3-10-Г и 3-9-Ж и восстановлению их рабочего технического состояния [19 – 21].

Эти работы были необходимы для последующей установки в эти скважины датчиков СКЯБ ИАСК.

Необходимо отметить, что при бурении этих скважин было отобрано значительное количество проб ТСМ (табл. 2.3.1– 2.3.4).

Пробы ТСМ, представленные в табл. 2.3.2 и 2.3.3, были отобраны из области глубокого проплавления подреакторной плиты на границе зоны с высоким содержанием урана (возможной критмассовой зоны).

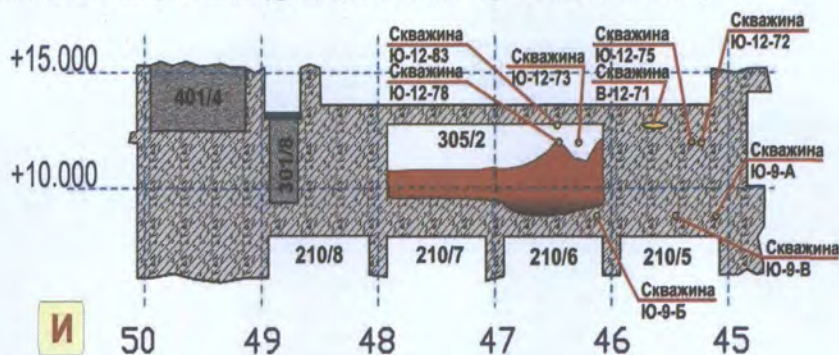


Рис. 2.3.3. Помещение 305/2. ЛТСМ. Сечение по ряду И.

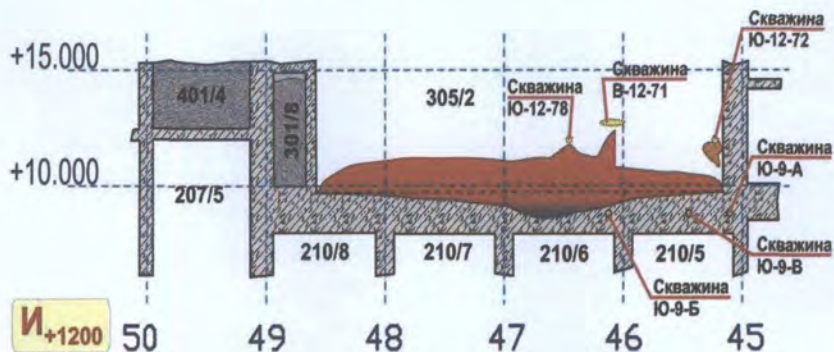


Рис. 2.3.4. Помещение 305/2. ЛТСМ. Сечение по ряду И+1200.

**Таблица 2.3.1. Пробы ТСМ, отобранные при бурении скважины Ю-12-78  
из завала, расположенного у южной стены помещения 305/2  
объекта «Укрытие» [22]**

Обозначение пробы	Место отбора, координаты	Описание пробы	U, %	U, % (расчет по $^{144}\text{Ce}$ )
(3)	46 <sup>+2750</sup> , И/И <sup>+1000</sup> , отм. +12.000	Образец черного цвета, стеклообразный	10,2	10,6
(3-1)	46 <sup>+2750</sup> , И/И <sup>+1000</sup> , отм. +12.000	Образец черного цвета, стеклообразный	13,6	20,9
(8)	46 <sup>+2750</sup> , И/И <sup>+1000</sup> , отм. +12.000	Темно-коричневая хрупкая масса	9,3	12,4

**Таблица 2.3.2. Пробы ТСМ, отобранные из помещения 305/  
(скважина 3-9-К) [23, 24]**

Обозначение пробы	Место отбора, координаты	Описание пробы	U, %	U, % (расчет по $^{144}\text{Ce}$ )
Проба 9	47 <sup>-400</sup> , К <sup>-2000</sup> , отм. +9.100	Металл	0,6	0,7
Проба 10	47 <sup>-400</sup> , К <sup>-2000</sup> , отм. +9.100,	Графит	0	0
Проба 11	47 <sup>-400</sup> , К <sup>-2000</sup> , отм. +9.100	Бетон оплавленный	4,2	4,7
Проба 12	47 <sup>-400</sup> , К <sup>-2000</sup> , отм. +9.100	Бетон серо- черный	0	0
Проба 13	47 <sup>-1600</sup> , К <sup>-2000</sup> , отм. +9.100	Бетон оплавленный	4,7	5,3
Проба 14	47 <sup>-1600</sup> , К <sup>-2000</sup> , отм. +9.100	Песок	5,3	5,8
Проба 15	47 <sup>-1600</sup> , К <sup>-2000</sup> , отм. +9.100	Оплавленная масса (бетон)	4,9	5,5
Проба 3-9К	47 <sup>-1600</sup> /47 <sup>-400</sup> , К <sup>-2000</sup> , отм. +9.100	Черная закопченная масса	8,8	5,5
Проба 3-Ф-1	47 <sup>+800</sup> , К <sup>-2000</sup> , отм. +9.100	Черный песок	4,5	4,9
Проба 4-Ф-1	47 <sup>+800</sup> , К <sup>-2000</sup> , отм. +9.100	Бетон	0,3	0,4



**Таблица 2.3.3. Пробы ТСМ, отобранные из помещения  
305/2 (скважина 3-9-Ж) [23, 25]**

Обозначение пробы	Место отбора, координаты	Описание пробы	U, %	U, % (расчет по $^{144}\text{Ce}$ )
6, [23]	48.2400, K <sub>-1000</sub> , отм. +9.100	Деструктурированный бетон	4,6	5,3
7, [23]	48.2600, K <sub>-1000</sub> , отм. +9.100	Графит, пыль	9,5	10,7
12, [23]	47.700, K <sub>-1000</sub> , отм. +9.100	Графит	4,1	4,4
13, [23]	"-	Бетон оплавленный	3,5	3,8
15, [23]	"-	Бетон оплавленный	3,2	3,4
16, [23]	"-	Бетон деструктурированный	2,3	2,9
17, [23]	"-	Бетон деструктурированный	3,5	3,8
K1, [25]	48.2000, K <sub>-1000</sub> , отм. +9.100	Вспененная застывшая масса светло-серого цвета с частичным остеклованием	2,3	2,9
K2, [25]	47.2800, K <sub>-1000</sub> , отм. +9.100	Масса серого цвета с кавернами и частичными черными вкраплениями	6,3	7,9
K4, [25]	47.1700, K <sub>-1000</sub> , отм. +9.100	Графит с вкраплениями темных шариков размерами в доли мм	0,6	0,7
3-9Ж-1, [25]	47.400, K <sub>-1000</sub> , отм. +9.100	Темно-серый материал, похожий на кусок бетона	6,2	-
3-9Ж П(У), [25]	47.700, K <sub>-1000</sub> , отм. +9.100	Темно-серый порошок	-	3,4
3-9Ж 1(Ш), [25]	47.900, K <sub>-1000</sub> , отм. +9.100	Стекловидная черная масса	-	2,3

**Таблица 2.3.4. Пробы ТСМ, отобранные из помещений 303/3, 304/3 (скважина 3-10-Г) [23, 26]**

Обозначение пробы	Место отбора, координаты	Описание пробы	U, %	U, % (расчет по $^{144}\text{Ce}$ )
7, [23]	пом. 303/3 46.1700, И <sub>2000</sub> , отм. +9.700	-		9,0
У-1, [26]	пом. 304/3 47.200, И <sub>2000</sub> , отм. +9.700	Застывшая лава (черная, хрупкая масса, похожая на керамику)	3,9	4,6
У-2, [26]			3,7	5,1
У-3, [26]			3,8	5,6
У-4, [26]			3,7	4,6

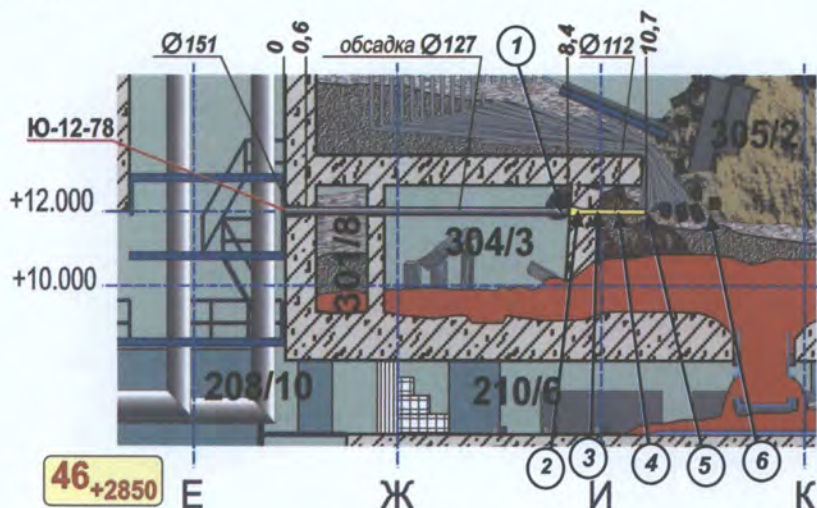
#### **Скважина Ю-12-78**

Скважина была пробурена в 1990 г. из помещения 208/10 через помещения 301/5 и 304/3 в подреакторное помещение 305/2 [27].

Результаты инженерного обследования скважины представлены на рис. 2.3.5 и 2.3.6 [19].

Отдельные кадры, полученные при съемке внутри ствола скважины, представлены на рис. 2.3.6.

При обследовании ствола скважины была получена ценная информация о состоянии завала, расположенного в южной части помещения 305/2, содержащего значительное количество ТСМ (см. табл. 2.3.1).



**Рис. 2.3.5. Фрагмент разреза 4-го блока ЧАЭС по оси 46+2850 (паросбросный клапан – по оси 46+2500). 1, 2...6 – положение камеры при съемке.**





3



4

Рис. 2.3.6. Результаты видеосъемки при движении камеры по стволу скважины Ю-12-78 (3, 4 - положение камеры рис. 2.3.5).

Состояние скважины после проведения всего комплекса работ по обсадке скважины представлено на рис. 2.3.7.

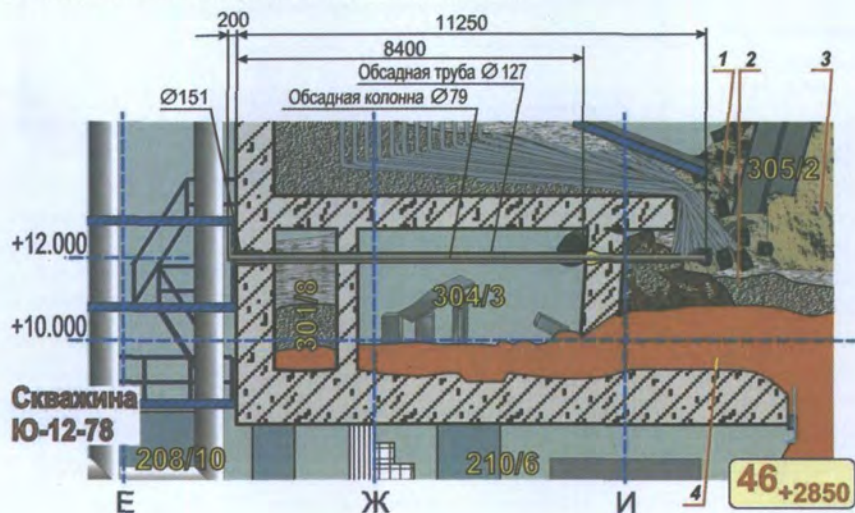


Рис. 2.3.7. Фрагмент разреза 4-го блока по оси 46+2850. Скважина Ю-12-78.  
1 – завал, содержащий ТСМ; 2 – бетон 1986 г.; 3 – рыхлые ТСМ; 4 – ЛТСМ.

### Скважина 3-9-К

Скважина 3-9-К была пробурена в 1988 г. из помещения 207/5 в подреакторной плите в направлении помещения 305/2 [27].

Рис. 2.3.8 дает представление о геометрии ТСМ, находящихся в помещении 305/2, и положении скважины 3-9-К.

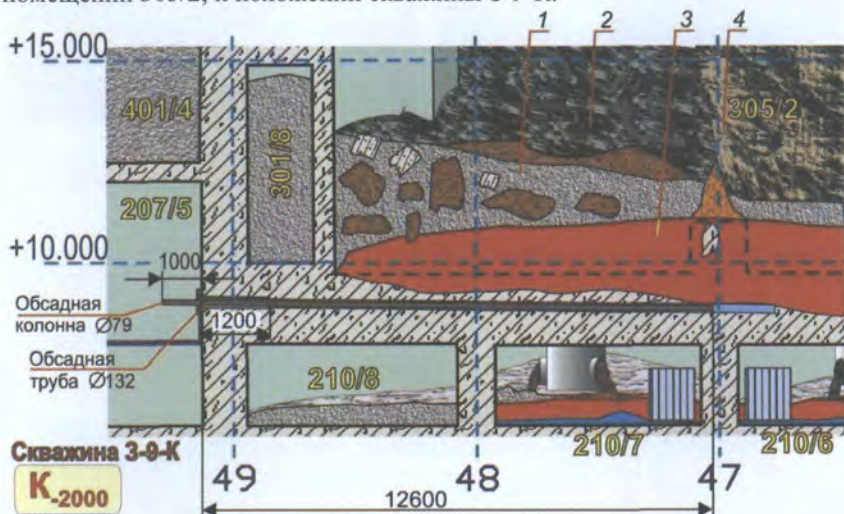


Рис. 2.3.8. Фрагмент разреза 4-го блока по ряду К<sub>2000</sub>. Скважина 3-9-К.  
1 – бетон 1986 г.; 2 – завал, содержащий ТСМ; 3 – предполагаемые границы распространения ЛТСМ; 4 – рыхлые ТСМ.

На отметке +9.100 в подреакторном помещении ось скважины фактически проходит по нижней границе массива ЛТСМ, о чем свидетельствуют результаты анализа фрагментов кернов, извлеченных из скважины (табл. 2.3.3).

Отдельные кадры, полученные при съемке скважины 3-9-Ж «изнутри», представлены на рис. 2.3.10.



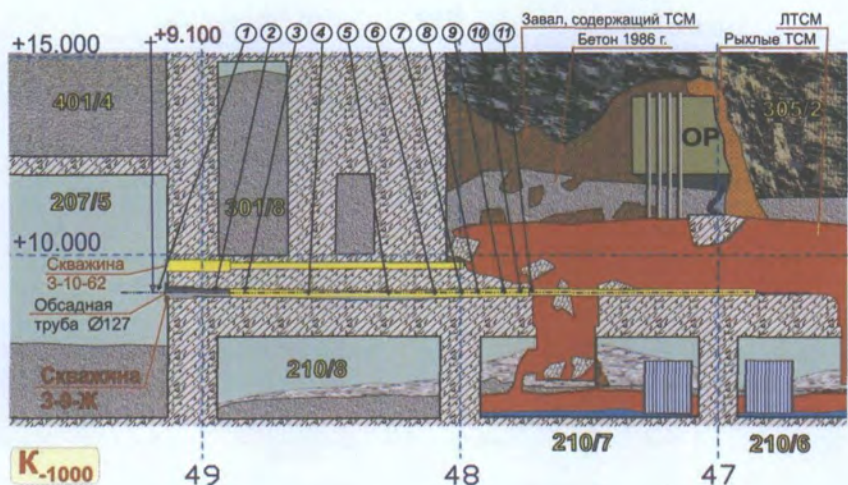


Рис. 2.3.9. Фрагмент сечения 4-го блока ЧАЭС по ряду К-<sub>2000</sub>. Скважина 3-9-Ж. 1, 2... 11 – положение камеры при съемке.

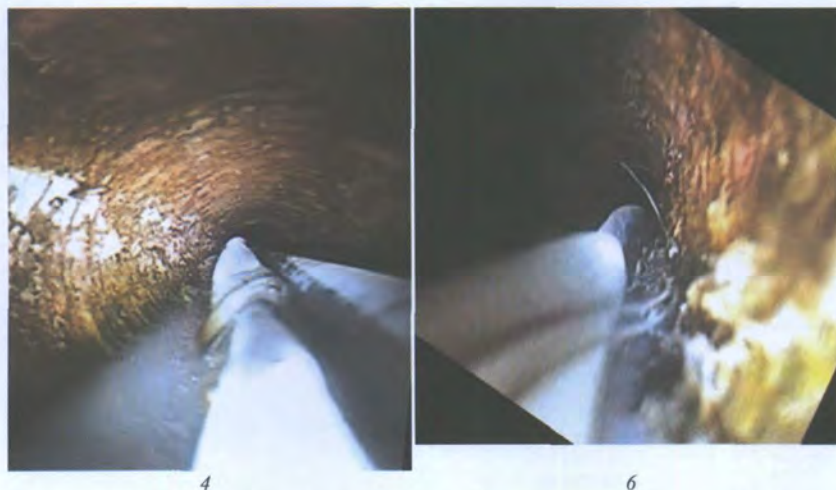


Рис. 2.3.10. Фото фрагментов внутренней поверхности скважины 3-9-Ж (4, 6 - положение камеры рис. 2.3.9).

Состояние скважины 3-9-Ж после проведения восстановительных работ представлено на рис. 2.3.11.

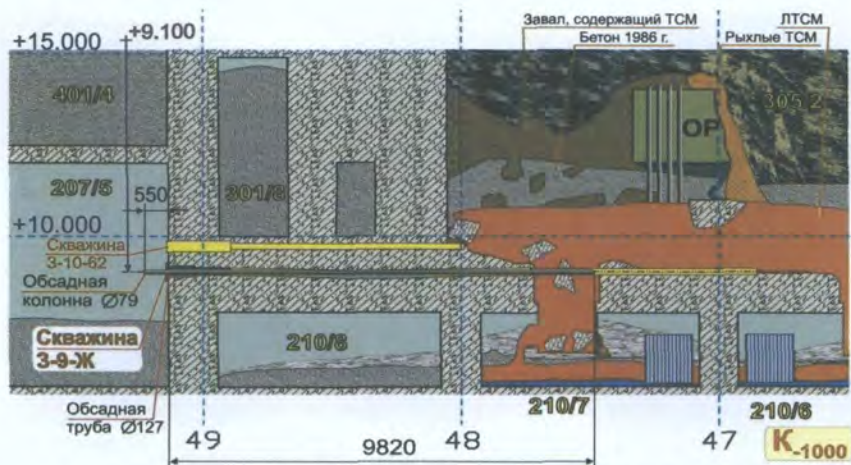


Рис. 2.3.11. Фрагмент разреза 4-го блока по ряду К<sub>1000</sub>. Скважина 3-9-Ж.

#### *Скважина 3-10-Г*

Скважина была пробурена в 1988 г. с целью определения границ распространения и исследования ТСМ помещения 304/3.

В 1990 г. нейтронный детектор установленный в этой скважине, зарегистрировал аномальное событие, связанное со значительным увеличением генерации нейтронов в скоплении ТСМ, находящемся в помещении 305/2.

В 2008 г. было выполнено обследование скважины, а в 2010 г. произведена обсадка скважины на всю глубину трубами диаметром 89 мм, позволяющими установить в ней датчик СКЯБ ИАСК (рис. 2.3.12) [21].



Рис. 2.3.12. Фрагмент разреза 4-го блока по ряду И<sub>2000</sub>. Скважина 3-10-Г.



Основные характеристики скважин Ю-12-78, 3-9-К, 3-10-Г и 3-9-Ж представлены в табл. 2.3.5.

Таблица 2.3.5. Параметры исследовательских скважин

Параметр	Ю-12-78	3-9-К	3-9-Ж	3-10-Г
Контролируемое помещение	305/2	305/2	305/2	304/3
Помещение устья	208/10	207/5	207/5	207/4
Координаты устья	E <sub>+2700</sub> , 46 <sub>+2850</sub> , +12.000	K <sub>-2000</sub> , 49 <sub>+800</sub> , +9.100	K <sub>-1000</sub> , 49 <sub>+800</sub> , +9.100	I <sub>-2000</sub> , 49 <sub>+800</sub> , +9.700
Горизонтальный угол, град	0	0	0	0
Вертикальный угол, град	0	-0,7	0	*
Длина обсадной колонны, м	11,3	12,6	9,8	14,4
Внутренний диаметр обсадной колонны, мм	79	79	79	79

\* от устья до забоя ось скважины плавно отклоняется вверх на 0,15 м (забой – ось 47<sub>-200</sub>, отм. +9.850)

## 2.4. Ядерная безопасность ТСМ объекта «Укрытие»

Более 20 лет вопрос о ядерной безопасности ТСМ объекта «Укрытие» (ОУ) остается открытым. Это связано с тем, что информация о характеристиках и состоянии скоплений топлива в центральном зале (ЦЗ) и подреакторном помещении из-за отсутствия доступа до сих пор находится на уровне расчетно-аналитических и экспертных оценок.

Когда сооружение нового безопасного конфайнмента (НБК) кардинально изменит температурно-влажностный режим ТСМ, вопрос обеспечения ядерной безопасности может приобрести ключевое значение как для текущей эксплуатации, так и на всех этапах преобразования объекта «Укрытие» в долговременную экологически безопасную систему.

### 2.4.1. Состояние ядерной безопасности объекта «Укрытие». История вопроса

Первым официальным документом, определяющим состояние ядерной безопасности объекта «Укрытие», было «Техническое обоснование ядерной безопасности» (ТОЯБ 1991 г.) [28]. Выводы о ядерной безопасности были сделаны на основании подробного анализа расчетных и экспериментальных данных, имевшихся к середине 1990 г.:

все модификации ТСМ в любых геометрических комбинациях в отсутствии воды глубоко подкритичны;

все (обнаруженные и исследованные) скопления ЛТСМ при наличии воды не достигают критичности.

Однако окончательный вывод ТОЯБ – «можно считать, что в настоящее время ОУ является ядерно-безопасным» был не совсем корректным, так как:

подреакторное помещение (305/2) и ЦЗ из-за отсутствия доступа фактически не были обследованы, хотя именно в этих местах образование критических композиций было наиболее вероятным;

в июне 1990 г. была зафиксирована мощная нейтронная аномалия, которая показала, что таких барьеров безопасности, как температура ( $>100^{\circ}\text{C}$ ) и водонепроницаемость скоплений ТСМ, уже не существует;

баланс обнаруженного и оставшегося внутри объекта «Укрытие» топлива, не сходялся более чем на 50 т, т.е. все модификации ТСМ, которые могли образоваться во время активной стадии аварии не были определены. Главным образом, это касалось массовой доли топлива в ТСМ, что является определяющим фактором образования критической массы. В то же время ТОЯБ содержал консервативные оценки геометрических и массовых параметров некоторых гипотетических модификаций ТСМ, которые при наличии воды образовывали критическую сборку, но возможность их существования считалась невероятной.

Следующим официальным документом, выпущенным в 1996 г., был «Анализ текущей безопасности объекта «Укрытие» и прогнозные оценки развития ситуации» [29]. Он содержал результаты расчетно-аналитических исследований (за период 1991 - 1996 гг.), связанных с оценкой критичности ряда гипотетических уран-водных и уран-графитовых композиций, существование которых признавалось возможным, но маловероятным. Эти работы существенно не расширили информацию о ядерной безопасности объекта «Укрытие» в связи с отсутствием новых экспериментальных данных по модификациям ТСМ. Технология «горячего» бурения не была освоена, что не давало возможности выйти на плотные массы топлива в помещении 305/2 и ЦЗ.

Выводы «Анализа...» были крайне осторожными: «...для помещений, о которых недостаточно информации, при определенных исходных событиях нельзя исключить возможность уменьшения подкритичности ТСМ. К этим помещениям относятся центральный зал, шахта реактора и помещение 305/2, в которых сосредоточена основная масса топливной лавы, ... объект «Укрытие» нельзя считать ядерно-безопасным».

В рамках «Анализа...» была проведена классификация помещений объекта «Укрытие» по степени ядерной опасности находящихся в них



скоплений. Все помещения, кроме ЦЗ и помещения 305/2, где обнаружены скопления ТСМ, были признаны ядерно-безопасными. Критерием ядерной опасности ЦЗ и помещения 305/2 являлась возможность «образования новых композиций, в которых возникновение самоподдерживающейся цепной реакции (СЦР) принципиально возможно, но на пути ее реализации существует ряд барьеров безопасности». Но для помещения 305/2 подчеркивалось: «о существовании барьеров безопасности достаточной информации нет».

Незначительные нейтронные аномалии, 3-4-кратные превышения ППН, зарегистрированные 12 - 16 сентября 1996 г. на периферии юго-восточного квадранта помещения 305/2 инициировали ряд расчетно-аналитических исследований новых гипотетических ядерно-опасных композиций, в частности ЛТСМ + ФАЗ + вода (ФАЗ – фрагменты активной зоны). В работах рассматривались различные сценарии протекания СЦР при поступлении воды в гипотетическое скопление, а также приводились оценки последствий СЦР для персонала, находящегося внутри объекта «Укрытие» и на промплощадке. В это же время измерение ППН, проведенные в западных и южных скважинах, пробуренных в фундаментной плите (ФП) шахты реактора, подтвердили наличие в юго-восточном квадранте помещения 305/2 большого локализованного скопления ТСМ, имеющего повышенную и нестабильную нейтронную активность. Предполагалось, что вода, поступающая с верхних отметок в пом.305/2, заполняет и удерживается углублениях, образовавшихся при проплавлении подреакторной плиты (ПП). Тогда в зависимости от скорости притока и оттока воды меняется ее уровень в скоплении и как следствие уровень подкритичности ТСМ.

Результаты расчетно-аналитических и экспериментальных работ вошли в «Анализ текущей безопасности объекта «Укрытия» (2001 г.) [6]. Выводы «Анализа...» 1996 г. фактически остались без изменений – для скоплений ТСМ в помещений 305/2 и ЦЗ, где «нет достаточной информации, при определенных исходных событиях нельзя полностью исключить возможность возникновения СЦР».

Гипотетическая ядерная авария (последствия СЦР) была определена как локальная (выход радионуклидов только в пределах помещений объекта), по международной шкале ядерных событий (INES) – ядерный инцидент.

Последний официальный документ, принятый в 2008 г., «Отчет о состоянии безопасности объекта «Укрытие» в разделах, касающихся ядерной безопасности, ограничивался кратким пересказом положений предыдущих документов. «Отчет...» полностью игнорировал результаты работ 2001 - 2006 гг. [30 - 32], в которых на основании многолетних

наблюдений за динамикой температуры и нейтронной активности было показано наличие в юго-восточном квадранте пом.305/2 скопления ТСМ с большой ( $> 40\%$ ) массовой долей топлива.

#### 2.4.2. Ядерно-опасные скопления ТСМ объекта «Укрытие»

Очередным этапом преобразования объекта «Укрытие» в долговременную экологически безопасную систему станет возведение НБК. По завершении строительства НБК во внутренних помещения объекта резко уменьшится объем поступающей воды от атмосферных осадков и поднимется температура воздуха. Но пока строительство НБК не завершено, тысячи кубометров атмосферной, конденсационной и технологической воды попадали и попадают внутрь объекта «Укрытие».

За 25 лет с момента создания объекта «Укрытие» не было отмечено роста критичности скоплений ТСМ за исключением зарегистрированной в 1990 г. нейтронной аномалии и незначительных подъемов ППН в 1996 г., которые наблюдались на периферии юго-восточного квадранта в пом. 305/2. В конце июня 1990 г. детекторами системы «ФИНИШ» было зарегистрировано возрастание (более чем в 60 раз), удержание и спад ППН. Аномалия длилась в течение 96 ч и могла быть идентифицирована только как «холодный критический инцидент» [14, 33]. Юго-восточная часть помещения 305/2 – место, где в течение заключительной стадии аварии (26.04 - 06.05.1986 г.) шло образование и исход лавовых потоков ЛТСМ. Инцидент произошел в период, когда температура скоплений в помещении 305/2 снизилась до  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ , и было отмечено интенсивное поступление атмосферных осадков.

Многолетние наблюдения за динамикой стока и температуры воды, а также визуальное обследование скважин в юго-восточной части помещения 305/2 показало, что скопление ТСМ находится в зоне проплавления ПП и постоянно залито водой. Уровень воды поддерживается за счет поступления воды от атмосферных осадков и конденсационной влаги. Поэтому, если допустить, что критический инцидент 1990 г. произошел в процессе залива водой скопления ТСМ в зоне проплавления ПП, а его гашение является результатом переувлажнения (для водно-урановых систем с низкообогащенным топливом в надкритике существует диапазон оптимального увлажнения), то создается парадоксальная ситуация: вода является стабилизирующим фактором, обеспечивающим подкритичность водно-урановой системы. Скопление находится за вторым критическим значением, а его подкритичность ограничивается объемом доступной для воды пористости. Предварительные оценки дают значение коэффициента размножения  $K_{\text{эф}}$  больше 0,98, что уже сейчас указывает на аварийное состояние объекта «Укрытие» [13].



Ограничение доступа воды и повышение температуры при сооружении НБК приведет к процессу обезвоживания скопления ТСМ и, следовательно, к возвратной критичности. Кинетику и последствия СЦР, а также как и способы превентивного подавления возможной критичности, невозможно оценить без полного представления о характеристиках ядерно-опасного скопления.

Поэтому за последние 5 лет целью исследований, проводимых в ИПБ АЭС НАН Украины, было установление нейтронно-физических и физико-химических характеристик ядерно-опасных скоплений ТСМ, скрытых в зонах проплавления ПП, а также анализ возможных сценариев их образования на заключительной стадии аварии реактора 4-го блока.

#### **2.4.3. Локализация размещения ядерно-опасных скоплений ТСМ**

Экспериментальные исследования, выполненные в этом направлении, охватывали широкий спектр вопросов, ответы на которые должны были сформировать современное представление о размерах ядерно-опасных скоплений, их местоположении и состоянии с точки зрения ядерной безопасности.

Основная масса данных по измерениям температурных и нейтронных полей, создаваемых скоплениями ТСМ, была получена в период 1988–1990 гг. В это время в шахту реактора и подреакторные помещения было пробурено несколько десятков скважин. Фактически в каждой скважине по глубине проходки проводились измерения распределений температуры, ППН и мощности экспозиционной дозы (МЭД) гамма-излучения. Эти данные, а также данные видеонаблюдений и пробоотборов позволили установить расположение и оценить массовые и геометрические параметры скоплений ТСМ, находящихся на периферии подаппаратного пом. 305/2. Юго-восточный квадрант помещения 305/2 - место образования и истока лавовых потоков, оказался наименее исследованным. Сюда не смогли пройти по причине отсутствия технологии выемки высокоактивных кернов скважины, пробуренные в бетоне ПП. Здесь же были зарегистрированы критический инцидент 1990 г. и нейтронные аномалии 1996 и 2000 гг. С 1990 г. в этой части помещения 305/2 наблюдается нестабильность нейтронной активности и фиксируется постоянное присутствие воды. И, наконец, результаты расчетного моделирования нейтронных полей, основанного на представлении скоплений ТСМ в виде черной керамики с процентным содержанием урана 5–10 %, абсолютно разошлись с данными натурных измерений. Это послужило основанием для полного пересмотра существующего представления о возможном размещении и состоянии топлива в подаппаратном помещении 305/2 [31].

В процессе исследований были подняты, систематизированы, верифицированы все данные по скважинам, пробоотборам, температурным и нейтронным измерениям, полученные для района юго-восточного квадранта помещения 305/2 в период 1988 - 2006 гг. Более чем 20-летняя динамика изменения тепловых и нейтронных параметров определялась по данным системы «Финиш». Подробно анализировались: конфигурация буровых проходок и состав кернов; характер динамики температурных и нейтронных полей; результаты видеонаблюдений [34].

На рис. 2.3.1 приведена конфигурация проходок в ПП колодца шахты реактора, которая является нижним перекрытием помещения 305/2. Плита фактически представляет собой железобетонный монолит толщиной 1,7 м, расположенный между отметками +8.000 - +10.000 в строительных осях 45 - 49, И - Н. На плите размещены бетонный крест фундамента опоры реактора (схема «С») и две полукруглые бетонные тумбы опор нижнего бака биологической защиты (схема «Л»).

Анализ проходок в бетоне ПП 14 западных скважин на отметке +9.100 и трех южных скважин на отметке +8.800 показывает, что только в юго-восточном квадранте бетон плиты проплавлен и топливные массы находятся и выше, и ниже уровня проходок. В то же время квадрант разделяется в центральной части скважинами 3-9-Л и Ю-9-Б на две зоны проплавления (рис. 2.2.10).

На рис. 2.4.1 приведен снимок поверхности ПП в районе расположения Зоны 1. Ровная и чистая площадка (поз. 3) могла образоваться при попадании бетонного раствора в углубление с горячей ровной поверхностью. Здесь же по оплавленным краям, как бы воронки, видны: стальная балка (поз. 1) аварийной опоры схемы «Л», которая прожжена на уровне 3-4 м от поверхности плиты; графитовые блоки (поз. 5) и рыхлые ТСМ (поз. 4). Все это указывает на наличие в Зоне 1 очага мощного тепловыделения.

Контуры расположения восточной зоны проплавления (Зоны 2), показанной на рис. 2.4.2, ограничиваются с юга забоями скважин Ю-9-Б и Ю-9-В, в которых выход высокоактивных кернов не позволил продолжать бурение. С востока и севера границы проплавления не уходили за проходки скважин Ю-9-А и 3-9-Н, в которых нет признаков разрушения бетона. Визуально наблюдаемый «грот», выплавленный в полукруглой бетонной тумбе опоры схемы «Л», показывает наличие источника тепловыделения, уходящего под опору к пом.307/2.

Характерным является то, что эпицентры зон проплавления в ПП, доступ к которым был невозможен из-за отсутствия «горячей» технологии бурения, находятся за пределами контура отсутствующей в этом квадранте  $\frac{1}{4}$  части опоры реактора (схема «ОР») (см. рис. 2.3.1).





Рис. 2.4.1. Вид сверху на местоположение Зоны 1 в юго-восточном квадранте помещения 305/2.



Рис. 2.4.2. Вид сверху на местоположение Зоны 2 в юго-восточном квадранте помещения 305/2.

Основная масса данных по измерениям температурных распределений в скважинах, пробуренных в массиве ПП, была собрана и систематизирована на основании протоколов измерений. Измеренные значения верифицированы и пересчитаны к единой дате (ноябрь 1988 г.) по характеристикам реального спада температуры в «горячих» точках ПП. По этим данным была построена картограмма изотерм (рис. 2.4.3).

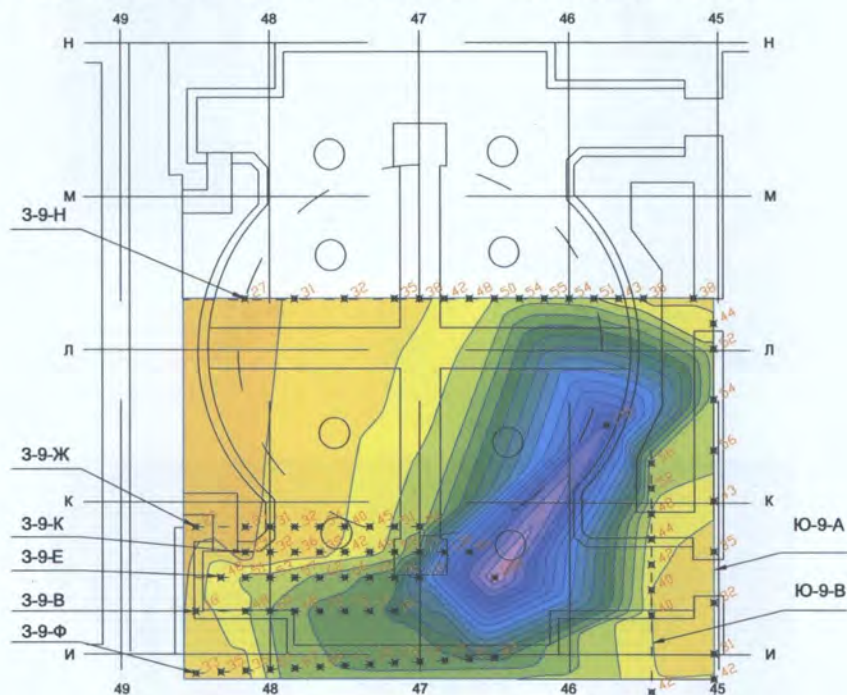


Рис. 2.4.3. Распределение температуры в подреакторной плите на отм. +9.100 (ноябрь 1988 г.).

Эпицентры очагов тепловыделений располагаются в тех частях ПП, которые не прикрываются четвертью схемы «ОР». Эпицентр Зоны 1 располагается в открытой части юго-восточного квадранта пом.305/2, напротив южных откатных ворот. Эпицентр Зоны 2 - в зазоре между стеной тумбы опоры бака биологической защиты и схемой «ОР» под тумбой ее основания. Динамика температуры в горячих зонах и на периферии ПП контролируется системой «Финиш» более чем в 20-ти точках. В период 1988 - 1989 гг. температурный градиент между Зоной 1 и ПП превышал 100 °С, к 1991 г. его значение упало до 40 °С и, в настоящее время, составляет порядка 20 °С. Такую температуру может поддерживать



только мощный источник тепловыделения, температура которого определяется механизмом его внутреннего разогрева за счет остаточного тепловыделения (ОТВ) ядерного топлива.

Существование скоплений со значительным количеством топлива было также подтверждено в работе [34], в которой были проведены расчеты нейтронных полей и сопоставление теоретических и экспериментальных данных.

Детальный анализ динамики температуры в контрольных точках системы «ФИНИШ» выявил наличие для отдельных скважин кратковременных бессистемных пилообразных «выбросов» большой амплитуды («всплесков») на фоне устойчивой тенденции к повторяемости чередования минимумов и максимумов температуры в одни и те же календарные периоды. Скважины, для которой точки контроля демонстрируют динамику температуры с высокоамплитудными «всплесками», периодически заливаются водой, поступающей из области приграничной с поверхностью скопления ТСМ. Таким образом, амплитуда «всплесков» - это температура в непосредственной близости к ТСМ. В тоже время наличие «всплесков» и сезонные колебания их амплитуды по абсолютному значению являются доказательством того, что уровень воды в зоне скопления постоянно пополняется за счет атмосферных осадков, температура которых адекватна температуре окружающей среды соответствующего календарного периода.

Проведенные в 2010 г. теплофизические расчеты, основанные на массиве данных о температурных градиентах в точках контроля «ФИНИШ» за период 2007 -2 010 гг., свидетельствуют о наличии в скоплении ТСМ, локализованных в Зоне 1, не менее 20 т урана с ОТВ, совпадающей с ОТВ черныбыльского топлива - 0,27 кВт/т урана.

#### 2.4.4. Критический инцидент 1990 г.

На «всеволновом» детекторе нейтронов (ДН), расположенном в помещении 304/3 на поверхности ЛТСМ и отделенном от скопления в ПП более чем двухметровым слоем черной керамики, с 19 июня 1990 г. было зарегистрировано нарастание счетности [11, 35]. До 27 июня нарастание было относительно монотонным и превысило фон чуть более чем в два раза. С 27 июня (с 13 ч до 15 ч) счетность детекторов начала возрастать скачкообразно (рис. 2.4.4). В период скачков были проведены контрольные замеры ППН «голым» детектором. Контрольные замеры полностью коррелировали с показаниями «всеволнового» детектора. С 11 ч 29 июня началось резкое возрастание счета, которое к 23 ч достигло 60-кратного увеличения по отношению к фону. После заливов в 23 ч 37 мин 29 июня

1990 г. и в 00 ч 50 мин 30 июня 1990 г. в помещении 304/3 1 %-ного раствора азотнокислого гадолиния счетность в течение двух часов снизилась более чем в семь раз. Возврат счетности к уровню фона произошел через 35 ч [14]. Полный возврат к фону показал, что гадолиний заблокировал тепловые нейтроны только в районе их утечки из скопления. Поэтому восстановление динамики аномалии было проведено на уровне счетности ДН перед заливами гадолиния.

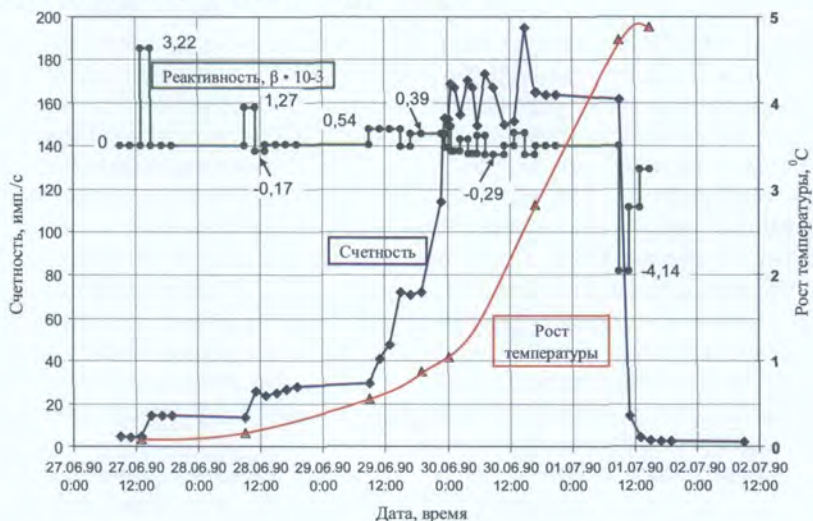


Рис. 2.4.4. Временная динамика счетности детектором нейтронов, вводимой реактивности и роста температуры топлива при критическом инциденте.

Детальное изучение причин возникновения и развития инцидента выявили следующие обстоятельства. Нейтронная аномалия была зарегистрирована в период (19 июня – 3 июля 1990 г.) заполнения водой зон проплавления, в течение которого только за вторую неделю июня выпала полуторамесячная норма осадков. Поступление воды в ПП было отмечено уже в апреле-мае 1990 г., когда были залиты водой и отказали нейтронные детекторы, расположенные в западных скважинах на отметке +9.100. Температура скопления снизилась и превышала 100 °C только в ядре скоплений.

Скачкообразное нарастание счетности определялось поступлением воды в горячую (>100 °C) пористую структуру ядра скопления. Интенсивное парообразование по фронту смачивания и частичное выталкивание воды резко ограничили скорость ввода реактивности. При этом характер динамики развития СЦР и уровень достигаемых параметров надкри-



тичности (ППН, число делений, температура) определялся конкурирующими процессами, такими как доплер-эффект ( $K_d$ ) и тепловое уширение ( $K_r$ ). В то же время поступающая в скопление холодная вода сдерживала подъем температуры в объеме скопления и гасила локальную температуру топлива в ядре скопления.

Текущее значение реактивности скопления определяется суммой вкладов реактивностей от изменения количества воды и роста температуры топлива и скопления в целом. При этом скорость нарастания или падения мощности зависит от знака и величины результирующего значения реактивности на каждом этапе развития инцидента.

На этапах разгона (см. рис. 2.4.4), на каждом скачке мощности скопление выходило в надкритическое состояние с положительной реактивностью, величина которой зависела от текущей температуры топлива. В момент парообразования по фронту смачивания положительная реактивность сбрасывалась в результате выталкивания воды. После каждого сброса длительность удержания мощности определялась конкурирующими процессами: вводом положительной реактивности при возвращении фронта смачивания и вводом отрицательной реактивности (в основном доплер-эффектом) при росте температуры топлива.

По мере поступления воды и роста температуры запас положительной реактивности уменьшается, а диапазон оптимального увлажнения суживается. На рис. 2.4.4 величина реактивности, вводимая на скачках мощности, падает, а интервалы ее удержания увеличиваются. Разгон прекратился, когда количество воды в скоплении превысило объемы оптимального увлажнения, и при продвижении фронта смачивания стала вводиться отрицательная реактивность. Теперь процесс выталкивания воды при парообразовании по фронту смачивания приводил к возврату скопления в надкритическое состояние, а поступление воды возвращало скопление в подкритику.

Этап удержания мощности и рост температуры скопления прекратился, когда переувлажнение и отрицательные температурные коэффициенты реактивности перестали компенсироваться очередным сбросом воды при парообразовании.

#### 2.4.5. Нейтронно-физические характеристики скопления TCM

Оценка нейтронно-физических характеристик скопления TCM была проведена на основании результатов расчетного моделирования критических сборок, вписывающихся в реальные границы зоны проплавления (Зона 1). Расчеты эффективного коэффициента размножения ( $K_{эф}$ ) проводились на программном комплексе MCNP-4A. В пределах ограничений,

задаваемых реальными условиями существования скопления, варьировались параметры сборки (геометрия, элементный состав, выгорание, структура, отражатели) и определялась доля топлива, образующего критическую массу [13].

В табл. 2.4.1 приведены геометрические и массовые параметры критических сборок, моделирующих скопление с гомогенной и гетерогенной структурами ТСМ. Валовой химический состав смеси (кремний, кальций, натрий, алюминий, магний, цирконий, железо, хром) соответствует черным ЛТСМ, которые образовали большой горизонтальный поток. Содержание урана в процентном отношении к массе определялось из условия достижения критичности при увлажнении. Остаточное обогащение по  $^{235}\text{U}$  бралось с учетом наработки  $^{239}\text{Pu}$ , что соответствовало среднему выгоранию 12,5 Мвт·сут/кг урана.

Таблица 2.4.1. Массовые и геометрические параметры критических сборок

Структура ТСМ	Объем сборки, м <sup>3</sup>	Объем ТСМ, м <sup>3</sup>	ТСМ, т	U, т	$^{235}\text{U}$ , кг	Вода, т (макс.)
Гомогенная	17,7	7,07	33,6	20,2	231,8	10,6
Гетерогенная	17,7	8,5	35,8	18,6	213,4	8,2

На рис. 2.4.5 приведена зависимость реактивности ( $\delta K$  в единицах  $\beta = 0,0065$ ) сборок от объемного содержания воды в районе оптимального увлажнения. Расчеты реактивности проводились для размножающей среды при температурах 27 и 80 °С.

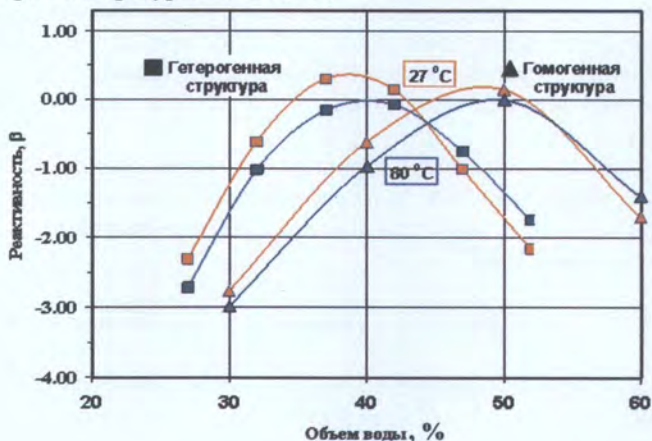


Рис. 2.4.5. График реактивности критического скопления ТСМ в юго-восточном квадранте помещения 305/2 при различных температурах и увлажненности.



При повышении температуры среды запас реактивности и диапазон оптимального увлажнения сокращаются из-за действия отрицательных температурных коэффициентов Доплера и теплового уширения.

Сухая сборка глубоко подкритична с  $K_{эф} < 0,5$ . При поступлении воды вносится положительная реактивность,  $K_{эф}$  растет, сборка достигает первого значения критичности и остается надкритичной в диапазоне оптимального увлажнения до второго значения критичности.

При дальнейшем поступлении воды сборка становится подкритичной и уровень подкритичности ограничивается объемом воды, который может принять сборка.

В табл. 2.4.2 приведены параметры надкритичности, интерпретированные для критических сборок, моделирующих скопление. Расчетная величина ослабления ППН в двухметровом слое черных ЛТСМ, разделяющих ДН и источник, составила  $2 \cdot 10^4$ . Максимальная величина ППН  $10^4$  нейтрон/(см<sup>2</sup>·с) оценивалась по счетности ДН при условии деформации спектра нейтронов к тепловому. Поэтому величина ППН  $5 \cdot 10^7$  нейтрон/(см<sup>2</sup>·с) была принята как средняя на этапе удержания максимальной мощности при инциденте. При ограниченном объеме сборки достижение большей подкритичности при переувлажнении возможно только при увеличении массовой доли топлива. Значение подкритичности при переувлажнении скопления может быть за пределами аварийных значений,  $K_{эф} > 0,98$ .

**Таблица 2.4.2. Параметры критического инцидента для 2-х сценариев: гомогенная и гетерогенная структура скопления**

Параметр	Гомогенная структура	Гетерогенная структура	Примечание
Плотность потока нейтронов $\phi$ , нейтрон/(см <sup>2</sup> ·с)	$5,6 \cdot 10^7$	$5,6 \cdot 10^7$	при максимальной счетности ДН
Интенсивность делений на этапе удержания, дел/с	$3,81 \cdot 10^{13}$	$3,48 \cdot 10^{13}$	на этапе удержания мощности
Суммарное число делений	$5,17 \cdot 10^{18}$	$4,7 \cdot 10^{18}$	92 ч
Энерговыделение, МДж	172	157	
Вводимая температура разогрева топлива, Δ°С	5,05	4,88	без учета теплосъема
Вводимая температура разогрева скопления (ТСМ + вода), Δ°С	2,11	2,06	без учета теплосъема

Параметр	Гомогенная структура	Гетерогенная структура	Примечание
Собственный фон, нейтрон/с	$1,65 \cdot 10^8$	$1,52 \cdot 10^8$	
Умножение нейтронов	$> 10^5$	$> 10^5$	
Вводимая положительная реактивность, $10^{-3}\beta$	0,39 - 3,22	0,39 - 3,22	при разгоне
Вводимая отрицательная реактивность, $10^{-3}\beta$	0,17 - 4,14	0,17 - 4,14	при самогашении
Диапазон оптимального увлажнения, % объема воды	0,12	0,16	полный объем воды $10 \text{ м}^3$
Средняя температура скопления, °С	70 - 80	70 - 80	во время инцидента
Запас реактивности скопления, $\beta$	$> 1,5$	$> 1,5$	при 20 °С

#### 2.4.6. Процесс образования и структура скопления ТСМ

В результате разрушения технологических каналов (ТК), расплавления и диспергирования топлива в юго-восточной четверти активной зоны (АЗ) возникший квазистатический импульс давления (до 20 МПа) был достаточным для разгерметизации реакторного пространства (РП). Этот импульс давления опустил основание реактора (схему "ОР") на 3,85 м и выбросил схему «Е». Процесс имел характер мощного динамического импульса, но не взрывной природы. Во время движения схемы "ОР" вниз расплав топлива, образовавшийся еще в штатном положении АЗ, был сброшен в открытое пространство к юго-восточной части стены помещения 305/2 и в зазор между "ОР" и тумбой опоры бака биологической защиты (схема "Л") [13].

При детонации паро-водородной смеси юго-восточный квадрант помещения 305/2 был засыпан фрагментами АЗ. В результате образовалась конфигурация материалов аналогичная доменной печи с доступом атмосферного воздуха и полной загрузкой шихты: «агломераты» (цирконий, диоксид циркония, диоксид урана, металл); «кокс» (графитовые блоки, кольца, заглушки); «шлаковые флюсы» (серпентинит, засыпка межкомпенсаторного и монтажного зазоров) [36]. Все компоненты шихты были разогреты до высокой начальной температуры и снизу подогревались расплавом топлива, который начал проплавливать бетон подреакторной плиты (рис. 2.4.6). Процесс формирования ЛТСМ происходил в



объеме загрузки шихты через прямое восстановление металла и транспортные газофазные реакции [36]. По мере потери массы компонентов шихта постепенно оседала, а «шлак» (ЛТСМ) уходил из «горна» «доменной печи» в помещение 304/3 через пролом в стене и сформировал горизонтальный поток черных ЛТСМ.



Рис. 2.4.6. Образование расплава топлива в зоне плавления ФАЗ («доменной печи») и проплавления фундаментной плиты.

При этом по мере прогорания шихты в зоне проплавления ПП концентрация топлива постепенно увеличивалась за счет оседания топливных включений из шихты. Характер роста интенсивности суточного выброса продуктов деления на шестые сутки аварии может быть связан с уменьшением и последующим исчезновением слоя шихты. В зоне проплавления остались слои шлака, топлива и металла. Выброс резко (на три порядка) сократился на 10 сут, когда на поверхности зеркала расплава в результате тепло-химических процессов образовалась корка, препятствующая выходу продуктов деления в атмосферу из зоны плавления.

Показательно, что только в районе зоны проплавления ПП полностью отсутствуют материалы шихты, а свежий бетон имеет ровную поверхность (см. рис. 2.4.1). В тоже время за пределами бетонной площадки видны компоненты шихты, графитовые блоки, фрагменты ТК и нижних водяных коммуникаций (НВК). В остальной части юго-восточного квадранта помещения 305/2 (за пределами зоны проплавления) свежий бетон только частично прикрывает остатки шихты и имеет неровную поверхность.

На рис. 2.4.7 приведена предполагаемая трехслойная структура скопления, образовавшаяся в зоне проплавления ПП в процессе его охлаждения. Расслоение расплава в процессе взаимодействия топлива с бетоном подтверждается результатами экспериментов, которые проводятся в рамках международного проекта CORPHAD.2 [37, 38].

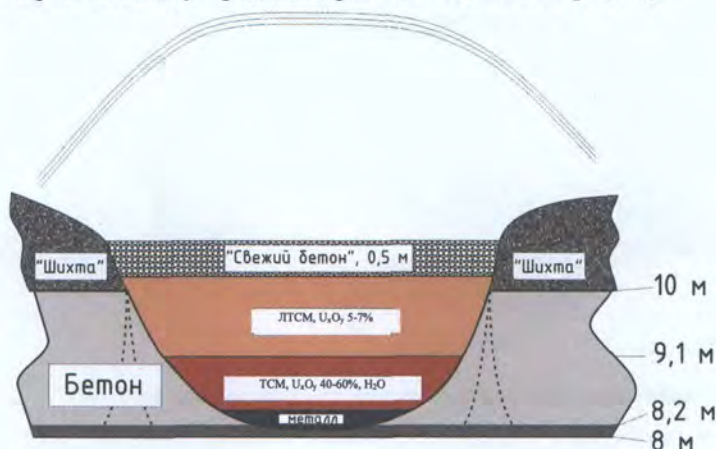


Рис. 2.4.7. Предполагаемая трехслойная структура скопления ТСМ в зоне проплавления ПП.

Верхний слой до отметки 9,7 м представляет собой черные ЛТСМ с концентрацией урана от 3 до 4 % (застывший раствор легких оксидов). Нижний слой состоит из металла с повышенным содержанием рутения. Промежуточный слой (застывший раствор тяжелых оксидов) с содержанием урана более 50 % мас. образует скопление ТСМ, состав и структура которого неизвестны в связи с отсутствием к ним доступа. В настоящее время зона проплавления заполнена водой, уровень которой удерживается на отметке 9,1 м.

На основании последних исследований можно заключить:

1. В юго-восточном квадранте подреакторного помещения 305/2 в зоне проплавления подреакторной плиты шахты реактора в переувлажненном состоянии находится критическая масса топлива, которая достигла надкритичности при заливе ее водой в июне 1990 г.

2. Медленная кинетика развития СЦР определялась температурой скопления ( $\approx 100^\circ\text{C}$ ), что резко ограничило скорость ввода положительной реактивности при поступлении воды.

3. Повышение температуры и обезвоживание ОУ после сооружения НБК может привести к возвратной критичности. Последствия возможной СЦР могут быть серьезными для персонала, находящегося внутри НБК.



4. Концепция ядерной безопасности ОУ, базирующая на «обнаружении и оперативном подавлении опасности надкритичности скоплений ТСМ», должна быть пересмотрена на основе принципа «исключения возможности возникновения СЦР».

#### Список литературы к разделу 2

1. *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. - Инв. № 11.07/285 от 13.12.91 г. - Чернобыль - Санкт-Петербург, 1991. - 88 с.*
2. *Пазухин Э.М. Лавообразные топливосодержащие массы 4-го блока Чернобыльской АЭС топография, физико-химические свойства, сценарий образования // Радиохимия. - 1994. - Т. 36, № 2. - С. 97 - 142.*
3. *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.*
4. *Borovoi A.A. Fission product and transuranic release during Chernobyl accident // Materials of International Conference "The fission of nuclei - 50 years", Leningrad, 1989, 20 p.*
5. *Кашипаров В.А. Загрязнение <sup>90</sup>Sr территории зоны отчуждения // Бюллетень экологического состояния зоны отчуждения. - Чернобыль, Интеринформ, август 1998. - № 12. - С. 41 - 43.*
6. *Анализ текущей безопасности объекта «Укрытие» и прогнозные оценки развития ситуации: (Отчет о НИР) / МНТЦ «Укрытие» НАН Украины. - Арх. № 3836. - Чернобыль, 2001. - 337 с.*
7. *Пазухин Э.М., Лагуненко А.С., Краснов В.А., Билько В.В. Топливо на верхних отметках разрушенного 4-го блока ЧАЭС. Уточнение сценария образования полихромной керамики // Радиохимия. - 2006. - Т. 48, № 6., - С. 470 - 480.*
8. *Изучение физико-химических свойств ядерно-опасных делящихся материалов объекта "Укрытие", влияющих на степень ядерной, радиационной и радиозоологической безопасности объекта "Укрытие": (Отчет о НИР, заключительный) / ИПБ АЭС НАН Украины. - Арх. № 3950. - Чернобыль, 2007. - 248 с.*
9. *Разработка методик и способов контроля состояния подкритичности топливосодержащих материалов. Книга 1 «Модельные и экспериментальные исследования эффективности нейтронного контроля топливосодержащих материалов в зонах критмассового риска»: Отчет о НИР (итоговый) / ИПБ АЭС НАН Украины. - Инв. № 3950. - Чернобыль, 2007. - 115 с.*
10. *Высотский Е.Д., Краснов В.А., Лагуненко А.С., Пазухин Э.М. Топливо в помещении 305/2 4-го блока ЧАЭС. Критмассовые зоны. Уточнение сценария образования лавообразных топливосодержащих материалов // Проблемы безпеки атомних електростанцій і Чорнобіля. - 2007. - Вип. 8. - С. 77 - 86.*

11. *Бабенко В.А., Высотский Е.Д., Ключников А.А. и др.* Моделирование массовых и геометрических параметров скопления топливосодержащих материалов в юго-восточной части помещения 305/2 разрушенного 4-го блока ЧАЭС // Проблемы безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля. - 2008. - Вип. 9. - С. 36 - 42.
12. *Лагуненко А.С.* Поиск и исследование скрытых скоплений топливосодержащих материалов разрушенного 4-го блока Чернобыльской АЭС: Дис. ... канд. техн. наук: 21.06.01; утверждена 27.05.2009. - К., 2008. - 148 с.
13. *Высотский Е.Д., Ключников А.А., Щербин В.Н., Шостак В.Б.* Нейтронно-физические характеристики ядерно-опасных скоплений топливосодержащих материалов // Проблемы безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля. - 2009. - Вип. 12. - С. 93 - 102.
14. *Заключение экспертной комиссии о причинах аномального события в помещении 304/3 объекта "Укрытие" в июне 1990 г. / ИБРАЭ РАН.* - М., 1992. - 67 с.
15. *Пазухин Э.М., Лагуненко А.С., Довыдьков С.А.* Новые количественные оценки ядерного топлива в помещении 305/2 объекта «Укрытие» // Проблемы безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля. - 2010. - Вип. 14. - С. 85 - 94.
16. *Результаты тепловых и радиационных измерений на ОУ за период 1988 - 1989 гг.: (Отчет) / МНТЦ «Укрытие» НАН Украины.* - Арх. № 1379. - Чернобыль, 1989. - 47 с.
17. *Отчет о выполнении инженерных обследований скважин Ю-12-78, 3-9-К: Отчет SIP AOS3 02 0 ЕЛН 01 01, 11.12.07.* - 30 с.
18. *Бадковский В.П., Ключников А.А., Меленевский А.Э. и др.* Радиоактивные аэрозоли помещения 304/3 объекта «Укрытие» и пылегенерирующая способность ЛТСМ в нем // Проблемы безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля. - 2011. - Вип. 16 (в печати).
19. *Отчет о выполнении инженерных обследований скважин Ю-12-78, 3-9-К. SIP AOS3 02 0 ЕЛН 02 02, 2007.* - 30 с.
20. *Отчет о выполнении инженерных обследований скважин 3-9-Ж, 3-10-Г. SIP AOS3 06 0 ЕЛН 01 01, 2008.* - 31 с.
21. *Ремонтно-восстановительные работы по скважинам ОУ под установку датчиков СКЯБ ИАСК. Исполнительный отчет. SIP AOS3 01 0 АБР 01 01, 2010.* - 60 с.
22. *Определение изотопного состава образцов ТСМ объекта «Укрытие»: (Отчет) / КЭ при ИАЭ им. И. В. Курчатова. - Инв. № 11.07/32 от 26.05.90 г.- Чернобыль, 1990. - 17 с. - Арх. № 1499 (МНТЦ "Укрытие" НАН Украины).*
23. *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. № 11.07-06/19 от 14.02.89. - 11 с.*
24. *Акт о работах по проведению анализа четырех проб с объекта «Укрытие» / КЭ при ИАЭ им. И. В. Курчатова. - Инв. № 11.07-05/86 от 4.08.90 г. - 2 с.*
25. *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. - Чернобыль, 1990. - 20 с.*



26. *Экспериментальное исследование радионуклидного состава топливосодержащих масс и высокоактивных новообразований с объекта "Укрытие": (Отчет) / КЭ при ИАЭ им. И. В. Курчатова. - Инв. № 11.07/66 от 31.10.90. - Чернобыль, 1990. - 23 с.*
27. *Скважины объекта "Укрытие". Обобщенные данные (альбом): (Отчет) / ОЯРБ МНТЦ "Укрытие" НАН Украины. - Инв. № 09/05-66 от 09.06.98 г. - Чернобыль, 1998. - 117 с.*
28. *Техническое обоснование ядерной безопасности объекта "Укрытие" (ТОЯБ), М., 1990.*
29. *Анализ текущей безопасности объекта «Укрытие» и прогнозные оценки развития ситуации // Отчет МНТЦ «Укрытие» НАН Украины. – Арх. № 3601. – Чернобыль, 1996. – 272 с.*
30. *Разработка методик и способов контроля состояния подкритичности, эффективности контроля топливосодержащих материалов. Модельные и экспериментальные исследования состояния подкритичности критмассовых зон. Кн. 4 (Промежуточный отчет о НИР) / МНТЦ «Укрытие» НАН Украины. – Инв. № 3886. – Чернобыль, 2003. – 100 с.*
31. *Модельные и экспериментальные исследования эффективности нейтронного контроля топливосодержащих материалов в зонах критмассового риска: (Отчет) / ИПБ АЭС НАН Украины. – Инв. № 3950. - Чернобыль, 2006.*
32. *Павлович В.Н., Бабенко В.А., Высотский Е.Д. и др. Модель распределения плотности потока нейтронов в объеме топливосодержащих материалов помещения 305/2 объекта «Укрытие» // Проблемы безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля. - 2005. – Вип. 2. – С. 55—60.*
33. *Фролов В.В. Аномальный инцидент 27 - 30 июня 1990 г. в объекте «Укрытие» Чернобыльской АЭС // Атомная энергия. – 1996. - Т. 60, вып. 3. – С. 216 - 219.*
34. *Высотский Е.Д., Ключников А.А., Краснов В.А. Локализация ядерно-опасных скоплений топливосодержащих материалов // Проблемы безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля. - 2007. – Вип.7. – С. 66 - 75.*
35. *Работы по контролю нейтронно-физических параметров топливосодержащей массы в пом. 304/3 объекта «Укрытие», выполненные в июне 1990 г.: (Отчет) / КЭ при ИАЭ им. И. В. Курчатова. - Арх. № 1511. – Чернобыль, 1990.*
36. *Рудя К.Г. Исследование процессов развития аварии и образования топливосодержащих материалов на 4 блоке Чернобыльской АЭС: Дис. ... канд. техн. наук. - К. Чернобыльский центр ядерной безопасности, 2003.*
37. *Бешта С.В. Высокотемпературные процессы с расплавами корнума в проблеме безопасности АЭС с ВВЭР: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук: спец. 05.14.03 / С.-Петербург. гос. политехн. ун-т. – СПб., 2004. - 38 с.*
38. *Bechta S.V., Granovsky, Khabensky V.B. et al. Corium Phase Equilibria based on MASCA V.S. METCOR and CORPHAD Results // Nuclear Engineering and Design. - 2008. – 238. - P. 2761 - 2771.*

### РАЗДЕЛ 3

#### Контроль выбросов и сбросов радиоактивных веществ из объекта «Укрытие»

##### 3.1. Контроль выбросов радиоактивных аэрозолей из объекта «Укрытие»

В соответствии с многоплановыми организационно-техническими мероприятиями на объекте «Укрытие» проводится систематический регламентный контроль радиоактивных аэрозолей во внутренних помещениях и выбросах во внешнюю среду.

Радиоактивные аэрозоли из объекта «Укрытие» выносятся по двум каналам. Через систему «Байпас» и вентиляционную трубу ВТ-2 происходит «организованный» выброс аэрозолей, а через неплотности (щели, проемы, технологические люки) внешних строительных конструкций – «неорганизованный» выброс (рис. 3.1.1).

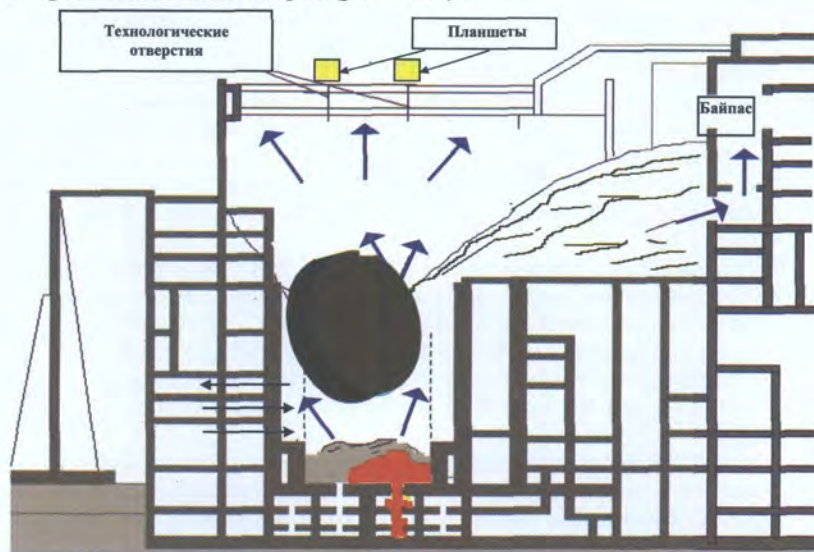


Рис. 3.1.1. Схема воздушных потоков в объекте «Укрытие».

Систематический контроль количества (верхняя оценка) и состава радионуклидов «чернобыльского» генезиса в аэрозолях неорганизованного выброса осуществляется, начиная с 1992 г., с применением аккумулирующих планшетов, установленных над технологическими люками легкой кровли [1].



На рис. 3.1.2 представлена динамика неорганизованного выброса радиоактивных аэрозолей через щели в кровле объекта «Укрытие» в период 1996 - 2010 гг. Как видно из рисунка, в 1998 г. наблюдалось возрастание активности, что обусловлено проведением работ по укреплению вентиляционной трубы.

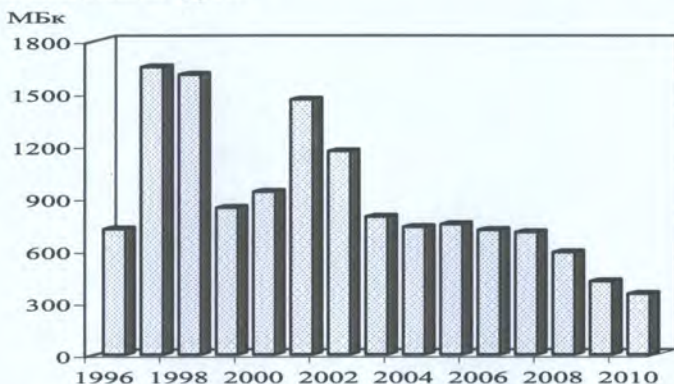


Рис. 3.1.2. Динамика выброса бета-активных аэрозолей через неплотности в кровле объекта «Укрытие» в 1996 – 2010 гг. по данным аккумулирующих планшетов.

Некоторое повышение радиозольной активности в 2001 г. объясняется сочетанием неблагоприятных метеоусловий (сухое жаркое и ветреное лето) с проведением ремонтных работ на легкой кровле. В последующие годы наблюдается снижение неорганизованного выброса радиоактивных аэрозолей через отверстия и проемы на верхних отметках объекта «Укрытие».

Максимальная скорость выброса бета-активных аэрозолей из объекта «Укрытие» в 2010 г. наблюдалась в холодное время года и достигала величины 3,6 МБк/сут. Подобное сезонное повышение скорости выброса радиоаэрозолей происходило также в 2008 – 2009 гг. (рис. 3.1.3), что обусловлено значительной разностью температур внутри и снаружи объекта «Укрытие».

В 2002 г. были начаты наблюдения за концентрациями и дисперсным составом радиоактивных аэрозолей «организованного» выброса, поступающего из центрального зала объекта «Укрытие» в атмосферу через систему «Байпас» и высотную вентиляционную трубу ВТ-2.

Значительное увеличение концентрация суммы бета-излучающих нуклидов-продуктов Чернобыльской аварии ( $\Sigma\beta$ ) происходило при интенсивной техногенной деятельности в помещениях объекта «Укрытие».

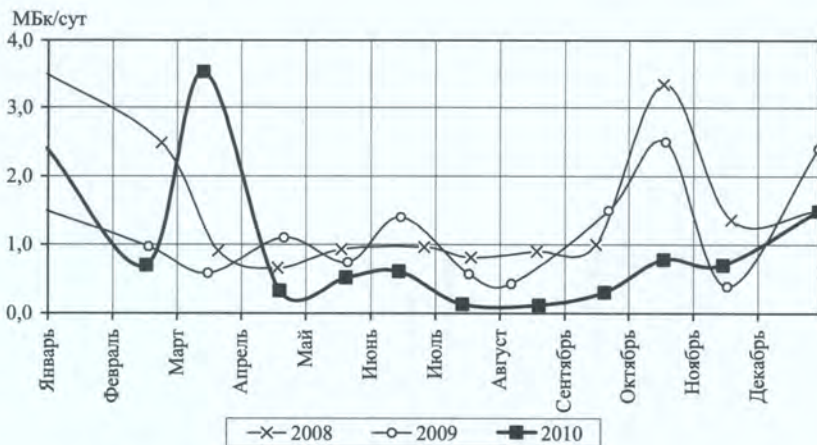


Рис. 3.1.3. Динамика неорганизованного выброса бета-активных аэрозолей из объекта «Укрытие».

Так, при проведении сеансов пылеподавления наблюдались кратковременные повышения  $\Sigma\beta$  в бывшем центральном зале и примыкающих к нему помещениях. Например, 11 февраля 2004 г. сразу после окончания работы форсунок средняя за 2 ч пробоотбора  $\Sigma\beta$  в системе «Байпас» составила 160 Бк/м<sup>3</sup>.

В конце августа – начале сентября 2005 г. при сварочных и долбежных работах в южной части объекта «Укрытие» наблюдались  $\Sigma\beta \sim 500 - 1000$  Бк/м<sup>3</sup>. На лобовом слое пакета фильтров с пробой от 1 сентября были обнаружены черные высокоактивные  $\beta$ - и  $\gamma$ -излучающие частицы размером около 1 мм. Следовательно, происходил перенос радиоактивных аэрозолей из зоны технологических операций в поток, выбрасываемый через трубу ВТ-2.

Как следует из рис. 3.1.4,  $\Sigma\beta$  в 2010 г. изменялась от 0,2 до 260 Бк/м<sup>3</sup>. Наиболее часто величина  $\Sigma\beta$  находилась в диапазоне 1 – 10 Бк/м<sup>3</sup>. При этом около 30 % активности приходилось на <sup>137</sup>Cs.

При контроле выбросов радиоактивных аэрозолей из объекта «Укрытие» выявлен сезонный расхода воздуха, поступающего за счет естественной тяги из развала центрального зала через систему «Байпас» в вентиляционную трубу ВТ-2.

Максимальные расходы 45 – 47 тыс. м<sup>3</sup>/ч приходятся на зимние месяцы, а минимальные 7 – 11 тыс. м<sup>3</sup>/ч – на летние. Сезонность в расходах воздуха практически не отражается на концентрациях радиоактивных аэрозолей, проходящих через систему «Байпас».



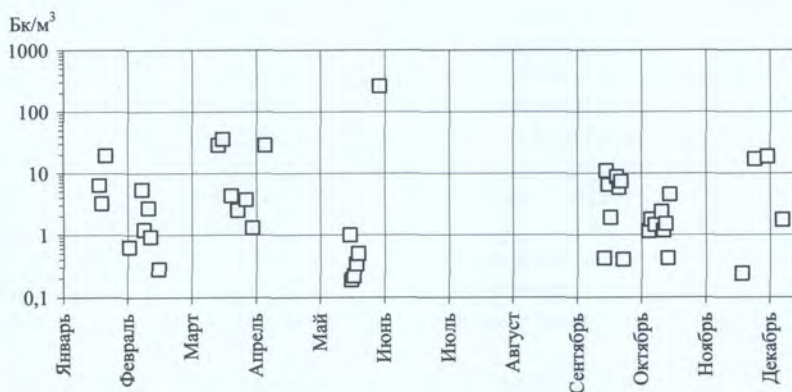


Рис. 3.1.4. Объемная активность аэрозолей-носителей суммы бета-излучающих нуклидов в системе «Байпас» объекта «Укрытие» в 2010 г.

Исследование дисперсного состава аэрозолей-носителей продуктов Чернобыльской аварии показало, что их активностные медианные аэродинамические диаметры (АМАД), как правило, находятся в диапазоне 1 – 10 мкм (рис. 3.1.5).

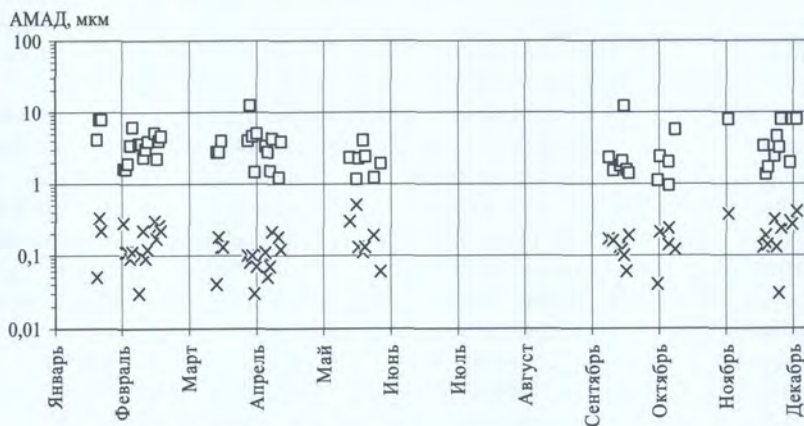


Рис. 3.1.5. АМАД носителей радионуклидов-продуктов Чернобыльской аварии (□) и ДПР (x) в системе «Байпас» объекта «Укрытие» в 2009 г.

Среди радиоактивных аэрозолей объекта «Укрытие» особое место занимают дочерние продукты радона и торона (ДПР). В первую очередь они влияют на радиационную обстановку в помещениях объекта «Укрытие» и детектирование аэрозолей чернобыльского генезиса.

Радон ( $^{222}\text{Rn}$ ) и торон ( $^{220}\text{Rn}$ ) - инертные газы, образующиеся в цепочках радиоактивного распада урана и тория.

Материнским веществом для обоих газов является радий, которого в ядерном топливе практически нет. Поэтому фрагменты ТВС и ЛТСМ, находящиеся в развале 4-го блока, не являются источниками радона. Некоторое количество радона и торона эманурует из строительных конструкций, поскольку в них содержатся  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{232}\text{Th}$ , а также из почвы (на ЧАЭС – это преимущественно песок), в которую заглублены фундамент и нижние помещения. Помимо этого торон образуется в топливе при радиоактивном распаде  $^{232}\text{U}$ , возникающего во время кампании в результате ядерных реакций с изотопами урана и трансурановыми элементами.

При вдыхании воздуха, содержащего радон и торон, основную опасность представляют их дочерние продукты. Во-первых, почти половина из них – альфа-излучающие. Во-вторых, поскольку дочерние продукты радона и торона находятся на субмикронных аэрозолях и имеют АМАД в диапазоне от 0,05 до 0,3 мкм (см. рис. 3.1.5), они проникают в нижние отделы легких.

В объекте «Укрытие» концентрации ДПР, как правило, выше, чем аэрозолей-продуктов Чернобыльской аварии, что для персонала объекта «Укрытие» является негативным фактором, который до сих пор не учитывался при определении доз внешнего и внутреннего облучения. Дополнительные ингаляционные дозы могут достигать десятков процентов от допустимого предела эффективной дозы.

Среди факторов, влияющих на содержание аэрозолей внутри объекта «Укрытие», одним из главных является скорость ветра вблизи ЧАЭС. Воздушные потоки и сквозняки в помещениях, коридорах и лестничных маршах объекта возникают из-за неплотностей во внешней оболочке (щели, проемы, технологические люки и проходки), а также во внутренних коммуникациях (кабельные, вентиляционные каналы и др.). Исследования, проведенные внутри объекта «Укрытие» показали, что увеличение скорости ветра во внешней среде приводит к повышению объемной активности аэрозолей-носителей продуктов Чернобыльской аварии, выбрасываемых через систему «Байпас» и трубу ВТ-2 в атмосферу. Так, при средней скорости ветра свыше 4 – 5 м/с и порывах свыше 10 – 12 м/с объемная активность аэрозолей-носителей продуктов аварии в бывшем центральном зале а, следовательно, и в «Байпасе», возрастает на порядок величины. Одновременно объемные активности аэрозолей-носителей ДПР, в частности  $^{212}\text{Pb}$ , с ростом скорости ветра убывают. Такой ход содержания аэрозолей  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{212}\text{Pb}$  связан с различием в механизмах их генерации в объекте «Укрытие». При этом



направление ветра не имеет существенного значения. При штилевой погоде и туманах наблюдаются наиболее низкие концентрации аэрозолей.

Выявлена связь скорости потока в системе «Байпас» с разностью температур снаружи и внутри объекта «Укрытие». Изменение разности температур на 1 °С приводит к изменению скорости примерно на 0,1 м/с. Выброс воздуха через систему «Байпас» прекращается если разность температур снаружи и внутри достигает примерно 20 °С.

Снижение, а тем более прекращение тяги – нежелательное явление, поскольку приводит к застою воздуха и накоплению радиоактивных аэрозолей, и в частности, дочерних продуктов радона и торона, повышению дозовых ингаляционных нагрузок на персонал.

### 3.2. Контроль радиоактивных аэрозолей в приземном воздухе локальной зоны объекта «Укрытие»

Контроль загрязнения приземного слоя воздуха локальной зоны объекта «Укрытие» выполняется при помощи трех аспирационных установок, расположенных по ее периметру (рис. 3.2.1) [1].

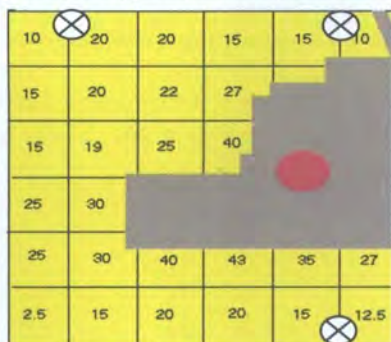


Рис. 3.2.1. Расположение фильтровальных установок (кресты) в локальной зоне объекта «Укрытие» и распределение урана (кг) на участках 50 × 50 м.

Для улавливания аэрозолей используется фильтрующий материал ФПП-15-1,5 площадью около 0,8 м<sup>2</sup>, который экспонируют две недели. Материал размещают на сетчатом барабане, который располагается на высоте 1 м от земли и защищенном козырьком от прямого попадания дождя и снега.

Можно указать три основных источника, формирующих аэрозольную обстановку на промплощадке объекта «Укрытие»:

ветровой подъем пыли с поверхности грунта, дорог, растительности, зданий и сооружений, находящихся на промплощадке или вблизи нее, а также глобальные выпадения радиоактивных аэрозолей из атмосферы;

земляные и строительные работы на промплощадке и движение транспорта;

эксплуатация объекта «Укрытие», включая вынос аэрозолей при производственной деятельности и вследствие воздухообмена внутренних помещений с внешней средой.

Первый из указанных источников – природный, второй и третий – техногенные.

Мощность первого источника определяется количеством, дисперсностью и переносом радиоактивных аэрозолей в свободной атмосфере, а также подъемом пыли с подстилающей поверхности под действием ветра с учетом характера грунта, плотности его загрязнения радионуклидами, растительности, увлажненности почвы, инсоляции и т.д.

Исследования показали, что средние скорости ветра более 3 – 4 м/с и порывы более 7–8 м/с приводят к увеличению концентраций радиоактивных аэрозолей в приземном слое воздуха на промплощадке ЧАЭС и, в частности, в локальной зоне объекта «Укрытие».

Мощность второго источника зависит от вида и интенсивности работ, проводимых на промплощадке, загрязненности грунта радиоактивными веществами, скорости и частоты движения транспорта, применения средств пылеподавления и т.д.

Мощность третьего источника связана с производственной деятельностью внутри объекта «Укрытие».

Динамика среднегодовых концентраций аэрозолей-носителей суммы бета-излучающих нуклидов в 1993 – 2010 гг. представлена на рис. 3.2.2.

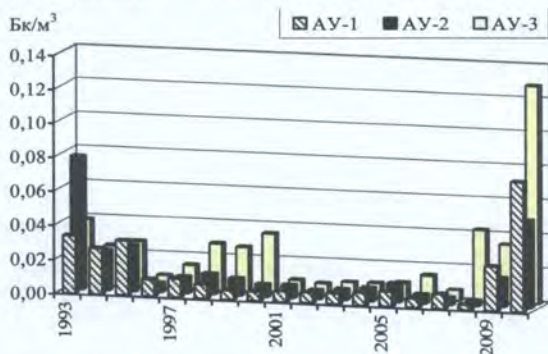


Рис. 3.2.2. Среднегодовые концентрации аэрозолей в районах северной (AY-1), северо-западной (AY-2) и южной (AY-3) установок в 1993 – 2010 гг.

Поскольку к 1993 г. уже практически исчезли продукты Чернобыльской аварии с периодами полураспада менее 300 сут, в  $\Sigma\beta$  включены только  $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{241}\text{Pu}$ .

Как видно на рис. 3.2.2, происходило систематическое уменьшение в воздухе  $\Sigma\beta$ . Наиболее резкий спад примерно в три раза произошел за 94



период 1993 – 1995 гг. В последующие 13 лет в районах расположения АУ-1 и АУ-2 концентрации не превышали  $0,01 \text{ Бк/м}^3$  и не опускались ниже  $0,005 \text{ Бк/м}^3$ . За семь лет с декабря 1992 г. концентрация аэрозолей  $^{137}\text{Cs}$  снизилась примерно в пять раз. Это намного превосходит убыль за счет радиоактивного распада, поскольку  $^{137}\text{Cs}$  имеет  $T_{1/2} = 30,2$  года.

Причина резкого (особенно в первые годы после аварии), а затем замедленного уменьшения содержания в воздухе локальной зоны аэрозолей  $^{137}\text{Cs}$  и других долгоживущих радионуклидов, в частности изотопов плутония, связана с природно-техногенными факторами. Это – заглубление продуктов аварии в почву, дезактивация территории промплощадки, ее озеленение, проведение пылеподавления при строительных и монтажных работах и др. В то же время более быстрое, чем по расчету для  $T_{1/2} = 30,2$  года, уменьшение содержания количества  $^{137}\text{Cs}$  в воздухе свидетельствует, что вклад выбросов из объекта «Укрытие» в аэрозольную обстановку в локальной зоне незначительный.

Более сложная динамика наблюдалась в районе установки АУ-3. Здесь после спада в 1993 - 1995 гг. концентрация радиоаэрозолей вновь увеличилась в 1998 - 2000 гг. до  $0,03 \text{ Бк/м}^3$ . Затем в 2001 г. она упала до  $0,005 - 0,007 \text{ Бк/м}^3$  и оставалась на этом уровне, характерном также для районов расположения установок АУ-1 и АУ-2, в течение семи лет. Однако в 2008 г. в районе АУ-3 произошел резкий подъем концентрации до  $0,06 \text{ Бк/м}^3$ . Это величина оказалась максимальной за 15 предыдущих лет. Более высокая концентрация около  $0,08 \text{ Бк/м}^3$ , как следует из рис. 3.2.2, имела только в 1993 г. в районе АУ-2. Увеличение загрязнения воздуха на юге локальной зоны в указанный период вызвано пылеобразованием и пылеподъемом при проведении работ по демонтажу бермы южной пионерной стены. Демонтаж проводился в рамках мероприятий по планировке территории стройплощадки для НБК.

В 2009 - 2010 гг. в результате проведения интенсивных земляных работ для строительства северной и южной лент фундамента НБК концентрация аэрозолей-носителей продуктов Чернобыльской аварии существенно возросла практически на всей территории локальной зоны объекта «Укрытие».

Существуют противоречивые мнения относительно того, сказываются или нет выбросы из объекта «Укрытие» на концентрации радиоактивных аэрозолей в локальной зоне. Авторы публикаций [2, 3] считают, что работы в помещениях объекта «Укрытие» и выбросы из него радиоактивных аэрозолей, как через проемы в стенах и крыше, так и через вентиляционную трубу ВТ-2, мало влияют на состав и концентрацию аэрозольных веществ в локальной зоне объекта. В то же время факты свидетельствуют, что выбросы из объекта «Укрытие» детектируются в

локальной зоне. Подтверждением того, что выбросы радиоактивных аэрозолей из объекта «Укрытие», в частности через трубу ВТ-2, сказываются на радиационной обстановке локальной зоны и ближайших районов вокруг ЧАЭС, является неоднократное обнаружение в 1998 – 2000 гг. в фильтрах с АУ-1 – АУ-3 коррозионных аэрозолей с наведенной активностью ( $^{24}\text{Na}$ ,  $^{51}\text{Cr}$ ,  $^{54}\text{Mn}$ ,  $^{59}\text{Fe}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ), аэрозолей  $^{131}\text{I}$ ,  $^{133}\text{I}$ , а также  $^{95}\text{Zr}$ ,  $^{95}\text{Nb}$ ,  $^{99}\text{Mo}$  и др. Безусловно, эти продукты принадлежали действовавшему в то время 3-му энергоблоку, но пути их поступления в приземный слой атмосферы были аналогичны (через ВТ-2) выбросам из объекта «Укрытие».

Противоречивые мнения относительно того, сказываются или нет выбросы из объекта «Укрытие» на концентрации радиоактивных аэрозолей в локальной зоне, можно примирить, если говорить о доле веществ, достигающих интересующей точки и вносящих вклад в существующую обстановку.

Для идентификации радиоактивных аэрозолей и определения источников их генерации важное значение имеет соотношение радионуклидов. Как правило, отношения  $^{137}\text{Cs}/^{241}\text{Am}$  находились в диапазоне 50 – 70. Эти величины характерны для ядерного топлива с выгоранием 11 Вт сут/кг урана [5], выброшенного при взрыве реактора. Таким образом, радиоаэрозольная обстановка в локальной зоне определяется топливными частицами. Именно они выпали у стен 4-го энергоблока и на площадке при аварии 26 апреля 1986 г.

### 3.3. Жидкие радиоактивные отходы объекта «Укрытие»

Одним из основных источников радиационной опасности в объекте «Укрытие» являются жидкие радиоактивные отходы (ЖРО), локализованные на нижних отметках. Вода, поступающая в объект «Укрытие» в виде атмосферных осадков, конденсата и пылеподавляющих растворов, по мере движения от верхних отметок к помещениям на нижних отметках объекта «Укрытие» омывает скопления ТСМ и загрязненные поверхности конструкционных материалов. В результате этих процессов образуются высокоактивные щелочно-карбонатные растворы, фактически представляющие собой жидкие РАО [6-11]. Протечки ЖРО образуют постоянные и временные скопления ЖРО на нижних отметках блока. Установлено, что между многими скоплениями ЖРО существует гидравлические связи.

Вода влияет на состояние ядерной безопасности, приводя к изменению размножающих систем «ТСМ + вода». Вода при взаимодействии с ТСМ растворяет и переносит уран и радионуклиды, которые в итоге могут попасть в окружающую среду.



Северный поток ЖРО, расход которого составляет порядка 700 - 900 м<sup>3</sup>/год, проходит через помещение 001/3, где локализовано наиболее крупное скопление ЖРО (рис. 3.3.1, точка 30). Расчетный объем ЖРО в нем составляет ~ 270 м<sup>3</sup>. В этом помещении собираются многочисленные протечки из центральной и северной частей блоков Б и ВСРО, а также со стороны каскадной стены. Далее поток ЖРО объекта «Укрытие» просачивается через разделительную стену в помещения ВСРО 3-го блока и в конечном итоге поступает в приямок помещения 0005. По мере заполнения приямка ЖРО откачиваются в химцех ЧАЭС для временного хранения и переработки. Фактически северный поток ЖРО представляет собой естественным образом «усредненные» протечки из центральной и северной части блоков Б и ВСРО.

В помещение 001/3 попадают организованные протечки из трубы, выведенной из ПРК (т.о. 20) и со стороны каскадной стены из скважины 2.1.116 (т.о. 8) (табл. 3.3.1). Как следует из таблицы, объем годового поступления воды из контролируемых источников в помещение 001/3 не превышает 10-15 % объема ее утечки через разделительную стену в помещения 3-го блока ЧАЭС.

**Таблица 3.3.1. Источники поступления и утечки ЖРО в помещении 001/3 объекта «Укрытие»**

Поступление, м <sup>3</sup> /год		Расход, м <sup>3</sup> /год	
Источник	Измеренное значение [12]	Направление утечки	Измеренное значение
Труба из ПРК (т.о. 20)	2,3*	Система сбора трапных вод в помещениях ВСРО 3-го энергоблока	740 ± 160 [10] 880 ± 210 [13]
Скважина 2.1.116 (т.о. 8)	93*		
Сумма	95		

\* Среднее за 2006 – 2010 гг.

Основное количество воды в помещение 001/3 поступает из неконтролируемых источников. Процесс перетока в основном наблюдается летом и осенью, когда в объект «Укрытие» поступает вода из всех возможных источников (атмосферные осадки, конденсат, технологические растворы). Продолжительность периода перетока и, следовательно, объемы высокоактивных протечек в значительной степени зависят от количества атмосферных осадков в летний период.

Натурные эксперименты по вводу и отслеживанию трассера (индикатора) водопотоков в помещениях 4-го блока показали, что в помещение 001/3 через систему трапных вод и коллекторный трубопровод поступает

большая часть ЖРО, образующихся в объекте «Укрытие», в том числе, из его центральной и юго-восточной частей [10]. Динамика этих поступлений является неконтролируемой. Поэтому радионуклидный и химический состав этого скопления отражает усредненный состав отдельных протечек ЖРО с учетом их массовых долей.

Юго-восточный поток ЖРО проходит через помещения 017/2 и 061/2 и образует в южной части этих помещений достаточно крупные скопления (рис.3.3.1, точка 18). Уровень воды в помещении 017/2 практически постоянный – при интенсивном притоке избыток воды перетекает через порог в помещение 018/2, где расположены трапы спецканализации, или просачивается в помещение 025/2. В помещении 061/2 уровень воды зависит от сезона – в период конденсации уровень повышается, в сухой период в результате испарения понижается.

Как было сказано выше, поток ЖРО из помещения 017/2 через дверные проемы попадает в помещение 018/2, а также в помещение 025/2 → 0025 → 071. В помещении 018/2 согласно проектной документации находится сливное отверстие системы сбора трапных вод. Поскольку в самом помещении на протяжении многих лет объем воды остается относительно небольшим и не имеет тенденции к накоплению, то возникает вопрос о направлении утечки из этого помещения. Для ответа на него в 2008 г. был проведен эксперимент по вводу и отслеживанию трассера (индикатора) водного потока. В качестве трассера был использован бромид натрия (NaBr).

В водное скопление помещения 017/2 (т. 18) 09.04.2008 г. был введен бромид натрия в количестве 10 кг (7,77 кг по Br<sup>-</sup>). Объем скопления постоянный и составляет около 5 м<sup>3</sup>. На рис. 3.3.2 представлена динамика изменения концентрации трассера в контролируемых помещениях, определенная в работе [12].

Дальнейшие наблюдения показали, что концентрация бромидов стала нарастать в водном скоплении помещения 001/3, где предварительно была определена его фоновая концентрация (0,3 мг/л). Концентрация бромидов в ЖРО помещения 001/3 достигла максимального значения в начале сентября (3,4 мг/л), а затем уменьшилась в два раза.

В помещении 017/2 концентрация трассера до начала сентября снижалась. В результате выпадения значительного количества осадков в сентябре в помещение стали поступать быстрые слабоминерализованные протечки. Это привело к понижению солевого фона водного скопления и, как следствие, переходу в растворенное состояние части нерастворившегося, и находившегося в виде осадка, бромидов натрия. В результате в октябре – ноябре концентрация трассера в ЖРО помещении 017/2 несколько возросла.



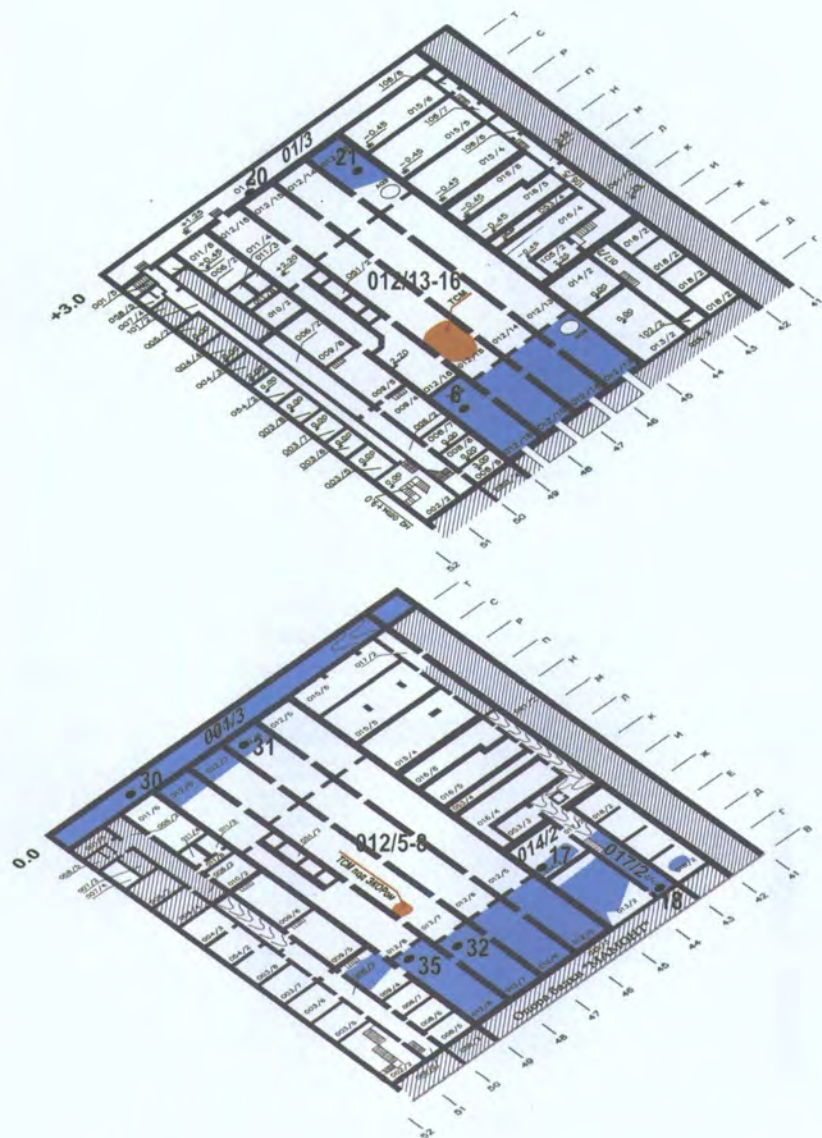


Рис. 3.3.1. Скопления ЖРО объекта «Укрытие» и точки отбора проб воды в помещениях ББ (отметки  $-0.65$  и  $+2,2$  м) и блока ВСРО (отметка  $-2.6$  м).

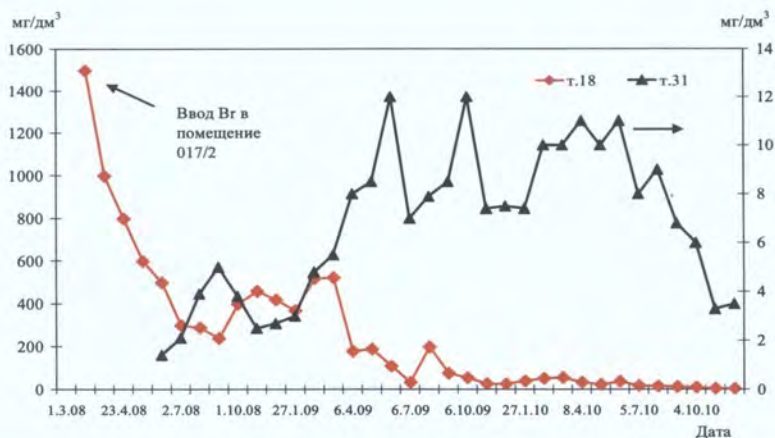


Рис. 3.3.2. Динамика концентрации брома в помещении 017/2 (т.о. 18) и в помещении 012/6 (т.о. 31).

Полученные результаты позволяют сделать вывод, что вода из помещения 017/2 перетекает в помещение 018/2 и через систему трапных вод поступает в коллекторный трубопровод, находящийся в помещении 001/3 (т. 30) (согласно проектной документации), а из него - в помещение 001/3.

Схема основных водных потоков в северной и южной частях объекта «Укрытие» показана на рис. 3.3.3.

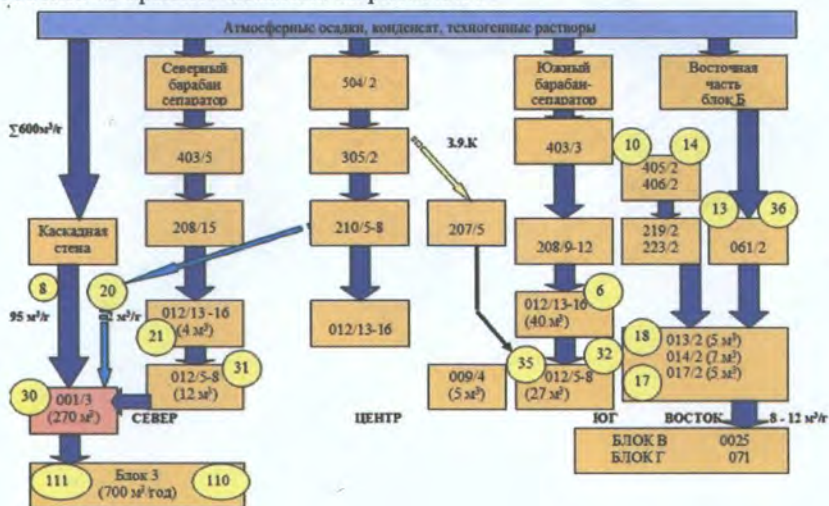


Рис. 3.3.3. Схема основных водных потоков в объекте «Укрытие».



**Радионуклидный и химический состав ЖРО.** Радионуклидный состав ЖРО на нижних отметках блока формируется в результате взаимодействия атмосферных осадков, конденсационной влаги и техногенных растворов со следующими модификациями ядерного топлива, образовавшимися во время аварии: «горячие» частицы конденсационного типа; диспергированное топливо в виде  $\text{UO}_2$  и  $\text{U}_3\text{O}_8$ ; ЛТСМ. «Горячие» частицы аэрозольно-конденсационного типа в значительной степени определяют уровень поверхностного загрязнения внутренних помещений объекта «Укрытие». В результате растворения этих частиц происходит загрязнение воды  $^{137}\text{Cs}$ . Основным источником загрязнения «блочной» воды ураном, трансурановыми элементами (ТУЭ) и  $^{90}\text{Sr}$  являются окисленные топливные частицы ( $\text{U}_3\text{O}_8$ ) и ЛТСМ [6].

Атмосферные осадки, техногенные растворы и конденсат в процессе движения от верхних отметок к нижним выщелачивают наиболее растворимые компоненты бетона – карбонаты, бикарбонаты, хлориды и сульфаты щелочных металлов. Тяжелые металлы переходят в раствор за счет коррозии металлоконструкций. В результате этих процессов и происходит формирование радионуклидного, химического и фазового составов «блочной» воды. Среднее содержание макрокомпонентов представлено в табл. 3.3.2, а усредненный радионуклидный состав основных водных скоплений и потоков объекта «Укрытие» приведен в табл. 3.3.3. Методики определения содержания урана и радионуклидов и более подробные данные приведены в работах [14, 15]. Часть этой активности концентрируется в илистых отложениях и по мере высыхания в летне-осенний период представляет угрозу как источник аэрозолей.

**Таблица 3.3.2. Средние объемы и концентрации макрокомпонентов в основных скоплениях ЖРО объекта «Укрытие».**

Номер точки	Отметка, м	№ помещения	Объем, м <sup>3</sup>	рН	Концентрация компонента, мг/л		
					$\text{HPO}_4^{2-}$	$\text{CO}_3^{2-}$	$\text{HCO}_3^-$
6	+ 2,2	012/1	27	9,1	0,48	50	560
10	+ 12,5	318/2	0,2	9,0	1,8	80	310
13	+ 6,0	061/2	0,02	8,1	0,11	---	170
14	+12,5	406/2	0,03	8,9	8,4	80	790
17	0,0	014/2	3	8,8	1,8	50	570
18	0,0	017/2	5	9,2	1,6	80	780
20	+ 1,2	01/3	-	8,8	1,0	70	610
21	+ 2,2	012/13	4	9,5	1,1	450	1740
30	- 2,6	001/3	270	9,0	0,92	50	380
31	- 0,65	012/5	5,4	9,1	2,2	130	690

Продолжение табл. 3.3.2

Номер точки	Отметка, м	Номер помещения	Объем, м <sup>3</sup>	рН	Концентрация компонента, мг/л		
					НРО <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	СО <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	НСО <sub>3</sub> <sup>-</sup>
32	- 0,65	012/7	27	8,7	1,0	40	390
35	- 0,65	012/8	-	8,7	0,8	50	440
36	+ 6,0	061/2	7	8,1	0,25	---	150

**Таблица 3.3.3. Среднегодовые объемные активности радионуклидов (Бк/м<sup>3</sup>) и среднегодовая концентрация урана (г/м<sup>3</sup>) в жидких радиоактивных отходах объекта «Укрытие»**

Помещение (точка отбора)	U	<sup>90</sup> Sr	<sup>137</sup> Cs	<sup>238</sup> Pu	<sup>239+240</sup> Pu	<sup>241</sup> Am	<sup>244</sup> Cm
012/16 (6)	32	6,4 · 10 <sup>9</sup>	3,6 · 10 <sup>10</sup>	2,5 · 10 <sup>6</sup>	4,7 · 10 <sup>6</sup>	4,4 · 10 <sup>7</sup>	1,7 · 10 <sup>6</sup>
318/2 (10)	0,41	6,6 · 10 <sup>6</sup>	5,6 · 10 <sup>8</sup>	1,9 · 10 <sup>5</sup>	4,5 · 10 <sup>5</sup>	1,2 · 10 <sup>6</sup>	3,2 · 10 <sup>4</sup>
061/2 (13)	1,5	1,1 · 10 <sup>9</sup>	8,9 · 10 <sup>9</sup>	7,2 · 10 <sup>4</sup>	1,6 · 10 <sup>5</sup>	1,8 · 10 <sup>6</sup>	4,8 · 10 <sup>4</sup>
406/2 (14)	0,52	7,9 · 10 <sup>6</sup>	2,1 · 10 <sup>8</sup>	6,3 · 10 <sup>5</sup>	1,5 · 10 <sup>6</sup>	3,8 · 10 <sup>6</sup>	9,9 · 10 <sup>4</sup>
014/2 (17)	3,6	3,3 · 10 <sup>8</sup>	2,2 · 10 <sup>9</sup>	2,0 · 10 <sup>5</sup>	4,5 · 10 <sup>5</sup>	2,1 · 10 <sup>6</sup>	5,3 · 10 <sup>4</sup>
017/2 (18)	0,62	9,8 · 10 <sup>7</sup>	1,4 · 10 <sup>9</sup>	1,9 · 10 <sup>5</sup>	4,7 · 10 <sup>5</sup>	2,1 · 10 <sup>6</sup>	5,1 · 10 <sup>4</sup>
01/3 (20)	34	8,7 · 10 <sup>9</sup>	5,8 · 10 <sup>10</sup>	3,1 · 10 <sup>6</sup>	6,5 · 10 <sup>6</sup>	7,3 · 10 <sup>7</sup>	2,4 · 10 <sup>6</sup>
012/13 (21)	1,4	4,8 · 10 <sup>7</sup>	6,8 · 10 <sup>9</sup>	5,7 · 10 <sup>4</sup>	1,4 · 10 <sup>5</sup>	1,4 · 10 <sup>6</sup>	4,8 · 10 <sup>4</sup>
001/3 (30)	7,7	1,8 · 10 <sup>9</sup>	7,4 · 10 <sup>9</sup>	7,5 · 10 <sup>5</sup>	1,5 · 10 <sup>6</sup>	2,1 · 10 <sup>7</sup>	8,2 · 10 <sup>5</sup>
012/5 (31)	38	6,5 · 10 <sup>9</sup>	4,2 · 10 <sup>10</sup>	1,8 · 10 <sup>6</sup>	3,5 · 10 <sup>6</sup>	4,5 · 10 <sup>7</sup>	1,8 · 10 <sup>6</sup>
012/7 (32)	28	11 · 10 <sup>9</sup>	3,5 · 10 <sup>10</sup>	3,9 · 10 <sup>6</sup>	7,7 · 10 <sup>6</sup>	1,5 · 10 <sup>8</sup>	5,7 · 10 <sup>6</sup>
012/8 (35)	15	6,2 · 10 <sup>9</sup>	2,0 · 10 <sup>10</sup>	1,3 · 10 <sup>6</sup>	2,7 · 10 <sup>6</sup>	2,9 · 10 <sup>7</sup>	1,5 · 10 <sup>6</sup>
061/2 (36)	1,1	6,4 · 10 <sup>8</sup>	3,8 · 10 <sup>9</sup>	2,5 · 10 <sup>4</sup>	5,2 · 10 <sup>4</sup>	5,5 · 10 <sup>5</sup>	1,4 · 10 <sup>4</sup>

Величина рН воды изменяется в пределах от 8,0 до 9,5, вода имеет щелочную реакцию. При данных значениях рН в воде преобладают ионы



$\text{HCO}_3^-$  их концентрация в среднем составляет  $850 \text{ мг/дм}^3$ . Концентрация фосфат-ионов за исключением точки 14 не превышает  $3 \text{ мг/дм}^3$ . Содержание урана в зависимости от точки отбора изменяется от  $0,5$  до  $40 \text{ мг/дм}^3$ , максимальное содержание урана характерно для ЖРО бассейна-барботера (точки отбора 6, 31, 32). Наибольшее содержание карбонатов и гидрокарбонатов найдено в водном скоплении помещения 012/13 (т. 21). Следует отметить, что макрокомпонентный состав ЖРО объекта «Укрытие» во многих водных скоплениях, кроме выше приведенных компонентов, в значительной степени определяется содержанием реагентов пылеподавляющих составов, содержащих большое количество органических веществ [11].

Большая часть ЖРО, образовавшихся в северной части блока Б, аккумулируется в помещении 001/3. Максимальная суммарная объемная активность  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в этом наиболее крупном водном скоплении за последние 5 лет составила в 2010 г.  $2,3 \cdot 10^{10} \text{ Бк/м}^3$ . Максимальная объемная активность ( $^{240}\text{Pu} + ^{239}\text{Pu} + ^{238}\text{Pu}$ ) -  $5,6 \cdot 10^6 \text{ Бк/м}^3$ ,  $^{241}\text{Am}$  -  $4,6 \times 10^7 \text{ Бк/м}^3$  и максимальная концентрация урана  $15 \text{ г/м}^3$  наблюдались в 2008 г.

Динамика изменения концентрации урана и объемных активностей радионуклидов в ЖРО помещения 001/3 показана на рис. 3.3.4, 3.3.5, 3.3.7 и 3.3.8.

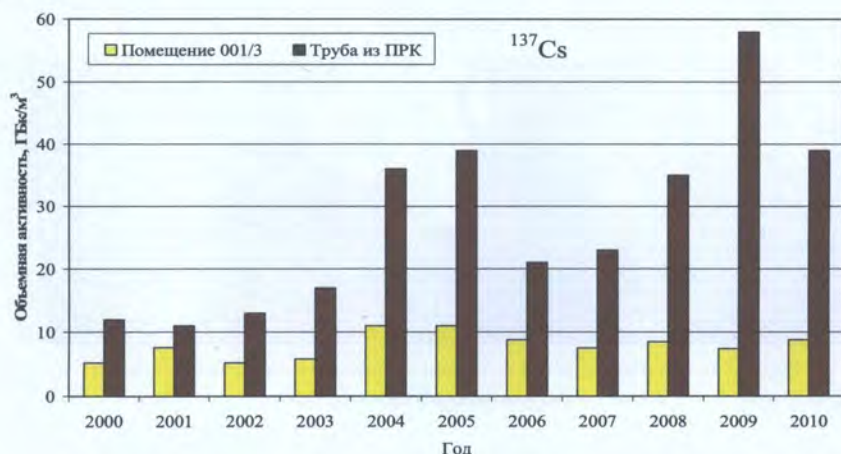


Рис. 3.3.4. Динамика среднегодовой объемной активности  $^{137}\text{Cs}$  в ЖРО помещения 001/3 и 01/3.

Радионуклидный и химический составы этого водного скопления формируются в результате поступления низкоактивных протечек со

стороны каскадной стены и высокоактивных протечек из северной части ББ. Поэтому было бы целесообразно организовать локальную очистку высокоактивных ЖРО до их поступления в помещение 001/3.

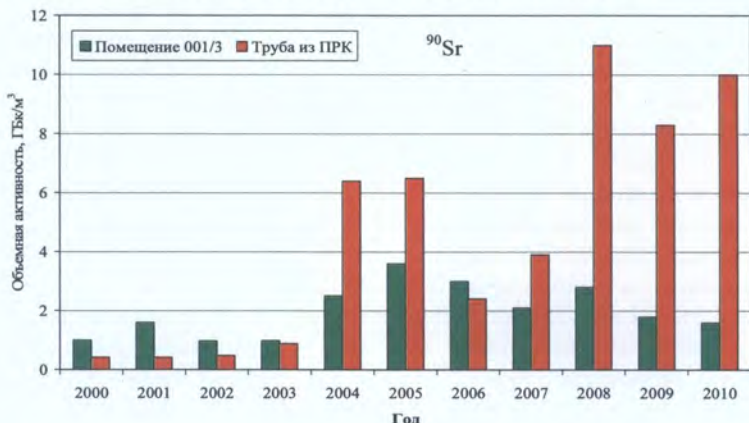


Рис. 3.3.5. Динамика среднегодовой объемной активности  $^{90}\text{Sr}$  в ЖРО помещения 001/3 и 01/3.

На фото рис. 3.3.6 показано текущее состояние водных скоплений в помещениях на нижних отметках объекта «Укрытие».



Рис. 3.3.6. Скопление ЖРО в юго-восточной части объекта «Укрытие» (а). Скопление ЖРО в южной части бассейна-барбатора (б).

На рис. 3.3.7 и 3.3.8 показаны среднегодовые концентрации урана и удельные активности  $^{238}\text{Pu} + ^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu}$  в воде, поступающей в помещение 001/3 из трубы, выведенной из ПРК. Как следует из рис. 3.3.7 и 3.3.8 после резкого увеличения среднегодовой концентрации урана и удельной активности плутония в 2004 г. в последующие годы концентрация урана в воде, поступающей из трубы ПРК (т. 20) и в ЖРО помещения 001/3



стабилизировалась на уровне 20-40 и 7–10 г/м<sup>3</sup> соответственно. Вероятно, это связано с деградацией ЛТСМ и как следствие увеличением растворимости и выщелачивания радионуклидов и урана водными протечками.

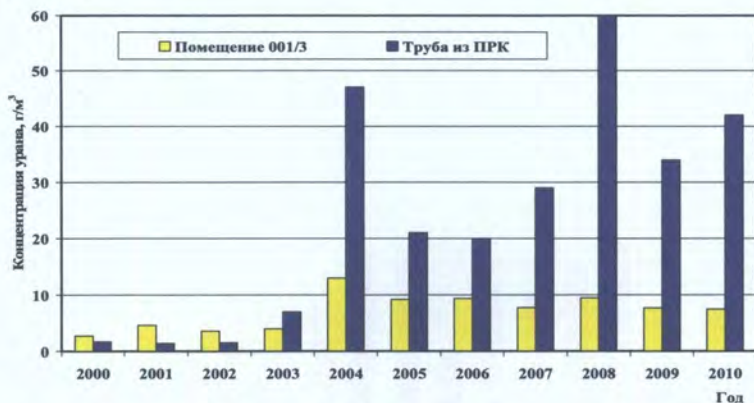


Рис. 3.3.7. Среднегодовые концентрации урана в ЖРО.

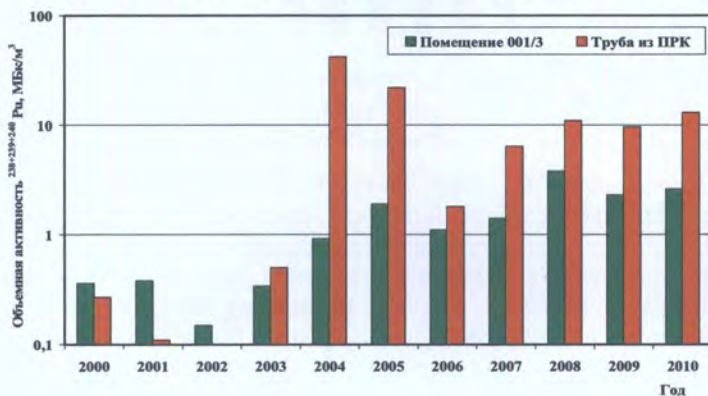


Рис. 3.3.8. Среднегодовые удельные активности <sup>238</sup>Pu, <sup>239</sup>Pu, <sup>240</sup>Pu.

Одной из важнейших характеристик радиоактивных отходов является содержание делящихся материалов и, в первую очередь, изотопов <sup>235</sup>U. Массовые доли изотопов урана в ЖРО помещения 001/3: <sup>234</sup>U - 0,016; <sup>235</sup>U - 1,07; <sup>236</sup>U - 0,17 и <sup>238</sup>U - 98,73 %, что соответствует выгоранию топлива примерно 11,8 МВт сут / кг урана.

Принимая общий объем ЖРО в помещении 001/3 равный 270 м<sup>3</sup> можно оценить запас урана и радионуклидов в 2009 г. Количество урана

составляет  $2,08 \pm 0,65$  кг ( $^{235}\text{U} - 22 \pm 7$  г),  $^{90}\text{Sr} - (4,9 \pm 1,4) \cdot 10^{11}$ ,  $^{137}\text{Cs} - (2,0 \pm 0,3) \cdot 10^{12}$ , ТУЭ –  $(6,5 \pm 3,4) \cdot 10^9$  Бк.

Изотопные соотношения основных долгоживущих радионуклидов ТУЭ характеризуют отдельные скопления ЖРО и позволяют отслеживать гидравлическую связь между различными помещениями объекта "Укрытие". Отношение активности  $^{238}\text{Pu}$  к активности  $^{239+240}\text{Pu}$  в воде, отобранной в различных помещениях объекта "Укрытие" показано на рис. 3.3.9 (средние значения для 4 – 12 проб в зависимости от периодичности отбора проб и расчетное значение для топлива 4-го блока со средним выгоранием).

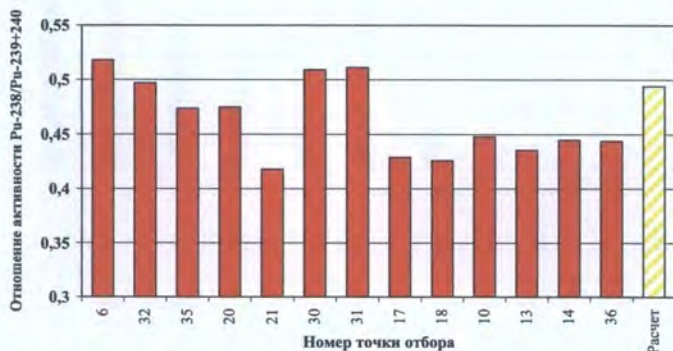


Рис.3.3.9. Отношение активности  $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$  в основных скоплениях ЖРО объекта «Укрытие».

Отношение активности  $^{238}\text{Pu}$  к активности  $^{239+240}\text{Pu}$  в воде, отобранной из различных помещений объекта «Укрытие», изменяется от 0,41 до 0,52, что свидетельствует о различном выгорании топлива, растворенного в водных скоплениях. Значимых изменений относительного содержания изотопов плутония в 2009 - 2010 г.г. не наблюдается.

В водных скоплениях на первом этаже бассейна-барботера (помещение 012/5 – 8, точки отбора 31 и 32) и южной части второго этажа (помещение 012/16, точка отбора 6) и в помещениях 001/3 (точка отбора 30) относительное содержание  $^{238}\text{Pu}$  выше, чем в «среднем» топливе. Самое низкое значение отношений активности  $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$  (0,41) в течение последних лет наблюдается в северной части 2-го этажа бассейна-барботера (помещение 012/13, точка отбора 21).

Водные потоки и скопления ЖРО с различными значениями отношения активностей  $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$  показаны на рис. 3.3.10.

На рис. 3.3.11 показаны отношения активностей  $^{241}\text{Am}/^{239+240}\text{Pu}$  в контролируемых скоплениях ЖРО в период 2006 – 2010 гг. Как следует из рис. 3.3.11, практически во всех скоплениях ЖРО отношение



$^{241}\text{Am}/^{239+240}\text{Pu}$  значительно выше расчетного значения для облученного топлива 4-го блока ЧАЭС, равного 1,69 на 01.07.2010 г. В помещениях 012/5-8 отношение  $^{241}\text{Am}/^{239+240}\text{Pu}$  превышает расчетное значение почти в 10 раз. Следует отметить, что для отдельных водных скоплений и потоков характерно свое значение отношения  $^{241}\text{Am}/^{239+240}\text{Pu}$ , которое устойчиво сохранялось в течение 2006 - 2010 г.г. за исключением точки отбора 21.

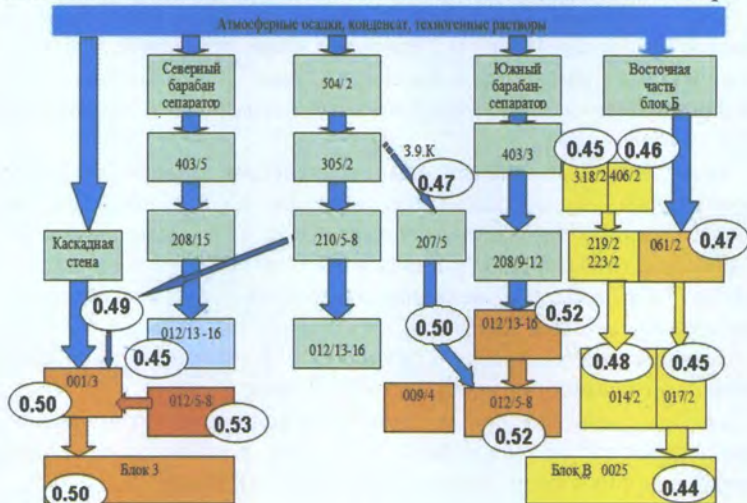


Рис. 3.3.10. Схема водных потоков и скоплений с различными значениями отношения активностей  $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$ .

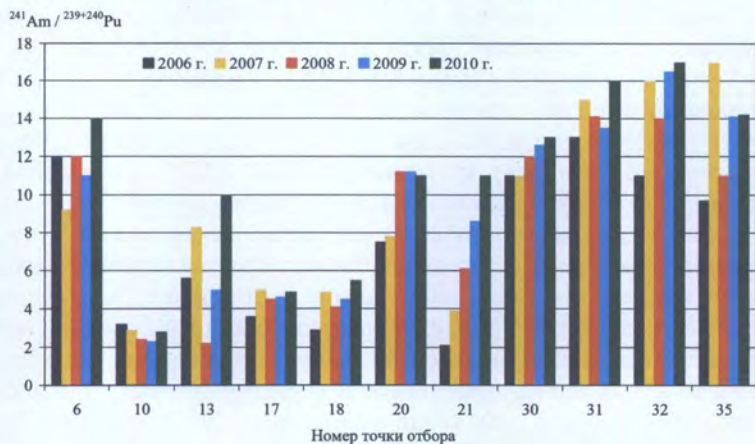


Рис. 3.3.11. Среднегодовые отношения активности  $^{241}\text{Am}/^{239+240}\text{Pu}$  в основных скоплениях ЖРО объекта «Укрытие».

В восточных и юго-восточных водных скоплениях отношение  $^{241}\text{Am}/^{239+240}\text{Pu}$  в 2–3 раза ниже, чем в северных и южных водных скоплениях. Различие в содержании плутония и америция в ЖРО относительно базового состава топлива 4-го блока обусловлено их химическими свойствами и поведением в щелочно-гидрокарбонатных растворах, каковыми являются водные скопления объекта «Укрытие».

Для отдельных скоплений и протечек ЖРО отношение между изотопами плутония  $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$  имеет свое специфическое значение. Во всех водных скоплениях отношения  $^{241}\text{Am}/^{239+240}\text{Pu}$  значительно выше расчетного значения для базового состава облученного топлива 4-го блока ЧАЭС.

Проведенный детальный анализ экспериментально определенных радионуклидных и изотопных соотношений ТУЭ в неорганизованных водных скоплениях на нижних отметках объекта «Укрытие» позволяет:

определять выгорание топлива в ЖРО и ТСМ, из которых выщелачиваются ТУЭ, поскольку величина отношения  $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$  прямо пропорциональна глубине выгорания;

выявлять гидравлическую связь между различными водными скоплениями и потоками внутри объекта «Укрытие»;

оценить роль различных процессов (гидролиз, комплексообразование) влияющих на механизмы миграции радионуклидов плутония, америция и кюрия в водных потоках объекта «Укрытие».

Показано, что концентрация альфа-излучающих нуклидов в северном потоке ЖРО объекта «Укрытие» более, чем в 50 раз превышает допустимый предел, установленный для штатной технологии переработки ЖРО Чернобыльской атомной электростанции. Основной вклад в альфа-активность (до 85 %) вносит  $^{241}\text{Am}$ .

Таким образом, ЖРО блока Б и ВСРО, перетекающие на 3-й блок, представляют серьезную проблему с точки зрения их откачки и последующей переработки по штатной технологии ЧАЭС (упаривание), поскольку не соответствуют ряду критериев приемки ЖРО в химический цех ЧАЭС по содержанию альфа-излучающих радионуклидов.

Радионуклиды внутри объекта «Укрытие» переносятся не только в растворимых формах. Исследования фазового распределения активности методом ультрафильтрации и обратного осмоса показали, что значительная доля активности ЖРО сосредоточена на мелкодисперсных частицах и коллоидах [16]. Частицы твердой фазы, попадая в водные скопления на нижних отметках блока, осаждаются и образуют донные отложения. К примеру, объем донных отложений в помещении 001/3 достигает  $100 \text{ м}^3$  с суммарной массой около 150 т [17]. При этом валовое количество  $^{239}\text{Pu}$  составляет 430 г, а  $^{235}\text{U}$  – 860 г. Их верхний слой представлен текучими



илами черного цвета с характерным запахом разлагающихся органических веществ и имеет мощность (в т.о. 30) до 0,26 м. Ниже залегает слой уплотненных донных осадков с большим содержанием песка и мощностью 0,42 м. Плотность усредненного ила после 30 суток отстаивания в лабораторных условиях составила 1,43 г/см<sup>3</sup>. Влажность ила после 30 сут отстаивания - 46,5 %. В табл. 3.3.4 представлены результаты исследования фракционного состава и удельной активности донных отложений из помещения 001/3 в пересчете на воздушно-сухую массу, отобранных в 2005 г.

**Таблица 3.3.4. Фракционное распределение активности в пробе ила из помещения 001/3**

Радионуклид	Фракционное распределение, Бк/кг				
	D <sub>част.</sub> ≥100 мкм 65,4 % мас.	D <sub>част.</sub> 10-100 мкм 30,3 % мас.	D <sub>част.</sub> 1-10 мкм 1,3 % мас.	D <sub>част.</sub> 0,1-1 мкм 1,9 % мас.	D <sub>част.</sub> 0,01-0,1 мкм 1,1 % мас.
<sup>241</sup> Am	1,7 · 10 <sup>6</sup>	4,4 · 10 <sup>6</sup>	2,1 · 10 <sup>7</sup>	9,5 · 10 <sup>7</sup>	5,6 · 10 <sup>7</sup>
<sup>60</sup> Co	1,6 · 10 <sup>5</sup>	1,6 · 10 <sup>5</sup>	-	2,4 · 10 <sup>6</sup>	1,5 · 10 <sup>6</sup>
<sup>137</sup> Cs	1,0 · 10 <sup>9</sup>	1,0 · 10 <sup>9</sup>	9,7 · 10 <sup>8</sup>	6,7 · 10 <sup>9</sup>	3,8 · 10 <sup>9</sup>
<sup>154</sup> Eu	7,0 · 10 <sup>5</sup>	1,4 · 10 <sup>6</sup>	3,9 · 10 <sup>6</sup>	3,0 · 10 <sup>7</sup>	2,0 · 10 <sup>7</sup>
<sup>238+239+240</sup> Pu	4,8 · 10 <sup>5</sup>	1,3 · 10 <sup>6</sup>	5,3 · 10 <sup>6</sup>	2,1 · 10 <sup>7</sup>	1,2 · 10 <sup>7</sup>
<sup>244</sup> Cm	6,1 · 10 <sup>4</sup>	1,8 · 10 <sup>5</sup>	1,2 · 10 <sup>6</sup>	4,6 · 10 <sup>6</sup>	2,6 · 10 <sup>6</sup>
<sup>90</sup> Sr	2,9 · 10 <sup>9</sup>	4,5 · 10 <sup>9</sup>	6,3 · 10 <sup>6</sup>	6,6 · 10 <sup>9</sup>	6,5 · 10 <sup>7</sup>
Уран, г/кг	1,9	1,1	1,0	4,2	5,8

Как следует из табл. 3.3.4, наиболее высокую удельную активность радионуклидов и концентрацию урана имеют частицы с размерами от 0,01 до 1 мкм, однако их массовая доля не превышает 3 %.

1. В результате взаимодействия «блочной» воды с конструкционными и топливосодержащими материалами внутри объекта «Укрытие» образуются потоки и скопления ЖРО, которые относят к категории среднеактивных отходов. «Блочные» воды представляют собой коллоидные щелочно-карбонатные растворы с высоким содержанием органических соединений.

2. Существует два основных направления утечки «блочных» вод за пределы объекта «Укрытие»: северное и юго-восточное. Северное направление «блочных» вод (700 - 800 м<sup>3</sup>/год) формируется в помещении 001/3 из низкоактивных протечек со стороны каскадной стены и высокоактивных протечек из бассейна-барботера и других помещений блока Б.

Потоки «блочных» вод из юго-восточной части блока Б поступают в помещения 017/2 и 018/2, а также в южную часть транспортного коридора. Интенсивность утечки из этих помещений может составить 10 - 15 м<sup>3</sup>/год.

3. Увеличение концентраций  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{238+239+240}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{244}\text{Cm}$  и делящихся элементов в «блочных» водах, наблюдаемое в последние годы, обусловлено процессом деструкции ЛТСМ с дальнейшим выщелачиванием из них радионуклидов. Эти процессы приводят к увеличению переноса и перераспределения радионуклидов по помещениям объекта «Укрытие».

### 3.4. Грунтовые воды вокруг объекта «Укрытие»

Систематический контроль загрязнения грунтовых вод в локальной зоне промплощадки объекта «Укрытие» начат в 1992 г. Ежемесячно проводился отбор и радиохимический анализ проб воды из наблюдательных скважин 1Г–6Г, расположенных в северной части локальной зоны ниже по потоку подземных вод относительно объекта «Укрытие». Кроме того, два раза в месяц измерялись уровни грунтовых вод (УГВ). Исходное расположение скважин на территории промплощадки показано на рис. 3.4.1.

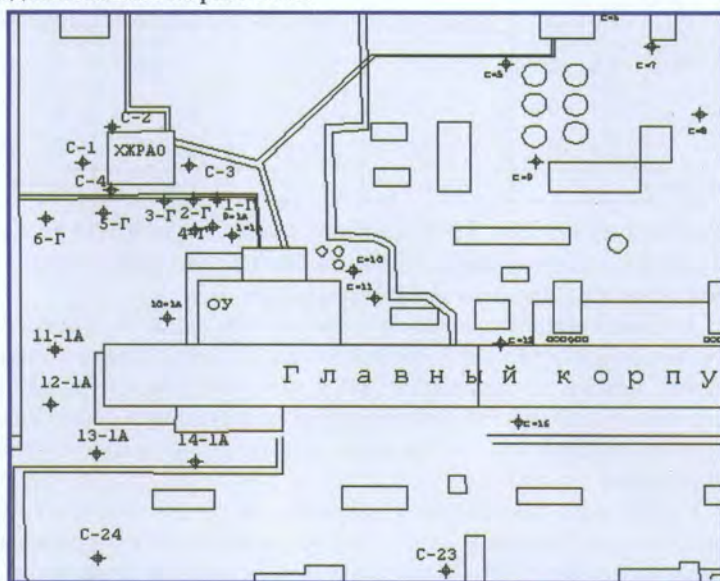


Рис. 3.4.1. Исходное расположение наблюдательных скважин на территории промплощадки объекта «Укрытие».



Скважины 1Г, 2Г и 4Г находятся в русле потока грунтовой воды, проходящего под помещением 001/3 объекта «Укрытие». В случае утечки ЖРО из помещений объекта «Укрытие», например из 001/3, концентрация  $^{90}\text{Sr}$ , а позднее и  $^{137}\text{Cs}$  в пробах, отобранных из этих скважин, должна возрасти.

Скважины 5Г и 6Г находятся вне потока грунтовой воды, проходящего под блоком ВСРО, поэтому предполагается, что на них не должны влиять утечки ЖРО из помещений объекта «Укрытие». Грунтовые воды этих скважин могут быть загрязнены лишь при переносе радионуклидов из «активного слоя» или при бурении.

Результаты средней годовой объемной активности  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в скважине 5Г представлены на рис. 3.4.2. Видно, что концентрация  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в грунтовых водах уменьшается, вероятнее всего, за счет естественного распада и выщелачивания из топливных частиц, попавших в водоносный горизонт при бурении скважины.

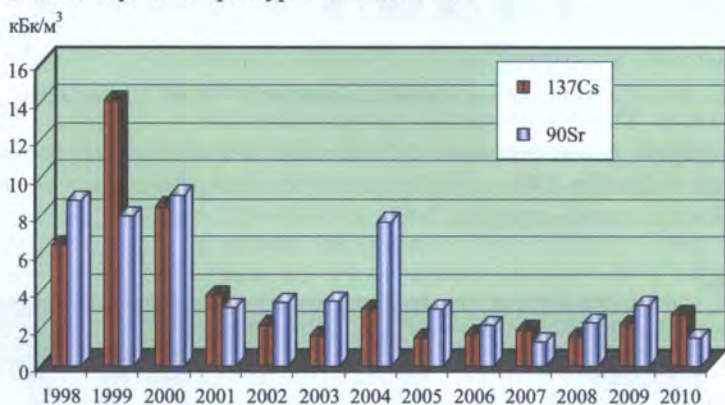


Рис. 3.4.2. Средняя годовая объемная активность  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в скважине 5Г.

Одним из маркеров, указывающим на вынос ЖРО из водных скопление объекта «Укрытие», является  $^{90}\text{Sr}$ . Миграция  $^{90}\text{Sr}$  в водоносном горизонте определяется в основном скоростью фильтрации грунтового потока и сорбционной способностью водовмещающих пород, а также формами нахождения  $^{90}\text{Sr}$  в грунтовых водах.

Выделяются два участка с особенно высоким содержанием  $^{90}\text{Sr}$  в грунтовых водах на севере локальной зоны. Первый – это район скважины 3-Г, находящейся вне подземных водных потоков, проходящих под объектом «Укрытие». В скважине 3Г зафиксирована максимальная концентрация  $^{90}\text{Sr}$  равная 2000 кБк/м³ (11.07.2006 г.), а среднее значение за период наблюдений с 1998 по 2010 г. равно 800 кБк/м³.

На рис. 3.4.3 представлена средняя годовая объемная активность  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в скважине 3Г. Концентрация  $^{137}\text{Cs}$  практически неизменна в пределах 3,4 - 9,3 кБк/м<sup>3</sup>.

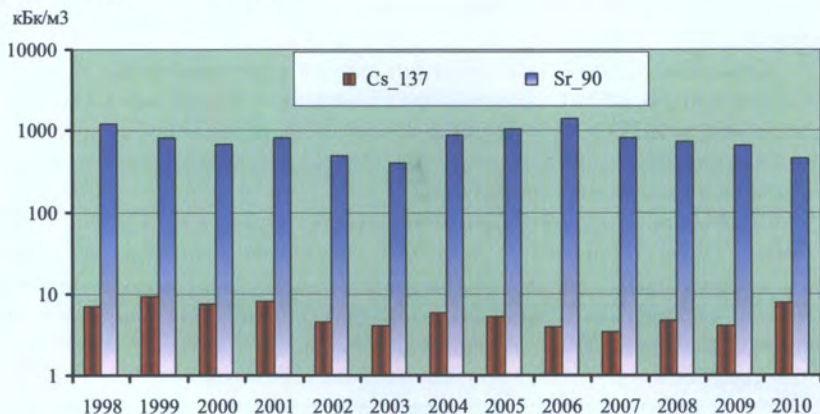


Рис. 3.4.3. Средняя годовая объемная активность  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в скважине 3Г.

Второй, район скважины 4-Г ближайшей к объекту «Укрытие», где начиная с декабря 2003 г., наблюдался рост концентрации  $^{90}\text{Sr}$ , чередующийся с ее снижением (рис. 3.4.4).

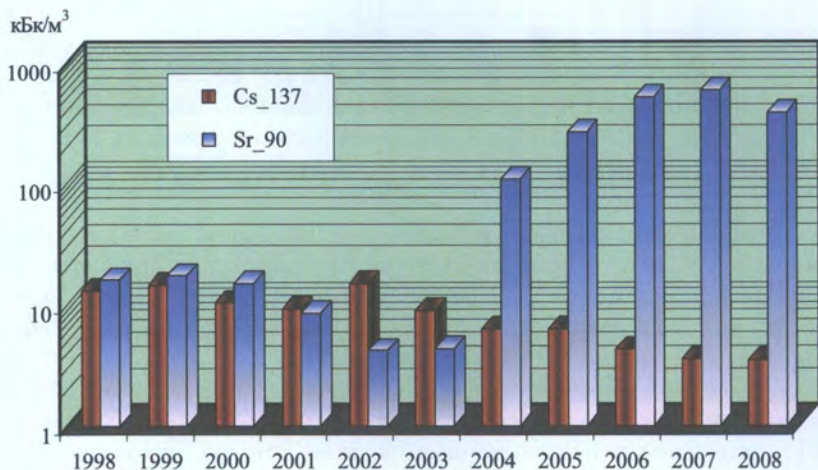


Рис. 3.4.4. Средняя годовая объемная активность  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в скважине 4Г.



В январе 2005 г. содержание стронция в указанной скважине превысило контрольную концентрацию ( $200 \text{ кБк/м}^3$ ) более чем в два раза, достигнув  $420 \text{ кБк/м}^3$ . Однако наблюдения в феврале показали снова понижение концентрации стронция. Так, в пробе, отобранной 2 февраля, объемная активность  $^{90}\text{Sr}$  была  $160 \text{ кБк/м}^3$ , а 10 февраля -  $80 \text{ кБк/м}^3$ . В результате в 2006 г. был установлен новый уровень контрольной концентрации  $1500 \text{ кБк/м}^3$  [18]. Максимальные значения  $1,0 \text{ МБк/м}^3$  фиксировались в декабре 2006 г. и феврале 2007 г., затем концентрация  $^{90}\text{Sr}$  с лета 2008 г. стабилизировался на уровне  $200 \text{ кБк/м}^3$ . При этом среднегодовая концентрация  $^{137}\text{Cs}$  уменьшается с  $15 \text{ кБк/м}^3$  в 1999 г. до  $3,5 \text{ кБк/м}^3$  в 2008 г.

Характер изменений концентрации стронция на протяжении 2003 - 2008 гг. не позволяет с полной уверенностью утверждать, что происходит утечка ЖРО из объекта «Укрытие» в геологическую среду [19].

Содержание радионуклидов в скважинах 1Г-5Г в 2010 г. не превышало значений контрольных концентраций, установленных [20] для грунтовых вод локальной зоны. Максимальная концентрация  $^{90}\text{Sr}$  наблюдалась в скважине 3Г и составила  $2 \text{ МБк/м}^3$ , что не превысила контрольной концентрации для этой скважины ( $2200 \text{ кБк/м}^3$ ).

К сожалению, в настоящее время скважины 4Г и 6Г в связи со строительством фундамента НБК были тампонированы и выведены из эксплуатации. Поэтому наблюдения за изменением концентрации  $^{90}\text{S}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в скважине 4Г были прекращены.

Динамика УГВ за период наблюдений 1998 - 2010 гг. (рис. 3.4.5) стабилизировалась, по сравнению с отмеченным ростом с 1973 г. по 1994 г. [21]. Среднегодовой УГВ в локальной зоне в 1994 г. составил  $110,2 \text{ м}$ .

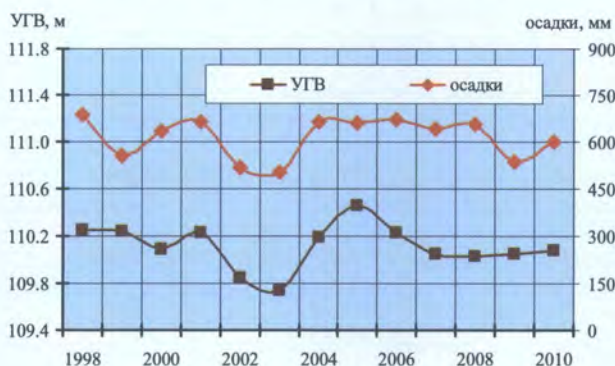


Рис. 3.4.5. УГВ и количество осадков на промплощадке объекта «Укрытие».

Средний УГВ в локальной зоне с 1998 г. по 2010 г. составил 110,1 м., при этом среднегодовые уровни изменялись в пределах 109,74 - 110,46 м. Максимальный УГВ за весь период наблюдений, начиная с 1998 г., зафиксирован в июне 2005 г. и равен 110,90 м.

На рис. 3.4.5 видно, что частично нарушается ранее сохранявшаяся корреляция между динамикой УГВ и количеством атмосферных осадков.

### Список литературы к разделу 3

1. *Огородников Б.И., Пазухин Э.М., Ключников А.А.* Радиоактивные аэрозоли объекта «Укрытие»: 1986 – 2006 гг.: монография. – Чернобыль: Ин-т проблем безопасности АЭС НАН Украины. – 2008. – 456 с.
2. *О результатах* исследования радиоактивных проб воздуха на промплощадке и в рабочих помещениях 4-го блока ЧАЭС за вторую половину июля 1988 г.: (Отчет) / МНТЦ «Укрытие» НАН Украины. - Арх. № 818. - Чернобыль, 1988.
3. *Состав и концентрации радионуклидов в аэрозолях промплощадки Чернобыльской АЭС вблизи объекта «Укрытие» в 1990 г.: (Отчет) /* РИ им. В. Г. Хлопина. - Инв. № 1469-И. - Л., 1990. (Фонды ИПБ АЭС НАН Украины. - Арх. № 1856.)
4. *Максимов А.Ю., Котляров А.А.* Применение радиометров с электроосаждением для контроля герметичности оборудования АЭС // Тр. МИФИ. – 2004.
5. *Безичев С.Н., Боровой А.А., Строганов А.А. и др.* Топливо реактора 4-го блока ЧАЭС (краткий справочник). – М., 1990. – 21 с. – (Препр. / Ин-т атомной энергии им. И. В. Курчатова; ИАЭ 5268/3).
6. *Криницын А. П., Симановская И. Я., Стрихарь О. Л.* Исследование взаимодействия воды с конструкционными и топливосодержащими в помещениях объекта «Укрытие» // Радиохимия. – 1998. – Т. 40 № 3 – С. 270 - 288.
7. *Щербин В. Н., Криницын А. П., Стрихарь О. Л.* Определение  $^{235}\text{U}$  в водопотоках объекта «Укрытие» // Радиохимия. – 2000. – Т. 42, № 3. – С. 281 – 283.
8. *Богатов С. А., Корнеев А. А., Криницын А. П., Симановская И. Я., Стрихарь О. Л.* Исследования водопотоков внутри объекта «Укрытие» // Радиохимия. – 2000. – Т. 42, № 3. – С. 276 – 280.
9. *Криницын А.П., Корнеев А.А., Стрихарь О.Л., Щербин В.Н.* О механизме формирования жидких радиоактивных отходов в помещениях блока Б и ВСРО // Проблемы Чернобиля. -2002. -Вип. 9 – С. 98 – 104.
10. *Корнеев А. А., Криницын А. П., Стрихарь О. Л., Щербин В. Н.* Жидкие радиоактивные отходы внутри объекта «Укрытие» // Радиохимия. – 2002. – Т. 44, № 6. – С. 545 – 552.
11. *Криницын А. П., Стрихарь О. Л., Щербин В. Н.* Проблема обращения с жидкими радиоактивными отходами объекта «Укрытие» // Радиохимия. – 2003. – Т. 45, № 5. – С. 461 – 465.
12. *Контроль неорганизованных выбросов из объекта «Укрытие»: (Отчет о НИР, договор 267/08) /* ИПБ АЭС НАН Украины. - Чернобыль, 2008. – 92 с.



13. *Радиогидроэкологический мониторинг в районе объекта «Укрытие»:* (Отчет о НИР, договор 276/08) / ИПБ АЭС НАН Украины. - Чернобыль, 2008. - 148 с.
14. *Одинцов А.А., Хан В.Е., Краснов В.А. и др.* Трансурановые элементы в жидких радиоактивных отходах объекта «Укрытие» // *Радиохимия.* - 2009. - Т. 51, № 4. - С. 337 - 343.
15. *Одинцов А. А., Хан В. Е., Краснов В. А., Щербин В. Н.* Контроль содержания радонуклидов в водных скоплениях объекта «Укрытие» в 2007 – 2008 г.г. // *Проблемы безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля.* - 2009. - Вип. 12. - С. 143 – 153.
16. *Руденко Л. И., Хан В. Е.* Мембранные методы очистки жидких радиоактивных отходов из объекта «Укрытие» и грунтовых водах от радонуклидов // *Доп. НАН Украины.* - 2004.- № 10. - С. 203 – 207.
17. *Панасюк Н.И., Скорбун А.Д., Подберезный С.С. и др.* Подсчет количества радонуклидов в донных осадках помещения 001/3 объекта «Укрытие» // *Проблемы безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля.* - 2005. Вип. 2. - С. 46 – 48.
18. *Технологические радиационные критерии 39Е ЦРБ.* - Инв. № 150 от 16.11.06. - Архив ПТС ЧАЭС.
19. *Хан В. Е., Одинцов А. А., Калиновский А. К., и др.* Изучение особенностей радонуклидного состава грунтовой воды скважины 4-Г локальной зоны объекта «Укрытие» // *Проблемы безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля.* - 2005. - Вип. 2. - С. 22 – 32.
20. *Технологические радиационные критерии 39Е ЦРБ.* - Инв. № 32 от 18.09.09. - Архив ПТС ЧАЭС.
21. *Анализ текущей безопасности объекта «Укрытие» и прогнозные оценки развития ситуации:* (Отчет о НИР) / МНТЦ “Укрытие” НАН Украины. - Арх. № 3836. - Чернобыль, 2001. - 337 с

## РАЗДЕЛ 4

### Радиационные параметры объекта «Укрытие»

#### *Радиационная обстановка в помещениях объекта «Укрытие»*

Радиационная обстановка в помещениях объекта «Укрытие» (ОУ) обусловлена загрязнением их поверхностей и размещенными в них радиоактивными материалами. До настоящего времени в большинстве помещений реакторного блока средняя величина МЭД не превышает 1 Р/ч (табл. 4.1). Исключение составляют шахта реактора, помещения на отметке 9,00 м, парораспределительный коридор, помещения бассейна-барботера и др., в которых находится значительная часть ТСМ (табл. 4.2). МЭД вблизи поверхности скоплений ТСМ в отдельных местах достигает нескольких тысяч рентген в час и постепенно уменьшается (рис. 4.1) вследствие распада основных дозообразующих нуклидов, прежде всего  $^{137}\text{Cs}$  [1].

**Таблица 4.1. Распределение МЭД в обследованных помещениях ОУ [2]**

	МЭД, Р/ч						
	< 0,05	0,05 - 0,1	0,1 - 1	1 - 10	10 - 100	100 - 1000	> 1000
Количество помещений	27	11	35	54	19	8	2

**Таблица 4.2. Максимальные значения МЭД (Р/ч), зафиксированные в помещениях объекта «Укрытие» в 2010 г. [2].**

№ п/п	№ датчика	Помещение	Система контроля	Среднее значение	КУ
1	3	ПРК (пом. 210/6)	«Сигнал»	370	454
2	4	ПРК (пом. 210/6)	«Сигнал»	225	370
3	7	304/3	«Сигнал»	286	486
4	8	304/3	«Сигнал»	245	420
5	23	305/2	«Финиш-Р»	259	435
6	11	305/2	«Сигнал»	798	1560
7	12	305/2	«Сигнал»	813	1500
8	29	РП	«Финиш-Р»	614	890
9	41	РП	«Финиш-Р»	249	325
10	37	БВ	«Финиш-Р»	3391	3990
11	40	БВ	«Финиш-Р»	752	1350
12	28	914/2	«Финиш-Р»	220	312
13	15	914/2	«Сигнал»	27	70
14	27	914/2	«Сигнал»	232	760
15	28	914/2	«Сигнал»	225	665



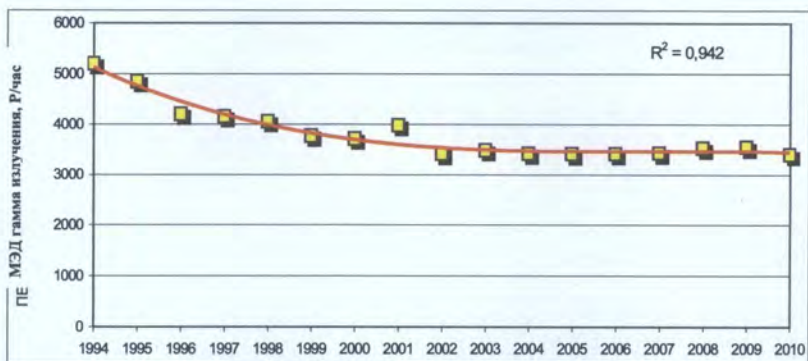


Рис.4.1. Динамика изменения МЭД гамма-излучения в БВ объекта «Укрытие».

Помещения деаэрационной этажерки загрязнены значительно меньше, чем помещения реакторного блока. Существует всего несколько помещений, где МЭД выше 1 Р/ч. Эти помещения расположены на верхних отметках, где строительные конструкции были почти полностью разрушены.

В машинном зале МЭД колеблется в диапазоне 0,1 - 2000 мР/ч. В помещениях постоянного пребывания персонала объекта «Укрытие» МЭД не превышает 0,8 мР/ч.

МЭД на кровле объекта «Укрытие» характеризуется следующими значениями:

над трубным накатом (над центральным залом) - от 0,5 до 8 Р/ч, наибольшие значения отмечены над восточной частью центрального зала;

над разрушенными помещениями барабанов-сепараторов наибольшие значения достигают 5 Р/ч;

на кровле машинного зала - от 0,2 до 4 Р/ч;

на кровле деаэрационной этажерки - от 0,2 до 1 Р/ч.

В течение последних лет сохранилась общая тенденция к стабилизации показателей радиационной обстановки на объекте «Укрытие». На внешних объектах, промплощадки и в производственных помещениях объекта «Укрытие» с постоянным и периодическим пребыванием персонала превышений контрольных уровней (КУ) по МЭД гамма-излучения или радиоактивного загрязнения не зафиксировано.

За последние годы концентрации радиоактивных аэрозолей в воздухе рабочей зоны помещений объекта «Укрытие» и прилегающих территорий находились в пределах динамики, которая раньше наблюдалась, и не превышали контрольные уровни.

В табл. 4.3 представлены результаты контроля воздушной среды в помещениях объекта «Укрытие» в 2010 г.

**Таблица 4.3. Результаты контроля воздушной среды в помещениях  
объекта «Укрытие» в 2010 г. [2]**

Объект контроля	Объемная активность $\alpha$ -ДЖН, Бк/м <sup>3</sup>			Объемная активность $\beta$ -ДЖН, Бк/м <sup>3</sup>		
	Min	Max	КУ	Min	Max	КУ
Необслуживаемые помещения ОУ	$1,2 \times 10^{-3}$	1,4	*	$6,9 \times 10^{-3}$	30	*
Помещение 2 подзоны (полуобслуживаемые) на ОУ	$3,1 \times 10^{-4}$	$8,6 \times 10^{-2}$	$1,2 \times 10^{-1}$	$4,9 \times 10^{-3}$	8,1	9,0
Помещение 3 подзоны (обслуживаемые) на ОУ	$1,3 \times 10^{-3}$	$3,4 \times 10^{-2}$	$4,0 \times 10^{-2}$	$5,9 \times 10^{-3}$	2,6	3,0
Обслуживаемые помещения ОУ на блоке ДСРВ	$2,1 \times 10^{-3}$	$7,2 \times 10^{-3}$	$4,0 \times 10^{-2}$	$9,9 \times 10^{-3}$	$3,1 \times 10^{-1}$	3,0
Помещение особенной подзоны (ограниченного обслуживания)	$1,3 \times 10^{-3}$	$5,1 \times 10^{-2}$	$1,2 \times 10^{-1}$	$2,6 \times 10^{-3}$	3,9	9,0
Территория локальной зоны ОУ	$1,7 \times 10^{-3}$	$3,0 \times 10^{-2}$	$1,2 \times 10^{-1}$	$5,3 \times 10^{-2}$	2,7	9,0
Территория промплощадки ОУ	$5,0 \times 10^{-4}$	$2,8 \times 10^{-2}$	$1,2 \times 10^{-1}$	$3,0 \times 10^{-3}$	$5,5 \times 10^{-1}$	9,0
Обслуживаемые здания на промплощадке ОУ	$4,2 \times 10^{-4}$	$8,8 \times 10^{-3}$	$4,0 \times 10^{-2}$	$2,0 \times 10^{-3}$	$4,3 \times 10^{-2}$	3,0
Территория площадки временного складирования технических материалов	$4,6 \times 10^{-4}$	$1,0 \times 10^{-2}$	*	$2,3 \times 10^{-3}$	$1,2 \times 10^{-1}$	*
Территория свободного режима	$4,0 \times 10^{-4}$	$7,7 \times 10^{-3}$	$2,0 \times 10^{-2}$	$2,0 \times 10^{-3}$	$5,7 \times 10^{-2}$	1,5
Технологические помещения в зоне свободного режима	$5,8 \times 10^{-4}$	$2,2 \times 10^{-3}$	$2,0 \times 10^{-2}$	$3,4 \times 10^{-3}$	$1,5 \times 10^{-2}$	1,5
Обслуживаемые помещения административных и бытовых зданий зоны свободного режима	$3,8 \times 10^{-4}$	$4,8 \times 10^{-3}$	$5,0 \times 10^{-3}$	$1,3 \times 10^{-3}$	$2,4 \times 10^{-2}$	$2,5 \times 10^{-2}$

\* Нерегламентировано. ДЖН - долгоживущие радионуклиды.

### **Загрязнения помещений объекта «Укрытие»**

Поверхность помещений объекта «Укрытие» была загрязнена вследствие оседания радиоактивных частиц и их затопления водой во время аварии в 1986 г. и в процессе ее ликвидации. В результате чего произошло



достаточно глубокое проникновение радионуклидов в материалы строительных конструкций.

Радионуклидный состав загрязнений соответствует составу топлива 4-го энергоблока и включает  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{239-241}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Am}$ .

Уровни поверхностного загрязнения внутри объекта «Укрытие» изменяются в достаточно широких диапазонах, в частности:

от 0 до 3000 част./( $\text{см}^2 \cdot \text{мин}$ ) – для  $\alpha$ -частиц;

от 30 до 1000000 част./( $\text{см}^2 \cdot \text{мин}$ ) – для  $\beta$ -частиц.

Доля поверхностного снимаемого загрязнения от общего загрязнения оценивается в 6 %, а по отдельным радионуклидам:  $^{137}\text{Cs}$  - 4 %,  $^{241}\text{Am}$  - 10 %,  $^{239,240}\text{Pu}$  - 2 %,  $^{90}\text{Sr}$  - 8 % и урана - 5 %.

Следует отметить, что радиационная обстановка на объекте «Укрытие» постоянно меняется как вследствие природных процессов (радиоактивный распад, разрушение ТСМ, выщелачивания радионуклидов и т.д.), так и вследствие деятельности человека (работы по эксплуатации и преобразованию объекта «Укрытие»). Результаты регламентных измерений, а также индивидуальные дозовые нагрузки персонала позволяют сделать вывод о достаточно эффективной системе радиационной безопасности, существующей в настоящее время на объекте «Укрытие».

Оценивая спустя 25 лет после аварии состояние ядерной и радиационной безопасности объекта «Укрытие», можно констатировать, что проведенный за это время большой объем исследований позволил получить результаты, использование которых помогло организовать безопасное выполнение работ по стабилизации строительных конструкций объекта «Укрытие» и подготовительные работы к созданию нового безопасного конфайнмента.

#### Список литературы к разделу 4

1. *Отчет* о состоянии безопасности объекта «Укрытие» №SIP-P-PM-22-460-SAR-124-05. – 2008. – 343 с.
2. *ГСП ЧАЭС* «Звіт про стан безпеки об'єкта «Укриття» за перше півріччя 2010 року».

## РАЗДЕЛ 5

### Дистанционные технологии и агрегаты для работ на объекте «Укрытие»

Основная стратегическая цель преобразования объекта «Укрытие» - это извлечение, контейнеризация и захоронение ТСМ и высокоактивных отходов. Совершенно очевидно, что эта деятельность, как и любая другая, выполняемая в радиационно-опасных помещениях объекта «Укрытие» невозможна без использования дистанционно управляемых агрегатов (ДУА) и соответствующих дистанционных технологий.

Специфические условия [1] функционирования ДУА в радиационно-опасных помещениях объекта определяются следующими факторами:

- высокими уровнями радиационных полей и разрушений внутри объекта «Укрытие»;

- состоянием сооружений, оборудования, подстилающих поверхностей, расположением завалов и препятствий;

- ограничениями, связанными с обращением с ТСМ, их доступностью, геометрией и активностью;

- наличием в объекте большого количества радиоактивной пыли и связанных с этим проблем вторичного пылеподъема, образования радиоактивных аэрозолей;

- высокой влажностью в помещениях объекта, необходимостью выполнения работ в условиях контакта с водными растворами солей, в том числе и солей трансурановых элементов;

- требованиями по обеспечению норм общепромышленной, пожарной и радиационной безопасности при проведении работ;

- практически отсутствием возможности регулярного осмотра и ремонта техники, и необходимостью ее дезактивации при выводе из зоны работ.

Для решения этих задач ИПБ АЭС НАНУ совместно с ИАЭ им. И.В. Курчатова, начиная с 1990 г., начали создаваться ДУА, способные работать в радиационно-опасных помещениях 4-го блока ЧАЭС.

В 1992 г. был создан ДУА ТР-3 для видеоразведки помещений объекта «Укрытие» (рис. 5.1). С его помощью прошли испытания на надежность в объекте систем и оборудования в условиях высоких радиационных полей. Одним из первых ДУА, который был использован в работах при отборе проб внутри скоплений на объекте «Укрытие», стал буровой агрегат ТР-4 (рис. 5.2 [2]). В 1992 - 1993 гг. он использовался для оценки количества и состава ТСМ в помещении 301/5. Впервые с помощью такого устройства удалось произвести отбор проб по глубине и дать оценку состава и количества ТСМ в помещении 301/5.



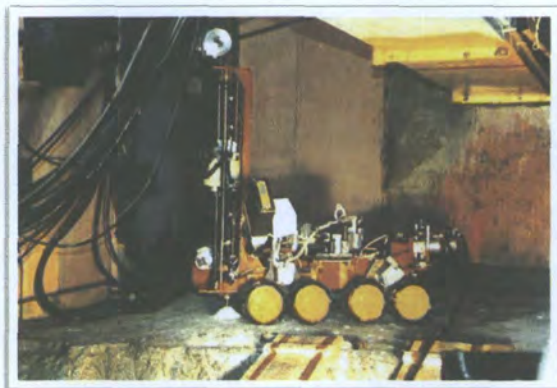


Рис. 5.1. ДУА ТР-3 для видеоразведки во время исследования ТСМ на первом этаже бассейна-барботера объекта «Укрытие».



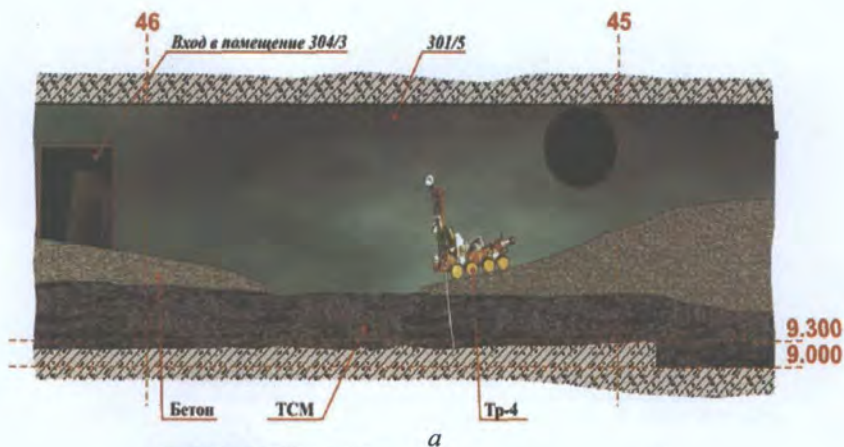
Рис. 5.2. ДУА ТР-4.

*Основные технические характеристики ДУА ТР-4*

глубина бурения по бетону	- 400 мм
для более рыхлых пород	- 600 мм
диаметр керна	- 8 мм
частота вращения бурового инструмента	- 200 об/мин

На рис. 5.3 приведена схема расположения ДУА ТР-4 в помещении 301/5 при отборе проб (а) и выбуренный керн (б).

Как показали буровые работы, в доаварийном строительном бетоне (пол помещения 301/5) образовалось углубление около 400 мм, так называемый «приямок». Над этим углублением во время активной стадии аварии из помещения 304/3 двигался поток черной керамики [3], а в «приямке» проходили физико-химические процессы взаимодействия горячей лавы с бетоном.



а



б

Рис. 5.3. Схема расположения ДУА ТР-4 в помещении 301/5 объекта «Укрытие» :  
а - отбор проб; б - выбуренный керн.

По глубине «прямка» (около 400 мм) из керна (рис. 5.3, б) было отобрано 11 проб – через каждые 40 мм. Затем каждый отрезок чулка-пробоотборника был отделен, развернут и из каждого выбран наиболее типичный образец «спека» ЛТСМ – бетон, когда лава только-только начала «схватываться», спекаться с бетоном.

Общий вид образцов бетона с ЛТСМ представлен на рис. 5.4. Изучено поведение радионуклидов, содержащихся в ЛТСМ, при контакте лавы со строительным бетоном [3 - 5]. Определены коэффициенты фракционирования ( $K_{фр}$ ) отдельных радионуклидов и показано, что строительный бетон при контакте с лавовым потоком избирательно поглощает америций и плутоний («высасывает» их из лавы) и неохотно ассимилирует европий [6, 7, 8, 9].





Рис.5.4. Общий вид образцов бетона с ЛТСМ.

По коэффициентам фракционирования из лавы, радионуклиды, содержащихся в ЛТСМ, можно расположить в следующий ряд:

$$\text{Am} > \text{Pu} \gg \text{Cs} = \text{Ce} \gg \text{Eu},$$

а, соответственно,  $K_{\text{фр}}$  – в следующий ряд:

$$2 - 1,85 - 1 - 1 - 0,5.$$

Подобное поведение радионуклидов при взаимодействии лавы со строительным бетоном установлено впервые и требует дальнейшего изучения.

В 1994 г. был разработан ДУА ТР-7 для нанесения пылеподавляющих составов (в частности состава «Экор»). На рис. 5.5 показано:

- а) общий вид ДУА ТР-7;
- б) ходовые испытания ДУА ТР-7 в 2001 г.;
- в) скопление ТСМ на первом этаже бассейна-барботера объекта «Укрытие», покрытое пылеподавляющим составом «Экор».

В 1995 г. был разработан ДУА ТР-12 для транспортировки и погрузки труб (рис. 5.6). Его захват рассчитан на различные диаметры трубы, но основной расчет производился на паросбросные трубы бассейна-барботера объекта «Укрытие».

В 1999 г. совместно с КПИ был разработан ДУА КТ-100 для разведки в радиационно-опасных помещениях объекта «Укрытие» с манипулятором со встроенным импактором рис. 5.7 (а, б) и проведены его испытания.

В 2002 г. в рамках контракта SIP 03-2-016 по проекту стабилизации объекта «Укрытие» были проведены работы по измерению мощности экспозиционной дозы на северных ключах объекта «Укрытие» (мероприятие 8, 11) с помощью робота радиационной разведки «Магнитоход» (рис. 5.8), который способен за счет колес из постоянных магнитов передвигаться по вертикальным металлическим поверхностям.



*а*



*б*



*в*

Рис. 5.5. ДУА ТР-7 для нанесения пылеподавляющих составов.



Рис. 5.6. ДУА ТР-12-для транспортировки и погрузки труб.





*а*



*б*

Рис. 5.7. ДУА КТ-100 (*а*) для разведки в радиационно-опасных помещениях объекта «Укрытие» с манипулятором со встроенным импактором (*б*).



Рис. 5.8. Дистанционно управляемый агрегат «Магнитоход» на северных склонах объекта «Укрытие».

В 2004 г. был разработан ДУА ТР-11 для фрагментирования высокоактивных ТСМ, оснащенный захватом и гидропушкой (рис. 5.9).

Во исполнение Указа Президента Украины № 1167/2007 от 29 октября 2007 г. «Про деякі заходи щодо перетворення об'єкту «Укриття» на екологічно безпечну систему» создан и испытан (рис. 5.10) ДУА КТ - контейнеризатор-транспортёрщик ТСМ.

В 2010 г. закончено проектирование и начато изготовление многофункционального ДУА ИЛ для извлечения и локализации ТСМ на нижних отметках объекта «Укрытие» (рис. 5.11).



Рис. 5.9. ДУА ТР-11 с захватом и гидропушкой для фрагментирования высокоактивных ТСМ.



Рис. 5.10. ДУА КТ для контейнеризации скопления ТСМ.

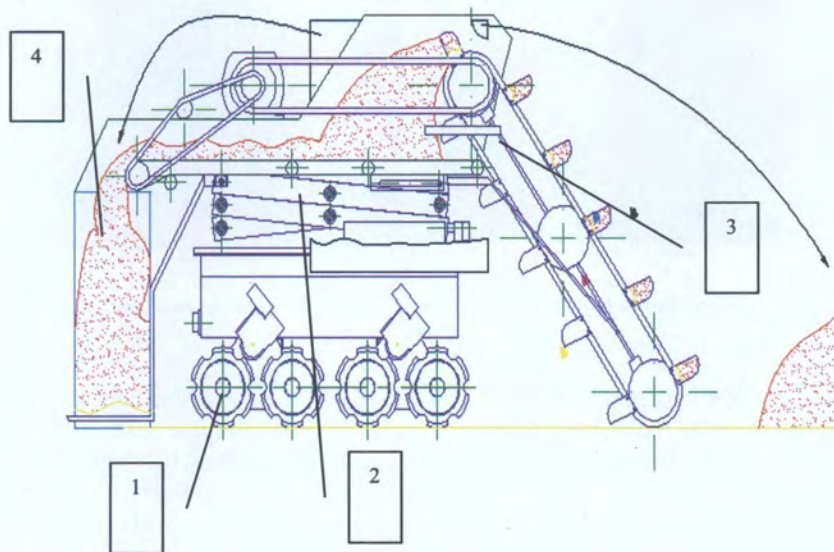


Рис. 5.11. Схема ДУА ИЛ для извлечения и локализации ТСМ:  
1 - самоходное шасси; 2 - подъемник; 3 - конвейер; 4 - контейнер для ТСМ.



### Список литературы к разделу 5

- 1 Пазухин Э.М. лавообразные топливосодержащие массы 4-го блока Чернобыльской АЭС: топография, физико-химические свойства, сценарий образования // Радиохимия. - 1994. - Вып. 2. - С. 97 - 142.
- 2 Отчет 09/36 от 22.12.92 г., МНТЦ «Укрытие» НАН Украины.
- 3 Милованов А.Ф., Соломонов В.В., Ларионова З.М. Высокотемпературный нагрев железобетонных перекрытий при аварии на Чернобыльской АЭС. - М.: Энергоиздат, 2000. - С. 75.
- 4 Ханхотько А.Ф., Тогоблицкая Д.Н., Дегальцев Ю.Г. и др. Прогнозирование плавления бетонов // Неорганические материалы. - 1994. - Т. 30, № 2. - С. 269.
- 5 Программа работ по отбору и транспортировке образцов топливосодержащих материалов из пом. 061 объекта «Укрытие» в МНТЦ «Укрытие» / ВО «Чернобыльська АЭС. Об'єкт «Укриття». Технічний відділ. - Інв. № 102 від 09.08.96.
- 6 Пазухин Э.М., Дрозд И.П., Токаревский В.В. Авария на ЧАЭС и проблема америция-241 // Радиохимия. - 1994. - Т. 36, вып. 6. - С. 533 - 539.
- 7 Боровой А.А., Довбенко А.А., Маркушев В.М., Строганов А.А. Радиационно-физические характеристики топлива 4-го энергоблока ЧАЭС и оценка их погрешности // Справочник КЭ при ИАЭ им. И. В. Курчатова. 11.07-06/172. - Чернобыль, 1999.
- 8 Пазухин Э.М., Маркова Т. П., Степанов А.В. и др. Относительно выгорания ядерного топлива в разрушенном реакторе 4-го энергоблока Чернобыльской АЭС // Радиохимия. - 2000. - Т. 42, № 6. - С. 527 - 533.
- 9 Боровой А.А., Пазухин Э.М. О возможности расчета степени выгорания ядерного топлива 4-го блока ЧАЭС по соотношению изотопов плутония // Проблемы Чернобыля. - 2000. - Вып. 6. - С. 17 - 20.

## РАЗДЕЛ 6

### Модернизированная система подавления радиоактивных аэрозолей объекта «Укрытие» [1]

В конце 1989 г. была введена в эксплуатацию стационарная установка пылеподавления (СПП). Установка содержала один коллектор с 14 форсунками и покрывала центральную часть подкровельного пространства. Она предназначалась для уменьшения концентрации радиоактивных аэрозолей в воздухе помещений объекта «Укрытие» (ОУ) и предотвращения их выноса в окружающую среду (рис. 6.1).



Рис. 6.1. Система пылеподавления радиоактивных аэрозолей объекта «Укрытие» 1989 г.

В 2003 г. была проведена модернизация СПП, состоящая в расширении зоны действия системы (рис. 6.2) на все подкровельное пространство объекта "Укрытие", оптимизации применяемых составов и режимов их нанесения. [1].

Во время опытно-промышленной эксплуатации МСПП 2004-2005 гг. были выполнены работы по полной проверке всех систем МСПП, включая работу форсунок в подкровельном пространстве объекта "Укрытие". Выполнена оптимизация режимов работы МСПП, которая позволила резко сократить количество протечек составов и растворов в нижние помещения объекта "Укрытие" и значительно уменьшить расход пылеподавляющего состава на единицу толщины создаваемого покрытия.



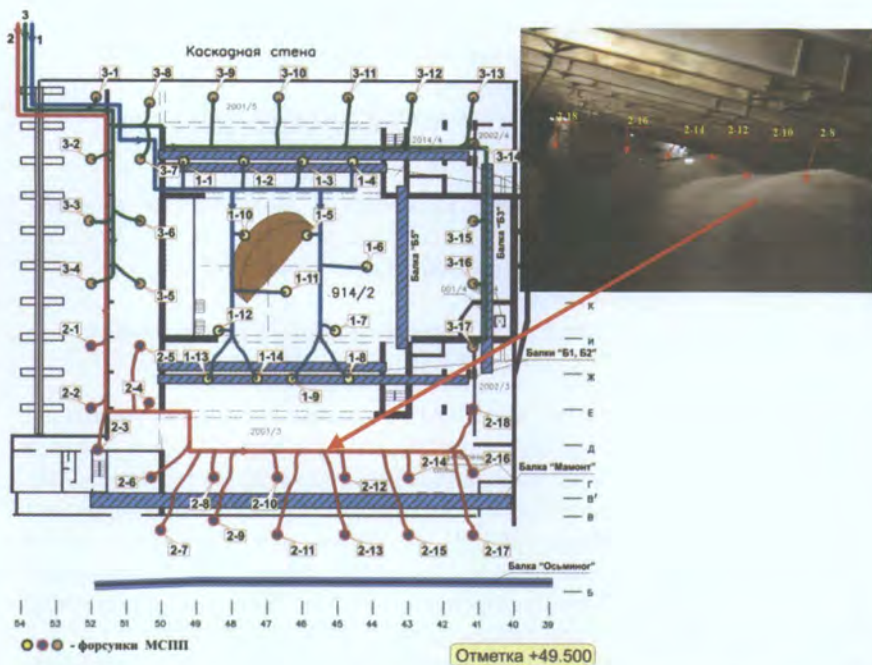


Рис. 6.2. Модернизированная система пылеподавления радиоактивных аэрозолей объекта «Укрытие» 2003 г.

Созданное локализирующее полимерное покрытие, обеспечило локализацию пылящих поверхностей в зонах действия установки МСПП, надежно закрепило пылящие субстраты (песок, строительную крошку и др.) и имеет высокую локализирующую способность по отношению к  $\alpha$ - и  $\beta$ -активным загрязнениям.

Предложен режим работы МСПП для осаждения радиоактивных аэрозолей из воздуха при аварийных ситуациях, в том числе и при отрицательных температурах.

В 2006 - 2008 гг. МСПП использовалась для подготовки мест производства работ в подкровельном пространстве объекта "Укрытие" при проведении работ по его стабилизации. При этом основное внимание уделялось созданию защитного полимерного покрытия на поверхностях подкровельного пространства.

Перед вводом МСПП в эксплуатацию проведено тестирование пылеподавляющих составов и выбран наиболее оптимальный состав АК-510 на основе силаксан-акрилатовых композиций.

Данный состав обеспечил все необходимые характеристики:  
 требуемую толщину покрытия, до 200 мкм;  
 время высыхания до степени «3»;  
 необходимую адгезию и равномерность распределения толщины;  
 химическую инертность;  
 водостойкость;  
 показатели распространения пламени по поверхности и коэффициент дымообразования;  
 время защитного действия, радиационную стойкость.

### 6.1. Опытно-промышленная и промышленная эксплуатация МСПП

В 2004 - 2006 гг. ИПБ АЭС НАН Украины проведены работы по опытно-промышленной эксплуатации МСПП. На первом этапе, осенью 2004 г., проведена пропитка и первичное нанесение защитных пылеподавляющих покрытий на ранее необрабатываемые поверхности и проверка различных режимов работы МСПП. На втором этапе, весной и летом 2005 г., проведено наращивание толщины защитных полимерных покрытий в подкровельном пространстве объекта "Укрытие", устранение недостатков и оптимизация режимов работы МСПП. В табл. 6.1 и 6.2 представлены количество и состав пылеподавляющих составов, распыленных в подкровельное пространство 4-го блока ЧАЭС во время эксплуатации МСПП в 2004 - 2009 гг.

**Таблица 6.1. Количество и состав пылеподавляющих составов, распыленных в подкровельное пространство 4-го блока ЧАЭС в 2004 - 2005 гг.**

Наименование состава	Номер коллектора	Количество составов, распыленных в подкровельное пространство 4-го блока ЧАЭС, м <sup>3</sup>					
		2003 г.	2004 г.		2005 г.		
		12.2003	09.2004	10.2004	05.2005	08.2005	09.2005
Аккумулирующий состав (5% по сухому остатку)	1		-				
	2	15	15				
	3	15	15				
Локализирующий состав (23% по сухому остатку)	1	-	-	30	15	-	15
	2	-	-	15	15	5	10
	3	-	-	15	15	5	10
Локализирующий состав	1	-	-	-	-	-	-
	2	-	-	15	-	-	-



Наименование состава	Номер коллектора	Количество составов, распыленных в подкровельное пространство 4-го блока ЧАЭС, м <sup>3</sup>					
		2003 г.	2004 г.		2005 г.		
		12.2003	09.2004	10.2004	05.2005	08.2005	09.2005
(11.5% по сухому остатку)	3	-	-	15	-	-	-
Промывочный раствор: ПАВ + Gd	1	-	-	4,8	9,9	-	9,9
	2	11,2	6,9	4,8	6,9	2,3	4,6
	3	11,2	7,5	7	7,5	2,5	5
Всего Gd (по металлу), кг		20,8	20,3	7,6	16,4	3,5	12,7
Итого: Аккумулирующий состав (5 % по сухому остатку) - 60 м <sup>3</sup>							
Локализирующий состав (11,5 % по сухому остатку) - 30 м <sup>3</sup>							
Локализирующий состав (23 % по сухому остатку) - 150 м <sup>3</sup>							

Таблица 6.2. Количество и состав пылеподавляющих составов, распыленных МСПП в подкровельное пространство 4-го блока ЧАЭС в 2006 - 2009 гг.

№ п/п	Инв. № акта, дата его регистрации		Номер коллектора	Дата пуска МСПП	Пылеподавляющий состав, кг		
					Вода	АК-510 (46%)	Всего
1	482	23.05.2006	НК-2,3	17-18.05.2006	8900	1100	10000
2	40	20.09.2006	НК-1	11,13.09.2006	5000	5000	10000
3	50	26.09.2006	НК-2,3	21-22.09.2006	5000	5000	10000
4	47	23.10.2006	НК-1,2,3	09.10.2006	7500	7500	15000
5	49	31.10.2006	НК-2,3	27.10.2006	5000	5000	10000
<b>Всего распылено за год</b>					<b>31400</b>	<b>23600</b>	<b>55000</b>
6	38	02.07.2007	НК-1,2,3	18.06.2007	7500	7500	15000
7	40	03.07.2007	НК-1,2,3	22.06.2007	7500	7500	15000
8	94	14.09.2007	НК-1,2,3	27.06.2007	7500	7500	15000
9	95	27.09.2007	НК-1,2,3	10.09.2007	7500	7500	15000

№ п/п	Инв. № акта, дата его регистрации		Номер коллектора	Дата пуска МСПП	Пылеподавляющий состав, кг		
					Вода	АК-510 (46%)	Всего
10	95	27.09.2007	НК-1,2,3	14.09.2007	7500	7500	15000
<b>Всего распылено за год</b>					<b>37500</b>	<b>37500</b>	<b>75000</b>
11	б инв.	-	НК-1,2,3	03.04.2008	7500	7500	15000
12	б инв.	-	НК-1,2,3	11.04.2008	7500	7500	15000
13	19	14.05.2008	НК-1,2,3	08.05.2008	7500	7500	15000
<b>Всего распылено за год</b>					<b>22500</b>	<b>22500</b>	<b>45000</b>
14	26	30.06.2009	НК-1,2,3	22.06.2009	7500	7500	15000
15	28	13.07.2009	НК-1,2	09.07.2009	5000	5000	10000
16	29	13.07.2009	НК-1,2,3	02.07.2009	7500	7500	15000
17	33	27.07.2009	НК-3	20.07.2009	2500	2500	5000
<b>Всего распылено за год</b>					<b>22500</b>	<b>22500</b>	<b>45000</b>

За период 2006 - 2009 гг. в подкровельное пространство было подано 220 т пылеподавляющего состава (48,8 т по сухому остатку). Проведена полная проверка всей систем МСПП, включая работу форсунок в подкровельном пространстве объекта "Укрытие". Недостатки МСПП устранены (неработающие форсунки).

Создано локализирующее полимерное покрытие, которое обеспечивает локализацию пылящих поверхностей в зонах действия установки МСПП, надежно закрепляет пылящие субстраты (песок, строительную крошку и т.д.), обладает высокой локализирующей способностью по отношению к  $\alpha$ - и  $\beta$ -активным загрязнениям.

Выполнена оптимизация режимов работы МСПП, которая позволила:

резко сократить количество протечек составов и растворов в нижние помещения по сравнению с работой СПП до модернизации;

значительно уменьшить расход пылеподавляющего состава на единицу толщины создаваемого покрытия.

Предложен режим работы МСПП для осаждения радиоактивных аэрозолей из воздуха при аварийных ситуациях, в том числе и при отрицательных температурах.



МСПП активно использовалась для подготовки мест производства работ непосредственно в подкровельном пространстве «Укрытие» при проведении работ по стабилизации.

Кроме того, МСПП использовалась для ввода нейтронпоглощающих материалов (НПМ) - 0,1 % раствора гадолиния в скопления ТСМ дополнительно и независимо от СПРГ. Надо отметить, что 3-й коллектор (НК-3) МСПП является единственным средством доставки раствора гадолиния в восточную часть ЦЗ (ядерно-опасную зону), где находится «свежее» топливо.

Модернизация СПП повысила радиационную и ядерную безопасность объекта "Укрытие" при текущей эксплуатации и аварийных ситуациях, улучшила условия труда персонала, позволила создать защитное полимерное покрытие, которое является важной превентивной мерой безопасности в случае аварийного обрушения конструкций объекта «Укрытие».

## **6.2. Оценка эффективности работы МСПП**

Оценка эффективности работы МСПП выполнена ИПБ АЭС НАНУ в сентябре - декабре 2009 г. по требованию Государственного комитета ядерного регулирования Украины № 24-18/1-4587 от 23 августа 2006 г. В результате проведены:

- оценка эффективности работы МСПП на основе радиометрических измерений;

- оценка состояния защитного полимерного покрытия подкровельного пространства объекта «Укрытие» на основе визуальных наблюдений;

- определение характеристик образцов защитного полимерного покрытия подкровельного пространства объекта «Укрытие»;

- разработка рекомендаций для режимов работы МСПП;

- разработка предложений по использованию мобильной СПП во втором пусковом комплексе (ПК-2) НБК.

На рис. 6.2.1 представлены места и процесс отбора образцов пленочного покрытия в развале центрального зала объекта «Укрытие».

Исследования показали, что защитное полимерное покрытие образует сплошную пленку на всех поверхностях (горизонтальных, наклонных, вертикальных).

Созданное защитное полимерное покрытие хорошо выполняет локализирующую функцию и надежно закрепляет радиоактивную пыль. Оно обладает необходимой радиационной стойкостью и стойкостью к изменениям параметров окружающей среды.

Полимерное покрытие эластично и при механическом разрушении не образует осколков, что важно при демонтаже и аварийных ситуациях.

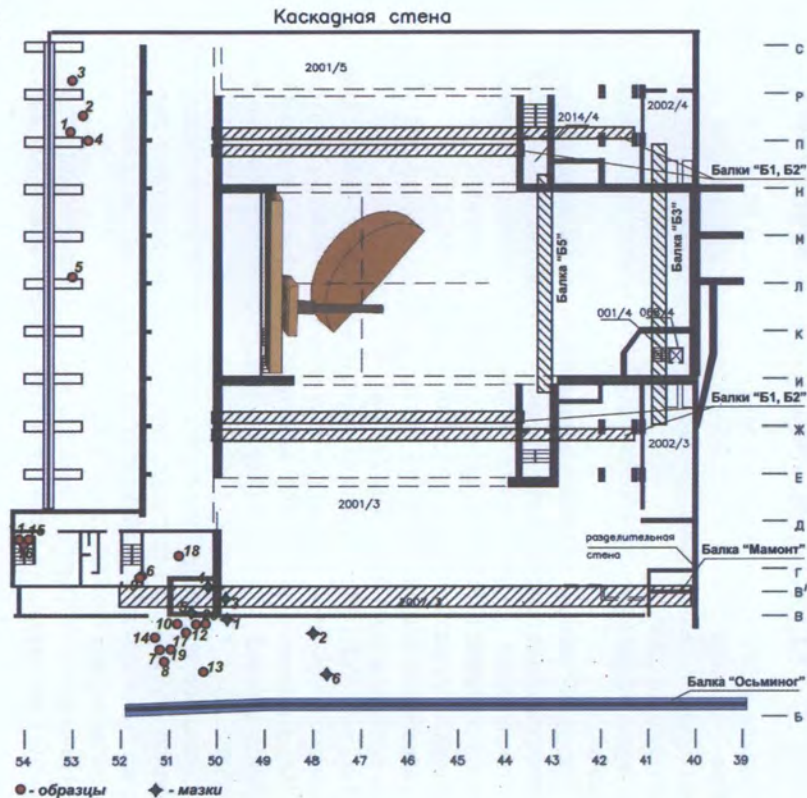


Рис. 6.2.1. Места и процесс отбора образцов в развале центрального зала объекта "Укрытие".



При достижении минимальной технологической толщины (~150 мкм) полимерное покрытие защищает от коррозии и разрушения бетонные и металлическое конструкции (рис. 6.2.2 а, б) и резко сокращает генерацию «новой» радиоактивной пыли.



Рис. 6.2.2 (а). Фрагменты развала центрального зала объекта "Укрытие", покрытые пленкой АК-510.

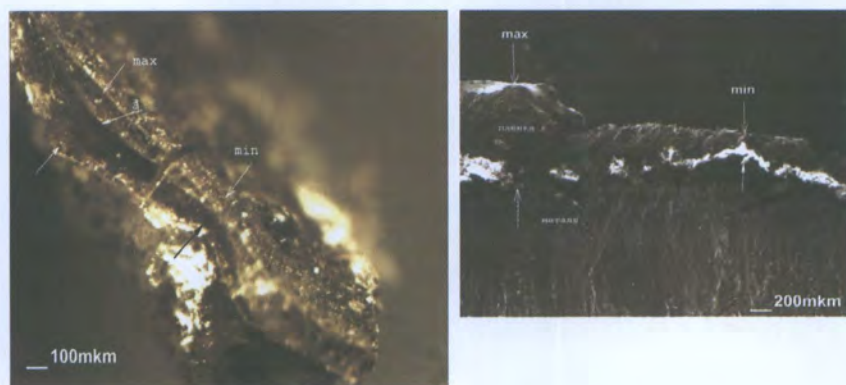


Рис. 6.2.2 (б). Фото пленочного покрытия, сделанные на электронном микроскопе.

На сегодня можно констатировать, что за время эксплуатации МСПП:

выброс радиоактивных аэрозолей уменьшился более чем в два раза. Тем самым работа МСПП уменьшила влияние объекта «Укрытие» на окружающую среду;

снимаемое поверхностное загрязнение в подкровельном пространстве снизилось более чем на четыре порядка.

При проведении стабилизационных работ непосредственно в районе балок «Мамонт» и «Осьминог» не было зафиксировано не одного превышения по загрязнению спецодежды.

Работа МСПП уменьшила радиоактивное загрязнение воздуха в помещениях объекта «Укрытие». Особенно это заметно в близлежащих к подкровельному пространству объекта помещениях. Таким образом, работа МСПП улучшила условия труда на объекте «Укрытие».

Нанесенное защитное полимерное покрытие лежит сплошным слоем на горизонтальных, наклонных и вертикальных поверхностях и укрывает 100 % площади развала ЦЗ и выполняет локализирующую функцию - ограничение распространения радиоактивных веществ, находящихся в подкровельном пространстве.

#### Список литературы к разделу 6

1. *Отчет* о проведенных исследованиях состояния защитного полимерного покрытия подкровельного пространства объекта «Укрытие». План осуществления мероприятий на объекте «Укрытие». Контракт № SIP05-4-011. № SIP AOS2 07 4 SMT 00 03.



## РАЗДЕЛ 7

### Стратегия преобразования объекта «Укрытие»

Объект «Укрытие» не является объектом, созданным в соответствии с нормами проектирования и строительства ядерных установок или объектов по обращению с радиоактивными отходами. В существующем виде он не может рассматриваться как ядерно- и радиационно-безопасный объект, состояние которого гарантирует приемлемый уровень воздействий на персонал и окружающую среду в долгосрочной перспективе. Поэтому вопрос о преобразовании объекта «Укрытие» возник уже через три года после его создания. 24 ноября 1989 г. было выдано техническое задание, утвержденное министром атомной энергетики и промышленности бывшего СССР, на разработку технико-экономического обоснования «Укрытия-2». Решением научно-технического совета Министерства атомной энергетики и промышленности СССР [1] в 1991 г. были определены основные принципы преобразования объекта «Укрытие». К дальнейшей проработке были рекомендованы три варианта:

вариант «Арка», предполагающий создание над объектом «Укрытие» железобетонной оболочки;

вариант «Зеленая лужайка», предполагающий разборку реакторного отделения до отметки +9,00, машинного зала и деаэрационной этажерки до отметки +12,50 с омоноличиванием нижележащих помещений;

вариант «Промежуточное омоноличивание реакторного блока», предполагающий омоноличивание реакторного блока до отметки +41,0, помещений деаэрационной этажерки и машинного зала до отметки +12,50 с демонтажем вышележащих металлоконструкций объекта «Укрытие».

Однако, в силу известных причин (в 1991 г. СССР прекратил свое существование), деятельность по реализации вышеупомянутого решения не получила дальнейшего развития.

В 1992 г. Правительством Украины был объявлен международный конкурс технических решений и проектов преобразования объекта «Укрытие» [2], участники которого должны были решить две основные задачи:

преобразование объекта в долговременную экологически безопасную систему;

создание технологий и осуществление разборки, переработки, транспортирования и захоронения топливосодержащих и радиоактивных материалов, находящихся в объекте.

Учитывая сложность решаемой проблемы и то, что ни один из представленных на конкурс проектов не решал поставленные задачи в полном объеме, первое место не присуждалось. Вторую премию получил

проект «Resolution», подготовленный консорциумом, возглавляемым французской компанией «Campenon Bernard SGE».

По итогам этого конкурса в решении жюри была сформулирована Концепция поэтапного преобразования «Укрытия» в экологически безопасную систему, предполагающая реализацию следующих этапов:

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

2. Информирование общественности о состоянии объекта «Укрытие» и его промплощадки.

3. Стабилизация состояния объекта «Укрытие».

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

5. Сооружение приповерхностных хранилищ радиоактивных отходов (РАО).

6. Создание технологического участка сортировки и переработки РАО.

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

Следующим шагом к осуществлению преобразования ОУ стало объявление в апреле 1994 г. Комиссией Европейского Сообщества тендера на технико-экономическое обоснование стабилизации состояния существующего объекта и сооружения «Укрытия-2». Победителем тендера был определен консорциум «Alliance» во главе с «Campenon Bernard SGE». По завершении разработки технико-экономического обоснования консорциумом «Alliance» был предоставлен отчет, в котором были сформулированы следующие основные выводы:

существующее «Укрытие» нестабильно и несейсмостойко. Необходимы срочные меры, вариант «не принимать никаких мер, то есть не делать ничего» – недопустим;

в связи с высоким уровнем радиации и реальным состоянием существующих конструкций долгосрочная стабилизация «Укрытия» считается невыполнимой. Конструкции существующего «Укрытия» не обеспечивают возможности извлечения радиоактивных отходов, продолжительность жизни которых составляет десятки тысяч лет;

необходимо строительство новой защитной оболочки, которая позволит осуществить демонтаж 4-го блока;

задача проектирования и строительства второго укрытия является чрезвычайно сложной, многоплановой проблемой, которая охватывает как начальную очистку площадки, так и извлечение радиоактивных отходов. До начала строительства «Укрытия-2» необходима организация производства по переработке и хранению отходов;



Украина не может самостоятельно обеспечить финансирование такого проекта. Этот вопрос нужно считать критическим. Международное содружество должно продемонстрировать свое желание помочь Украине решить проблемы, связанные с Чернобыльской аварией. Реальный выбор сегодня – установление и поддержка политической воли, финансовые гарантии на весь период реализации проекта.

В сентябре 1995 г. в Брюсселе состоялось заседание Европейской Комиссии с участием делегации Украины для определения и координации последующих мероприятий на основе исследований консорциума «Alliance». Результатом этой встречи стало соглашение, которое Европейская комиссия заключила с консорциумом «Alliance» и фирмой «Trischler und Partner GmbH» на разработку кратко- и долгосрочных мероприятий.

Согласно подписанному в декабре 1995 г. “Меморандуму о взаимопонимании между правительством Украины, правительствами стран Большой семерки и Комиссией Европейского Сообщества о закрытии Чернобыльской АЭС” в рамках проекта TACIS “Чернобыльский блок 4. Краткосрочные и долгосрочные мероприятия - мероприятия 2+4” был разработан рекомендуемый курс действий [3].

На основе проекта «Чернобыльский Блок 4. Краткосрочные и долгосрочные мероприятия - мероприятия 2 + 4» группой экспертов из Великобритании, Германии, Италии, США, Украины, Франции и Японии в течение 1996 - 1997 гг. был разработан проект «Чернобыльский блок 4. План осуществления мероприятий на объекте «Укрытие»» [4], известный как SIP или ПОМ.

Создание ПОМ стало кульминацией усилий, предпринимаемых на протяжении нескольких лет Украиной и международным сообществом с целью разработки экономически и экологически приемлемого подхода к решению проблем объекта «Укрытие».

Финансирование работ, выполняемых в рамках ПОМ на основании рамочного соглашения, заключенного между Украиной и Европейским банком реконструкции и развития (ЕБРР), осуществляется банком из Чернобыльского фонда, формируемого из взносов стран-доноров.

В апреле 1998 г. был подписан контракт с победителем тендера на консультанта Группы управления проектом (ГУП). Победителем этого тендера стал консорциум в составе Bechtel, Battelle (оба США) и EDF (Франция).

Все работы, выполняемые в рамках проекта ПОМ, были разделены на пять основных направлений (целей):

уменьшение вероятности разрушения (стабилизация строительных конструкций);

смягчение последствий обрушения;  
 повышение ядерной безопасности;  
 повышение безопасности персонала и защита окружающей среды;  
 разработка стратегии и работы по подготовке к преобразованию  
 объекта "Укрытие" в экологически безопасную систему.

Эти основные направления, в свою очередь, были разделены на 22 задачи, приведенные в табл. 4.1.

*Таблица 4.1. Перечень задач ПОМ*

<b>Цель - уменьшение вероятности разрушения (стабилизация строительных конструкций)</b>	
Задача 1	Интеграция и мобилизация проекта по стабилизации и защите
Задача 2	Стабилизация и экранирование западного участка
Задача 3	Стабилизация и экранирование балки «Мамонт» и южного участка
Задача 4	Стабилизация и экранирование восточного и северного участка
Задача 5	Стабилизация кровли, опор кровли и покрытия
Задача 6	Структурные исследования и мониторинг
Задача 7	Геотехнические исследования
Задача 8	Характеристика сейсмичности и мониторинг
<b>Цель - смягчение последствий обрушения</b>	
Задача 9	Аварийная готовность
Задача 10	Обращение с пылью
Задача 11	Аварийная система пылеподавления
<b>Цель - повышение ядерной безопасности</b>	
Задача 12	Критичность и ядерная безопасность
Задача 13	Обращение с водой на ОУ
Задача 14	Определение состава (ТСМ)
<b>Цель - повышение безопасности персонала и защита окружающей среды</b>	
Задача 15	Программа радиологической защиты
Задача 16	Промышленная безопасность, противопожарная защита, инфраструктура и контроль доступа
Задача 17	Интегрированная система мониторинга
Задача 18	Интегрированная база данных (контроль за конфигурацией)
<b>Цель - разработка стратегии и работы по подготовке к преобразованию ОУ в экологически безопасную систему</b>	
Задача 19	Изучение и разработка стратегии удаления ТСМ и обращения с РАО
Задача 20	Разработка технологии удаления ТСМ
Задача 21	Стратегия безопасного конфайнмента
Задача 22	Реализация безопасного конфайнмента для осуществления разборки и удаления ТСМ



Из общего перечня задач ПОМ были выделены 17 задач в качестве первоочередных проектов, основная цель выполнения которых заключалась в сборе данных, рассмотрении альтернативных вариантов и подготовке материалов для принятия технических решений по реализации конкретных проектов.

Связанные между собой первоочередные проекты были сгруппированы в четыре пакета:

пакет А – «Гражданское строительство» (задачи 1, 6, 7, 21);

пакет В – «Эксплуатация и мониторинг» (задачи 8, 15÷18);

пакет С – «Аварийные системы» (задачи 9÷13);

пакет D – «Топливосодержащие материалы» (задачи 14, 19, 20).

В середине 1998 г. были подписаны контракты с победителями тендеров по указанным пакетам. В работах по выполнению первоочередных проектов приняли участие около 30 компаний из разных стран, среди которых Morrison Knudsen Ltd (США), BNFL Engineering Ltd (Великобритания), NUKEM (Германия), SGN (Франция), JGC Corporation (Япония), РНЦ «Курчатовский институт» (Россия) и другие.

Завершение работ по выполнению первоочередных проектов предполагало принятие следующих программных решений, которые бы определяли пути последующей деятельности по достижению целей ПОМ:

П1 – стратегия стабилизации и экранирования;

П2 – решение по стратегии стабилизации кровли, опор и конструкций;

П3 – отчет о состоянии строительных конструкций и система контроля состояния строительных конструкций;

П4 – решение по системе сейсмического мониторинга;

П5 – критичность и ядерная безопасность;

П6 – обращение с водой объекта «Укрытие»;

П7 – предварительное решение по стратегии извлечения ТСМ и обращению с РАО;

П8 – изучение и разработка стратегии извлечения ТСМ;

П9 – решение по прототипу извлечения ТСМ;

П10 – стратегия нового безопасного конфайнмента (НБК).

Главным итогом деятельности по реализации первоочередных проектов в составе пакета А стало принятие программных решений П1, П2 и П10.

В решениях П1 и П2 был определен необходимый и достаточный комплекс мероприятий по стабилизации строительных конструкций ОУ.

Решение П10 определило стратегию НБК как комплекса строительных конструкций, систем, участков и оборудования. В качестве базового варианта НБК принята конструкция типа АРКА.

Другие программные решения, которые были приняты по итогам выполнения первоочередных проектов в составе пакетов В, С и D, к сожалению, на сегодняшний день не получили дальнейшего развития.

В соответствии с Постановлением Кабинета Министров Украины № 1561 от 28 декабря 1996 г. была разработана и утверждена решением Правительственной комиссией по вопросам комплексного решения проблем Чернобыльской АЭС (протокол № 5 от 18.04.1997 г.) первоначальная редакция «Стратегии преобразования объекта «Укрытие»».

С учетом основных результатов выполнения первоочередных проектов ПОМ «Стратегия преобразования объекта «Укрытие»» (далее – Стратегия) была доработана и принята решением Межведомственной комиссии по комплексному решению проблем Чернобыльской АЭС от 12 марта 2001 г.

В основу данной Стратегии положены общепризнанные фундаментальные принципы и концепции целей безопасности, отображенные в требованиях действующих норм, правил и стандартов по безопасности.

В соответствии со Стратегией конечной целью преобразования объекта «Укрытие» является ликвидация последствий аварии на 4-м энергоблоке ЧАЭС, т.е. устранение источников радиационной и ядерной опасности объекта. Извлечение ТСМ из объекта «Укрытие» на сегодня считается условием его преобразования в экологически безопасную систему и снятия его с эксплуатации. Переход к его снятию с эксплуатации может считаться завершенным только тогда, когда ТСМ будут переведены в ядерно-безопасное состояние и поставлены на контролируемое хранение или захоронены. Важнейшей предпосылкой решения этой проблемы является скорейшее создание необходимой инфраструктуры и надежных хранилищ для приема ТСМ, которые будут извлечены из объекта «Укрытие», на хранение в качестве долгосуществующих ядерно-опасных радиоактивных отходов и дальнейшего их захоронения.

На протяжении всего процесса преобразования объекта «Укрытие» в экологически безопасную систему необходимо обеспечить:

- защиту здоровья нынешнего и будущих поколений и окружающей среды от радиационных последствий аварии;

- снижение до минимально возможного уровня количество вновь образующихся радиоактивных отходов;

- соблюдение требований безопасности в соответствии с действующими нормами и законами.

Стратегией определены три основных этапа преобразования объекта «Укрытие» в экологически безопасную систему:

**Этап 1** - стабилизация состояния существующего объекта, повышение эксплуатационной надежности и долговечности конструкций и



систем, обеспечивающих стабилизацию и контроль показателей безопасности объекта «Укрытие».

**Этап 2** - создание дополнительных защитных барьеров, в первую очередь конфайнмента, что обеспечит необходимые условия для технической деятельности на этапе 3 и безопасность персонала, населения и окружающей среды, подготовительные инженерно-технические работы, направленные на разработку технологий извлечения ТСМ на этапе 3, создание инфраструктуры для обращения с РАО объекта «Укрытие».

**Этап 3** – извлечение из объекта «Укрытие» ТСМ и долгосуществующих РАО, их кондиционирование с последующим хранением и захоронением в хранилищах РАО в соответствии с действующими стандартами, снятие с эксплуатации объекта «Укрытие».

### **Этап 1. Стабилизация**

Цель этапа 1 - контроль и уменьшение обобщенного риска, неприемлемого в ближайшей перспективе.

Основные цели безопасности на этапе стабилизации:

снижение вероятности потенциальных аварий, связанных с разрушением строительных конструкций, выполняющих функцию удержания радиоактивных веществ и ионизирующего излучения в пределах существующего объекта «Укрытие» (путем стабилизации состояния и усиления строительных конструкций);

уменьшения последствий аварии, связанной с разрушением конструкции (за счет повышения аварийной готовности и модернизации системы пылеподавления);

улучшение контроля над источниками ядерной опасности путем модернизации контроля и средств управления критичностью ТСМ, в том числе, путем предотвращения проникновения замедлителей (воды и т.п.) к скоплениям ТСМ;

мониторинг состояния объекта «Укрытие» и окружающей среды, включающей, в том числе, гидрогеологическое изучение состояния объекта, паспортизацию помещений и строительных конструкций для повышения степени экологической и производственной безопасности.

Вопрос стабилизации строительных конструкций объекта «Укрытие» подробно рассмотрены в разделе 8.

Система комплексного мониторинга состояния объекта «Укрытие» и влияния его на окружающую среду создается с целью контроля источников ядерной, радиационной, производственной и экологической опасности объекта.

Система должна обеспечить комплексный процесс сбора, обработки и хранения информации о состоянии параметров безопасности, в частности:

контроль ядерной безопасности, предусматривающий постоянное наблюдение за состоянием ТСМ, выявление отклонений от безопасных значений параметров, а также прогнозирование возможных аварийных ситуаций и меры воздействия для их предупреждения (определение критичности и мер воздействия на критичность);

комплексный контроль параметров радиационной обстановки и ее прогнозирование;

контроль количества воды, протечек, влаги, потоков воздуха и метеорологических условий;

геосейсмический мониторинг;

контроль строительных конструкций (датчики перемещений, устройств смещения, датчики контроля температуры, ультразвуковые и другие средства определения характеристик поврежденных конструкций);

контроль доступа на объект «Укрытие», реконструкция системы физической защиты;

контроль уровня пожарной безопасности;

контроль гидрогеологического состояния и миграции радионуклидов с промплощадки объекта «Укрытие»;

контроль характеристик ТСМ.

Кроме контроля состояния ТСМ предполагается изучение их характеристик и расположения для разработки средств воздействия на критичность, а также стратегии извлечения и обращения с ними как с РАО.

Для снижения влияния водных сред объекта на его безопасность и окружающую среду необходимы: разработка комплекса мероприятий по уточнению мест скопления воды, организация раздельной схемы их сбора, сбор и очистка, а также упомянутая выше система контроля этих вод и меры по уменьшению поступления атмосферных осадков внутрь объекта «Укрытие».

Предотвращение влияния пожаров и их последствий на ядерную и радиационную безопасность осуществляется путем создания системы пожарной защиты, обеспечивающей выявление и максимально возможное ограничение очагов пожарной опасности, своевременное выявление и ликвидацию возгораний, изоляцию наиболее опасных зон, организацию автоматической системы обнаружения и тушения пожаров, постоянную готовность к реализации организационных мер по ликвидации пожаров.

## ***Этап 2. Строительство конфайнмента и подготовка к извлечению ТСМ и других РАО***

Цель этапа 2 – обеспечение ядерной и радиационной безопасности ТСМ.



Достижение этой цели осуществляется путем строительства НБК, демонтажа и укрепления нестабильных строительных конструкций объекта «Укрытие», созданием локальных защитных барьеров и эксплуатацией систем контроля TCM, а также путем разработки технологии извлечения TCM и проведения демонстрационных экспериментов.

Основные направления работ на этапе 2:

- разработка проектной документации, строительство и ввод в эксплуатацию НБК;

- демонтаж и укрепление нестабильных конструкций объекта «Укрытие»;

- разработка технологии извлечения TCM с детальным рассмотрением каждой операции;

- контроль инженерных барьеров, состояния строительных конструкций и миграции радионуклидов в грунтовые воды;

- создание дистанционно-управляемых механизмов для реализации технологий извлечения TCM;

- осуществление демонстрационного извлечения TCM;

- создание локализирующих барьеров и защитных экранов для безопасного обращения с TCM и нераспространения радиоактивности за пределы объекта «Укрытие».

Сложность второго этапа работ заключается в том, что на современном уровне развития науки и техники нет готовых, адаптированных к условиям объекта «Укрытие», технологий сбора, переработки и захоронения TCM как высокоактивных отходов. Необходима доработка существующих технологий, создание производств по переработке РАО, хранилищ и сопутствующей инфраструктуры, разработка программы извлечения TCM.

### ***Этап 3. Извлечение TCM и других РАО***

На этом этапе осуществляется извлечение TCM из объекта «Укрытие», перевод их в контролируемое состояние путем обеспечения подконтрольного хранения внутри защитных барьеров и/или захоронения в геологических хранилищах РАО. Все TCM должны быть разделены по уровню активности, кондиционированы и переведены перед размещением на хранение в безопасное состояние (как высокоактивные и ядерно-опасные РАО). Учет TCM должен осуществляться в соответствии с требованиями действующего законодательства.

Завершение преобразования объекта «Укрытие» в экологически безопасное состояние после полного устранения ядерной опасности (извлечения поврежденного ядерного топлива) осуществляется в процессе снятия объекта с эксплуатации в соответствии с проектом, который должен быть разработан на основе экологических требований, опыта

реализации предыдущих этапов, дополнительного изучения состояния объекта «Укрытие» и возможных вариантов осуществления технических решений.

На этапе снятия объекта «Укрытие» с эксплуатации должны быть устранены долгосрочные риски, связанные с неизвлеченными радиоактивными материалами. Выбор направлений перевода объекта «Укрытие» в экологически безопасное состояние (путем захоронения краткосуществующих РАО на месте или их извлечения из объекта) определяется проектом снятия объекта с эксплуатации в соответствии с имеющимися техническими и финансовыми ресурсами.

Основная часть работ, выполнение которых предусмотрено на этапах 1 и 2, осуществляется в рамках ПОМ. При этом часть работ, которые были запланированы на этапе 1, уже завершена. В частности, это касается модернизации системы пылеподавления и стабилизации строительных конструкций. Завершается работа по созданию интегрированной автоматизированной системы контроля. Сейчас осуществляется проектирование НБК, строительство которого создаст предпосылки для реализации дальнейших планов по преобразованию объекта «Укрытие» в экологически безопасную систему.

#### Список литературы к разделу 7

1. *Решение* НТС Минатомэнергопрома СССР от 15.03.1991 г. Принципиальные подходы к вопросу преобразования объекта «Укрытие» в долговременную, неизменную экологически безопасную систему. Утверждено Министром СССР Коноваловым В. Ф. (Москва).
2. *Описание* объекта «Укрытие» и требования к его преобразованию. - К.: Наук. думка, 1992. - С. 48.
3. *Chernobyl Unit 4 – Short and Long Term Measures – Final Report*. Tacis Services DgIA, European Commission, Brussels, November 1996.
4. *Chernobyl Unit 4 – Shelter Implementation Plan, Version 3.0*, 31.05.97. The EC – Tacis Safety Programme and the US-DoE-INSP Programme, 243 p.



## РАЗДЕЛ 8

### Стабилизация строительных конструкций объекта «Укрытие»

#### 8.1. Общая характеристика состояния строительных конструкций до реализации стабилизационных мероприятий

Учитывая, что строительные конструкции выполняют функцию физического барьера на путях выхода радиоактивных веществ и ионизирующего излучения в окружающую среду, проблема их надежности и долговечности является чрезвычайно актуальной для обеспечения ядерной и радиационной безопасности объекта «Укрытие».

Проведенные исследования показали, что устойчивость существующей совокупности конструкций недостаточна при экстремальных воздействиях (землетрясение, смерч и другие), а в некоторых критических зонах - и при умеренных дополнительных нагрузках, главным образом, в связи с местными повреждениями, перегрузкой, значительными сдвигами и коррозией. Основным отрицательным фактором является то, что при строительстве объекта «Укрытие» в чрезвычайно тяжелых радиационных условиях не возможно было обеспечить соблюдение нормативных требований к опорным закреплениям конструкций и к контролю качества монтажа.

В течение 1988 - 1989 гг. проводились исследования и паспортизация доступных помещений и выявление зон аварийного состояния строительных конструкций, влияющих на общую устойчивость и целостность объекта «Укрытие». Исследования проводились специалистами ВНИПИЭТ и КЭ ИАЭ. Было выявлено три зоны, требующие выполнения немедленных противоаварийных работ:

- верхний ярус каркаса деаэрационной этажерки;

- перекрытие над южным помещением главных циркуляционных насосов (помещение 402/3);

- перекрытие над южным помещением воздухопроводов вытяжной вентиляции (помещение 805/3).

При осмотре верхнего яруса каркаса деаэрационной этажерки (в осях Б - В / 41 - 51) было установлено, что колонны отклонились от вертикали в сторону машинного зала на величину 700 - 1100 мм. В местах стыка колонн образовались изломы с шириной раскрытия трещин порядка 150 мм, продольная рабочая арматура разорвалась, глубина проникновения трещин в глубь сечения колонн составила 0,6 - 0,9 м. Жесткие узловые сопряжения колонн и ригелей также разрушились, что подтверждалось разрывом верхних рабочих арматурных стержней растянутой зоны и сдвигом ригелей с опорных консолей на 70 - 150 мм. При этом на

перекрытии (выше отметки 38,600) образовались завалы строительных конструкций, оборудования и материалов, применявшихся в процессе ликвидации последствий аварии, высотой от 3 до 5 м.

Такое состояние конструкций каркаса верхнего яруса деаэрационной этажерки было классифицировано как аварийное. Серьезность ситуации обуславливалась тем, что поврежденные колонны по оси Б были перегружены за счет опирания на них конструкций покрытия над машинным залом. Разрушение колонн повлекло бы за собой обрушение этого покрытия, а также других металлоконструкций южной части объекта «Укрытие» (балки «Осьминог», южных «щитов-ключек»). При более неблагоприятном развитии ситуации не исключалось обрушение опор балки «Мамонт» и возможность последующего обрушения металлоконструкций покрытия над южной частью реакторного блока.

На основании полученных данных о состоянии конструкций каркаса верхнего яруса деаэрационной этажерки было оперативно осуществлено закрепление верхней зоны железобетонных колонн оси Б путем устройства наклонных тяжей из двух швеллеров № 16, приваренных к заполненным бетоном емкостям деаэраторов. Одновременно были установлены подкосы из двух швеллеров № 24 для подкрепления ригелей в середине их пролета (рис. 8.1).

Кроме того, были демонтированы фермы покрытия машинного зала, которые опирались на консоли поврежденных колонн деаэрационной этажерки (проектное решение 1986 г.), и вместо них смонтировано новое покрытие с опиранием на сталебетонные стены, вновь возведенные в машинном зале (см. рис. 8.1). Особенность нового покрытия заключается в том, что оно не нагружает колонны деаэрационной этажерки и одновременно выполняет роль горизонтального упора, препятствующего нежелательному их смещению в сторону машинного зала.

В результате обследования помещения главных циркуляционных насосов (помещение 402/3) в осях Г - Е / 41 - 50 было установлено, что стена и колонны по оси Г отклонились в сторону оси В деаэрационной этажерки на  $400 \div 600$  мм. В узлах сопряжения ригелей с колоннами отмечены разрывы верхних стержней арматуры ригелей и значительные отколы бетона. Такое состояние колонн каркаса и перекрытия было признано аварийным. Усиление этих конструкций было осуществлено путем подведения поддерживающих металлоконструкций под ригели в районе их опирания на консоли колонн (рис. 8.2). Конструкции усиления выполнены в виде несущих металлических ферм, объединенных в пространственные блоки системой горизонтальных и вертикальных связей, которые дистанционно были надвинуты в проектное положение по существующим подкрановым путям мостового крана.



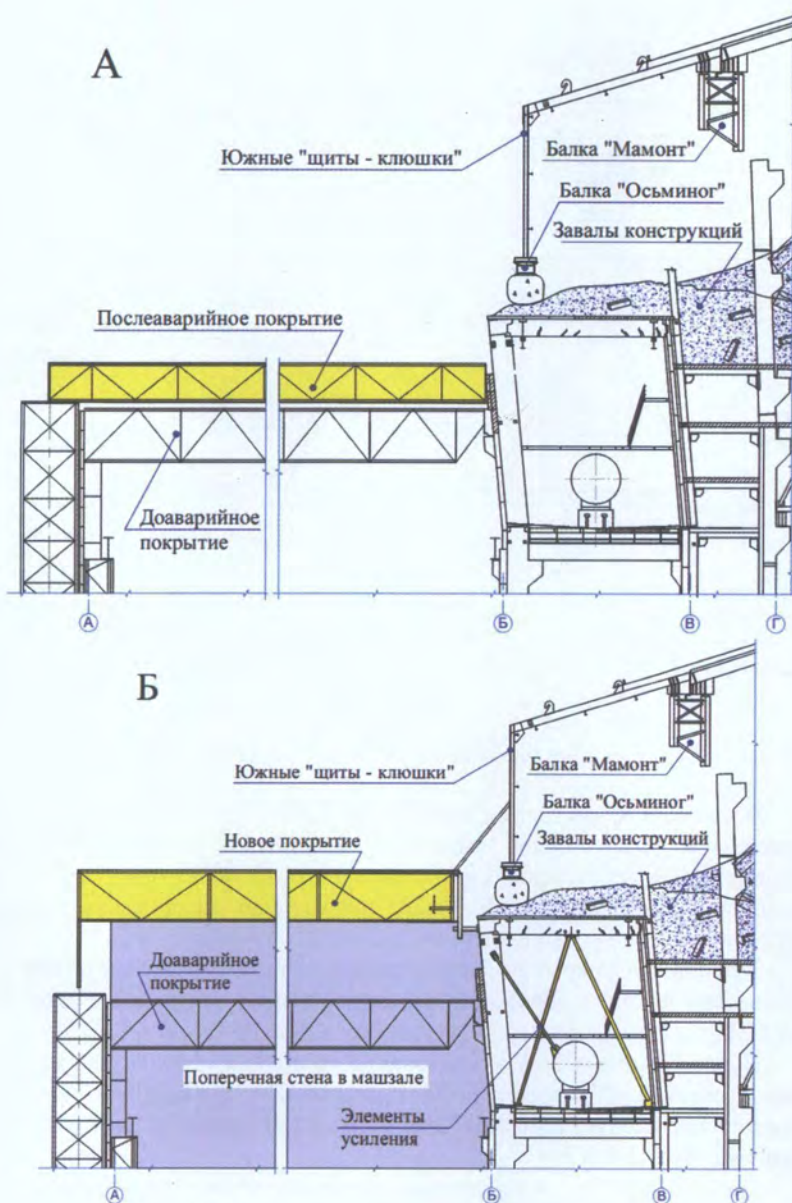


Рис. 8.1. Усиление каркаса деаэрационной этажерки:  
А - состояние до усиления; Б - состояние после усиления.

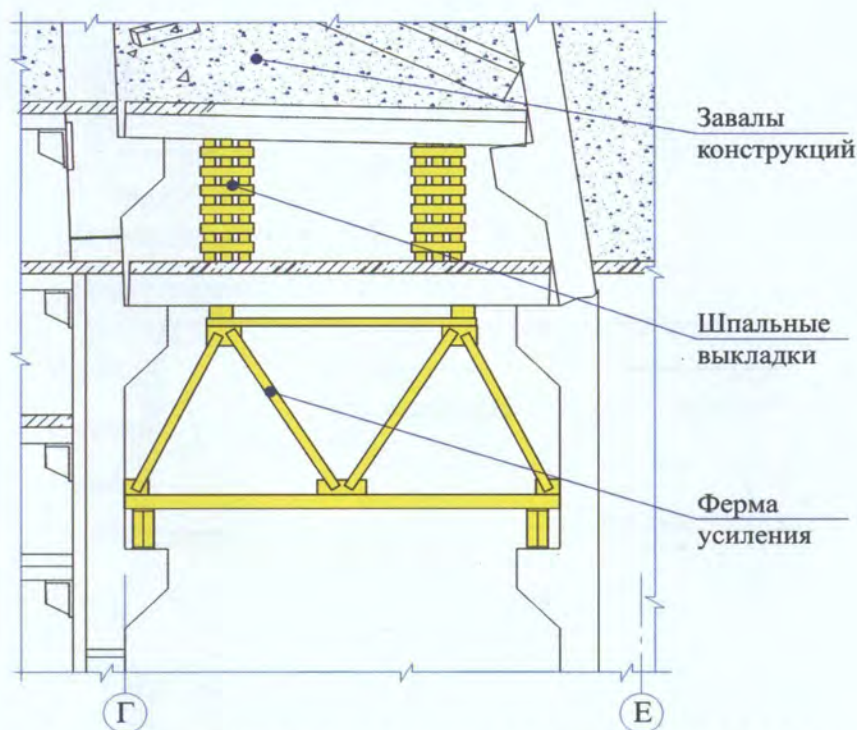


Рис. 8.2. Конструкция усиления перекрытий в помещениях 402/3 и 805/3.

В аварийном состоянии также находилось перекрытие над южным помещением воздуховодов вытяжной вентиляции (помещение 805/3). Соприкасания железобетонных ригелей с колоннами по оси Г и железобетонной стеной по оси Е были значительно повреждены, ригели сместились с опорных консолей.

Усиление перекрытия было выполнено путем подведения под низ ригелей выкладок из обработанных антисептиком деревянных шпал (см. рис. 8.2).

После распада СССР исследования состояния строительных конструкций объекта «Укрытие» были продолжены украинскими организациями. Особо следует отметить значительный объем работ, выполненный специалистами НИИСК [1 - 17].

Особенности этих исследований, проводимых после 5-летнего срока эксплуатации локализирующего сооружения (на протяжении 1992 - 1997 гг.) заключались:



в расширении объемов исследований (дополнительно оценивалось состояние несущих конструкций западного фрагмента - железобетонной стены по оси 50 с примыкающим каркасом и стенами между осями 49 - 51', опорных узлов блоков балок Б1 и Б2 на стене по оси 50, защитно-разделительных стен и металлоконструкций покрытия, грунтов основания, смежных конструкций блоков В и ВСРО);

в комплексном подходе (сочетании натурных обследований с вероятностным анализом и численным моделированием, с созданием физических моделей).

В частности, в результате натурных обследований были обнаружены дефекты в зоне опирания южного блока балок Б1 и Б2 на западную стену по оси 50 и ряду Ж. Стена в этом месте во время аварии значительно отклонилась от проектного положения (около 1000 мм). Это обстоятельство было известно и раньше, поэтому поврежденный участок стены был усилен еще во время сооружения объекта «Укрытие» с помощью установки специальной металлической опалубки («корсета») с последующим заполнением ее бетоном. Но учитывая чрезвычайно тяжелые условия выполнения строительно-монтажных работ сразу же после аварии, проектные решения по усилению не были выполнены в полном объеме.

Проведенные обследования позволили установить фактические параметры «корсета», условия его опирания на завалы конструкций и на стену по оси 50, а также степень заполнения его бетоном. Состояние опоры блока балок Б1 и Б2 было признано аварийным.

В 1994 г. было выполнено усиление указанной опоры путем подведения под нижние пояса блока балок Б1 и Б2 металлических стоек, опираемых на бетонную поверхность внутри «корсета». Однако реализация этого мероприятия решила проблему повышения надежности опоры только частично. Сохранилась необходимость в более кардинальном усилении как непосредственно зон опирания блока балок Б1 и Б2, так и всего западного фрагмента реакторного блока, в состав которого входит стена по оси 50 и железобетонный каркас в осях 49÷51'.

Важным шагом в решении проблемы повышения надежности конструкций, оказывающих влияние на безопасность объекта «Укрытие», была ликвидация опасности, связанной с аварийным состоянием вентиляционной трубы ВТ-2.

В процессе обследования элементов и узлов несущего каркаса вентиляционной трубы, было выявлено около 30 дефектов, таких как обрыв элементов, недопустимый изгиб или потеря устойчивости элементов, значительные коррозионные повреждения и т.п. Один из таких дефектов изображен на рис. 8.3.



Рис. 8.3. Дефекты несущего каркаса вентиляционной трубы ВТ-2.

Ремонт несущего каркаса вентиляционной трубы был выполнен в 1998 г. в рамках международного проекта при участии специалистов Украины, США и Канады.

Начиная с 1998 г., дальнейшие работы по обследованию состояния строительных конструкций и их стабилизации выполняются в соответствии с ПОМ объекта «Укрытие».

В рамках ПОМ объекта «Укрытие» эти работы приобрели более системный и масштабный характер. Этому содействовали систематизация всей предыдущей информации о состоянии конструкций, получение новых данных натурных обследований и разработка компьютерных моделей для оценки надежности конструкций, оказывающих влияние на безопасность объекта «Укрытие».

Проведенный анализ состояния строительных конструкций за все время их существования, а также оценка эффективности ранее проведенных мероприятий по усилению аварийных узлов и элементов, позволил определить критические зоны объекта «Укрытие», требующие реализации дополнительных стабилизационных мероприятий.

Как уже отмечалось, усиление опорных узлов южных балок Б1 и Б2, выполненных в 1994 г., не обеспечило приемлемого уровня надежности этих узлов. Кроме того, были выявлены дефекты в зоне опирания северных балок Б1 и Б2. Поэтому, учитывая важность надежности этих



узлов для общей безопасности объекта «Укрытие», в 1999 г. было выполнено дополнительное усиление опор балок Б1 и Б2. Это усиление предусматривало приварку дополнительных опорных элементов для достижения более надежного опирания балок Б1 и Б2 на стену, а также усиление самой стены путем бетонирования ее верхней части (рис. 8.4).

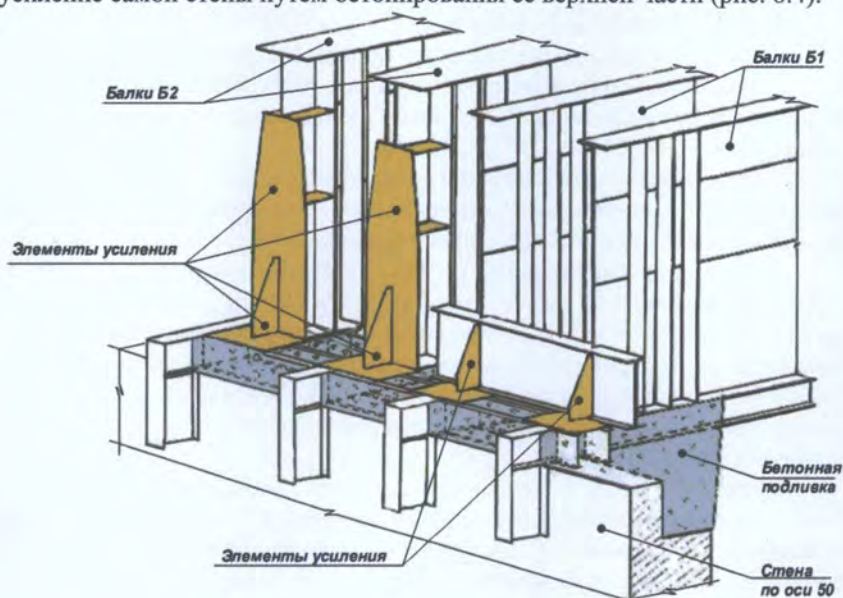


Рис. 8.4. Усиление опор балок Б1 и Б2.

Проектная документация для реализации указанного стабилизационного мероприятия была разработана международным консорциумом ICC(MK) в составе Washington Group International Inc. (США), BNFL Engineering Ltd. (Великобритания) и украинских организаций: Киевского института «Энергопроект» (КИЭП), Научно-исследовательского института строительных конструкций (НИИСК) и Института проблем безопасности атомных электростанций (ИПБ АЭС) НАН Украины.

Следует отметить, что выполненные обследования и перечисленные выше мероприятия по усилению конструкций позволили обеспечить безаварийную эксплуатацию объекта «Укрытие».

Наряду с этим стало очевидным, что любые локальные усиления опор блоков балок Б1 и Б1 не решают, в целом, проблемы надежности покрытия над разрушенным реакторным блоком. Это связано с тем, что весь западный фрагмент объекта «Укрытие», в состав которого входит стена по оси 50 и каркас по осям 49÷51', имеет значительные повреждения

(сквозные проломы в стене, трещины, горизонтальные смещения до 1000 мм) и находится в нестабильном состоянии.

Разрушение указанной зоны могло бы привести к обрушению тяжелого трубного наката, его падение на завалы центрального зала и конструкции, локализирующие ТСМ. Это могло бы спровоцировать смещение ТСМ, изменение их геометрии и, как следствие, не исключается возможность возникновения ядерного инцидента при попадании воды. Кроме того, разрушение этих строительных конструкций связано с значительным выбросом радиоактивных веществ, находящихся внутри объекта «Укрытие».

Таким образом, стабилизация западного фрагмента необходима для предупреждения возможного ядерного инцидента и значительных радиационных последствий для персонала и окружающей среды.

Несмотря на выполненные в 1988 - 1989 гг. мероприятия по закреплению верхнего яруса каркаса деаэрационной этажерки, состояние поврежденных колонн не стало стабильным, что подтверждалось данными измерений их деформаций. Радиационные последствия возможного разрушения конструкций деаэрационной этажерки обуславливаются раскрытием южной части объекта «Укрытие» и выбросом значительного количества радиоактивной пыли.

Учитывая эти обстоятельства, был сделан вывод о том, что стабилизация западного фрагмента и каркаса деаэрационной этажерки должна быть выполнена независимо от конструкции и сроков сооружения НБК. Это связано с тем, что возможное обрушение нестабильных конструкций объекта «Укрытие» в процессе эксплуатации НБК приведет к значительному загрязнению внутренних поверхностей защитной оболочки и технологического оборудования, что не позволит выполнять надлежащим образом функции НБК без осуществления дезактивации и других мероприятий по ликвидации последствий этой аварии. При этом реализация мероприятий по ликвидации последствий такой аварии приведет к значительному облучению персонала, которое может превысить дозозатраты на выполнение стабилизационных мероприятий до начала строительства НБК.

Произведенные обследования опор балки «Мамонт» обнаружили существенные дефекты, влияющие на показатели их надежности при экстремальном сейсмическом воздействии. В частности, положение западной опоры не соответствует проекту (опора развернута на 180°, нагрузка от балки «Мамонт» передается на опору со значительным эксцентриситетом). Основанием восточной опоры служит забетонированный завал из щебня и обломков разрушенных конструкций, в котором обнаружены значительные пустоты.



Отсутствие сварных или болтовых соединений щитов и «щитов-кляшек» с несущими конструкциями и между собой не обеспечивает целостность локализирующего сооружения объекта «Укрытие» при экстремальных ветровых и сейсмических нагрузках.

В целом по результатам проведенных исследований было выявлено 29 зон объекта «Укрытие», требующих принятия адекватных мер по их усилению. Эта группа нестабильных конструкций и узлов вошла в так называемый «Перечень 29» [18].

## 8.2. Объем стабилизационных мероприятий

Как уже отмечалось, до начала работ в рамках ПОМ, по результатам ранее выполненных исследований была выявлена группа нестабильных конструкций и узлов, вошедшая в «Перечень 29» [18].

Выполненный в рамках ПОМ (задача 1 пакета А) детальный анализ состояния строительных конструкций и результатов их расчета, а также оценка эффективности ранее проведенных мероприятий по усилению аварийных узлов и элементов, позволили оптимизировать как «Перечень 29», так и промежуточный «Перечень 20», рассматриваемый в предпроектном проекте [19].

В рекомендуемом комплексе из 15 стабилизационных мероприятий, отдельные мероприятия «Перечня 29» и «Перечня 20» были исключены, другие сгруппированы по зонам и объединены в единый интегрированный проект (табл. 8.1) [20]. Решением ПП [21] была подтверждена достаточность рекомендуемого «Перечня 15» для стабилизации строительных конструкций ОУ на период до окончания строительства НБК.

*Таблица 8.1. Комплекс мероприятий по стабилизации строительных конструкций объекта «Укрытие» (рекомендуемый «Перечень 15»)*

№ мероприятия	Название стабилизационного мероприятия
<b>Западная зона</b>	
1	Усиление узлов опирания блоков балок Б1 и Б2 по осям 50/Ж и 50/П *
2	Усиление западного фрагмента объекта «Укрытие»
<b>Южная зона</b>	
3	Стабилизация каркаса деаэрационной этажерки
<b>Восточная и Северная зона</b>	
4	Усиление вентиляционных шахт
5	Бетонирование верхней части северной контрфорсной стены
<b>Покрытие</b>	
6	Соединение южных щитов между собой

№ мероприятия	Название стабилизационного мероприятия
7	Объединение южных «щитов-ключек» между собой
8	Соединение южных «щитов-ключек» с южными щитами
9	Соединение северных «щитов-ключек» между собой
10	Фиксация северных щитов к балкам Б1 траверсами
11	Соединение северных «щитов-ключек» с контрфорсной стеной при помощи анкеров-фиксаторов
12	Упор южных плоских щитов в стену по оси 50
13	Объединение дисков северной и южной складок посредством элементов трубного наката
14	Усиление западной опоры балки «Мамонт»
15	Упоры южных «щитов-ключек» в стены машинного зала

\* Мероприятие реализовано в 1999 г.

Интегрированный (концептуальный) проект был согласован ГКЯР Украины при условии, что рекомендуемый комплекс стабилизационных мероприятий будет уточнен на стадии рабочего проектирования [22, 23].

Впоследствии рекомендуемый «Перечень 15» был уточнен (табл. 8.2), что зафиксировано в решении П2 [24].

Таблица 8.2. Уточненный перечень стабилизационных мероприятий (согласно П2)

№ мероприятия	Название стабилизационного мероприятия
	<b>Западная зона</b>
2	Усиление западного фрагмента объекта «Укрытие»
	<b>Южная зона</b>
3	Стабилизация каркаса деаэрационной этажерки
	<b>Восточная и Северная зона</b>
4	Локальное усиление вентиляционных шахт
5	Бетонирование верхней части северной контрфорсной стены
	<b>Покрытие</b>
8	Соединение южных «щитов-ключек» с южными щитами
11	Соединение северных «щитов-ключек» с контрфорсной стеной при помощи анкеров-фиксаторов
14	Усиление западной опоры балки «Мамонт»
14а	Усиление восточной опоры балки «Мамонт»
б/н	Ремонт легкой кровли



В задании на проектирование стабилизации строительных конструкций объекта «Укрытие» [25] были выделены две категории мероприятий:

мероприятия, необходимость проектирования и реализации которых уже определена. В перечень данных мероприятий вошли мероприятия 2, 3, 5, 8 и 11. При этом рабочее проектирование мероприятий 5 и 11 совмещено и их реализация осуществляется одновременно;

мероприятия, необходимость проектирования и реализации которых зависит от определенных предварительных условий. Дополнительно мероприятия, входящие в эту категорию, подразделены на подкатегории:

- мероприятия, целесообразность проектирования которых подтверждена, а целесообразность их реализации необходимо обосновать соответствующим анализом «доз/затрат/выгод». В эту подкатегорию вошли мероприятия 4 и 14;

- мероприятия, целесообразность проектирования и реализации которых зависит от результатов предварительного и окончательного анализа «доз/затрат/выгод». В эту подкатегорию вошли мероприятия 14а и б/н. Для данных мероприятий вначале предполагалась разработка на концептуальном уровне альтернативных вариантов и выбор предпочтительного в соответствии с результатами предварительного анализа «доз/затрат/выгод». Впоследствии на этапе рабочего проектирования подтверждалась целесообразность реализации стабилизационных мероприятий 14а и б/н по итогам окончательного анализа «доз/затрат/выгод».

В течение 2002 - 2003 гг. консорциумом КСК, состоящим из украинских организаций КИЭП, НИИСК и ИПБ АЭС НАН Украины, был разработан и согласован с регулируемыми органами Украины рабочий проект стабилизационных мероприятий.

По результатам рабочего проектирования были рекомендованы к реализации неотложные стабилизационные мероприятия 2, 3(3в, 3с), 5, 8, 11, 14 и 14а.

Минимальный объем неотложных стабилизационных мероприятий был выбран с учетом таких основных факторов:

- усиление наиболее ненадежных и опасных по последствиям обрушения конструкций локализирующего сооружения;

- минимизация доз облучения персонала, выполняющего строительно-монтажные работы;

- строительство нового безопасного конфайнмента в ближайшие годы.

Соответствующее Техническое решение ГСП ЧАЭС «О количестве неотложных стабилизационных мероприятий, принятых к реализации в рамках стабилизации строительных конструкций на ОУ» от 06.05.2004 г.

было согласовано ГКЯР (письмо №14-14/2560 от 18.05.04). В то же время ГКЯР в регулирующем решении по согласованию вышеуказанного Технического решения ГСП ЧАЭС подчеркнул, что в случае задержки строительства НБК он будет настаивать на расширении объема стабилизации.

В ходе реализации неотложных стабилизационных мероприятий было выявлено, что фактические дозы облучения персонала оказались ниже расчетных. Это было обусловлено оптимизацией технологии производства строительно-монтажных работ, применением современного строительного оборудования, эффективных экранирующих устройств и более совершенных СИЗОД, а также тем, что фактические радиационные параметры в ЗПР в целом были более благоприятными, чем те, которые использовались в оценках дозозатрат на этапе проектирования. Данное обстоятельство позволило пересмотреть вопрос о ремонте легкой кровли объекта «Укрытие», которое было отложено по результатам анализа «доз/затрат/выгод» на этапе разработки рабочего проекта. С учетом положительного опыта реализации неотложных стабилизационных мероприятий ГСП ЧАЭС принял Техническое решение №30 от 22.06.07 о выполнении ремонта легкой кровли (мероприятие б/н).

### **8.3. Классификация строительных конструкций по степени влияния на радиационную и ядерную безопасность**

В соответствии с документом [2] основной функцией безопасности, которую выполняют строительные конструкции объекта «Укрытие», является локализирующая функция, обеспечивающая предотвращение и ограничение распространения радиоактивных веществ и ионизирующего излучения в окружающую среду.

Исходя из существующих оценок радиационных последствий в случае разрушения локализирующего сооружения объекта «Укрытие», это сооружение в целом, в соответствии с требованиями ПиН АЭ-5.6 [13], может быть отнесено к I категории по условиям ответственности за ядерную и радиационную безопасность (ЯРБ).

В то же время, учитывая, что обрушение отдельных конструкций локализирующего сооружения объекта «Укрытие» не приведет к облучению персонала и населения сверх установленных санитарными нормами пределов доз, эти конструкции могут быть отнесены ко II категории по условиям ответственности за ЯРБ согласно ПиН АЭ-5.6.

На основе требований ПиН АЭ-5.6 была выполнена классификация строительных конструкций объекта «Укрытие» при разработке проектных критериев для «Интегрированного проекта стабилизации» [14]. Для



отнесения конструкций к I или II категории по условиям ответственности за ЯРБ, использовались следующие характеристики последствий:

площадь раскрытия локализирующего сооружения объекта «Укрытие»;

масса обрушенных конструкций;

расположение участков обрушенных конструкций (над ЦЗ или за его пределами). При этом в состав ЦЗ условно включались также смежные с ним помещения (боксы сепараторов, помещения воздухопроводов вытяжного вентиляционного центра), которые вследствие разрушения внутренних стен практически объединились в одно целое – развал реакторного блока).

При оценке радиационных последствий локальных разрушений конструкций объекта «Укрытие» в документе [14] использовались результаты ранее выполненных оценок последствий обрушения локализирующего сооружения объекта, изложенных в отчете по безопасности [15].

В ОСБ ОУ [1], при классификации строительных конструкций объекта «Укрытие», дополнительно рассматривалось влияние их обрушения на состояние ТСМ.

С использованием подходов и оценок последствий, изложенных в документах [1, 14], в настоящем разделе актуализирована классификация строительных конструкций объекта «Укрытие» после реализации стабилизационных мероприятий.

Перечень возможных разрушений локализирующего сооружения объекта «Укрытие» после стабилизации, последствия разрушений и категории конструкций по условиям ответственности за ЯРБ, приведены в табл. 8.3. При этом рассматриваются только те отказы, которые могут привести к наихудшим последствиям и, следовательно, являются определяющими при определении категорий конструкций.

Для ранжирования последствий разрушения конструкций локализирующего сооружения объекта «Укрытие» использован подход к классификации радиационных аварий по масштабам, в соответствии с НРБУ-97, а также с учетом наличия зоны отчуждения вокруг ЧАЭС:

к промышленным авариям относятся такие радиационные аварии, последствия которых не распространяются за пределы зоны отчуждения, а аварийному облучению может подвергаться только персонал;

к коммунальным авариям относятся радиационные аварии, последствия которых распространяются за пределы зоны отчуждения, где проживает население.

Таким образом, с учетом вышеизложенного, к I категории отнесены конструкции объекта «Укрытие», отказы которых могут привести к аварийному облучению населения в условиях коммунальной аварии.

Кроме того, к I категории отнесены конструкции объекта «Укрытие», отказы которых могут повлиять на состояние ядерной безопасности, вследствие:

создания дополнительных путей и увеличение объема поступления атмосферных осадков (воды) в ядерно-опасные скопления ТСМ;

нарушения функций контроля состояния ТСМ и поддержания их в подкритическом состоянии (в результате повреждения/разрушения соответствующих систем объекта «Укрытие»);

неконтролируемого перемещения ТСМ с образованием новых ядерно-опасных композиций.

К II категории отнесены конструкции (не вошедшие в I категорию), отказы которых могут привести к аварийному облучению персонала в условиях промышленной аварии.

Учитывая радиационную опасность объекта «Укрытие», в составе его локализирующего сооружения отсутствуют конструкции III категории.

Приведенные в табл. 8.3 данные по классификации конструкций локализирующего сооружения объекта «Укрытие» подтверждают приоритетность реализации неотложных стабилизационных мероприятий 2, 3(3в и 3с), 5 и 11, 8, 14 и 14а, поскольку усилению подлежат конструкции, преимущественно относящиеся к I категории (за исключением северной контрфорсной стены и северных щитов-ключек).

Следует отметить, что после выполнения неотложных стабилизационных мероприятий произошли незначительные изменения в классификации конструкций локализирующего сооружения объекта «Укрытие». Эти изменения связаны с тем, что стена по оси 50 с примыкающими конструкциями после стабилизации отнесена к II категории, а новые металлоконструкции усиления - к I категории. Остальные конструкции сохранили принадлежность к тем же категориям, что и до стабилизации. Однако вероятность их отказа после реализации стабилизационных мероприятий снизилась (см. подраздел 8.5).

## **8.4. Основные конструктивные решения стабилизационных мероприятий**

### **8.4.1. Стабилизация опор балки «Мамонт»**

Стабилизация западной опоры балки «Мамонт» (мероприятие 14) предусматривала усиление вертикальных крестообразных связей путем увеличения их сечения за счет приварки дополнительных элементов (рис. 8.5).



**Таблица 8.3. Перечень возможных разрушений локализирующего сооружения объекта «Укрытие»  
после стабилизации, последствия разрушений и категории конструкций по условиям ответственности за ЯРБ**

№ п/п	Наименование конструкций, разрушение которых может привести к отказу других конструкций ОУ	Зависимые отказы других конструкций	Последствия разрушения конструкций		Категория конструк- ций по условиям ответствен- ности за ЯРБ
			Площадь раскрытия ОУ и масса обрушенных конструкций	Характер и степень влияния на ЯРБ	
1	2	3	4	5	6
1	<b>Западная зона</b>				
1.1	Металлоконструкци и усиления	Обрушение кровли над центральным залом (ЦЗ), включая: - блоки балок Б1; - блоки балок Б2; - трубный накат; - легкую кровлю	S = 1200 м <sup>2</sup> Q = 1100 т	Коммунальная авария.  Влияние на состояние ядерной безопасности	I
		Обрушение кровли за пределами ЦЗ, включая: - южные плоские щиты; - северные щиты- кляшки	S = 2250 м <sup>2</sup> Q = 475 т		
1.2	Стена по оси "50" с примыкающими конструкциями	Обрушение участка кровли за пределами ЦЗ, включая: - балки К1, К2 по оси 51'; - западные щиты-кляшки; - западные плоские щиты	S = 1250 м <sup>2</sup> Q = 160 т	Промышленная авария	II

1	2	3	4	5	6
1.3	Западная контрфорсная стена	Обрушение участка кровли за пределами ЦЗ (западные щиты покрытия)	S = 650м <sup>2</sup> Q = 60 т	Промышленная авария	II
		Обрушение ограждающих конструкций (раскрытие стен)	2500 м <sup>2</sup>		
1.4	Лестнично- лифтовой блок	Обрушение участка кровли за пределами ЦЗ	135 м <sup>2</sup>	Промышленная авария	II
		Обрушение ограждающих конструкций (раскрытие стен)	380 м <sup>2</sup>		
2	Южная зона				
2.1	Конструкции каркаса деаэрационной этажерки в осях Б-В	Обрушение участка кровли над ЦЗ и за его пределами, включая: -балку «Мамонт»; -балку «Осьминог»; -южные плоские щиты; -южные щиты-клюшки	S = 2250 м <sup>2</sup> Q = 800 т	Коммунальная авария	I
		Обрушение ограждающих конструкций (раскрытие стен)	3400 м <sup>2</sup>		
3	Восточная зона				
3.1	Южная вентиляционная шахта	Обрушение участка кровли над ЦЗ, включая: -южный блок балок Б1;	S = 2100 м <sup>2</sup> Q = 1210 т	Коммунальная авария.	I



1	2	3	4	5	6
		-балки Б2; -трубный накат; -легкую кровлю; -балку Б5; -восточные щиты-ключки Обрушение участка кровли за пределами ЦЗ (южные плоские щиты)	$S = 1250 \text{ м}^2$ $Q = 320 \text{ т}$	Влияние на состояние ядерной безопасности	
3.2	Северная вентшахта	Обрушение участка кровли над ЦЗ, включая: -северный блок балок Б1; -балки Б2; -трубный накат; -легкую кровлю; -балку Б5; -восточные щиты-ключки Обрушение участка кровли за пределами ЦЗ (северные щиты-ключки)	$S = 2100 \text{ м}^2$ $Q = 1210 \text{ т}$  $S = 1000 \text{ м}^2$ $Q = 155 \text{ т}$	Коммунальная авария.  Влияние на состояние ядерной безопасности	I
4	Северная зона				
4.1	Северная контрфорсная стена	Обрушение участка кровли за пределами ЦЗ (северные щиты - ключки)  Обрушение ограждающих конструкций (раскрытие стен)	$S = 1000 \text{ м}^2$ $Q = 155 \text{ т}$  $800 \text{ м}^2$	Промышленная авария	II

1	2	3	4	5	6
5	<b>Несущие конструкции покрытия</b>				
5.1	Северный блок балок Б1	Обрушение участка кровли за пределами ЦЗ (северные щиты - клюшки)	$S = 1000 \text{ м}^2$ $Q = 220 \text{ т}$	Коммунальная авария.  Влияние на состояние ядерной безопасности	I
5.2	Южный блок балок Б1	Обрушение участка кровли за пределами ЦЗ (южные плоские щиты)	$S = 1250 \text{ м}^2$ $Q = 380 \text{ т}$	Коммунальная авария.  Влияние на состояние ядерной безопасности	I
5.3	Блоки балок Б2	Обрушение участка кровли над ЦЗ, включая: - трубный накат; - легкую кровлю	$S = 1200 \text{ м}^2$ $Q = 980 \text{ т}$	Коммунальная авария.  Влияние на состояние ядерной безопасности	I
5.4	Балка "Мамонт" и ее опоры	Обрушение кровли за пределами ЦЗ, включая: - южные плоские щиты; - южные щиты- клюшки	$S = 2250 \text{ м}^2$ $Q = 680 \text{ т}$	Коммунальная авария	I



1	2	3	4	5	6
5.5	Балки БЗ или Б5	Обрушение участка кровли над ЦЗ (восточные щиты-кдюшки)	$S = 850 \text{ м}^2$ $Q = 130 \text{ т}$	Коммунальная авария. Влияние на состояние ядерной безопасности	I
5.6	Распределительные балки К-1, К-2	Обрушение кровли за пределами ЦЗ, включая: - западные плоские щиты; - западные щиты-кдюшки	$S = 1750 \text{ м}^2$ $Q = 195 \text{ т}$	Промышленная авария	II
5.7	Балка "Осьминог" и ее опоры	Обрушение участка кровли за пределами ЦЗ (южные щиты-кдюшки)	$S = 1000 \text{ м}^2$ $Q = 280 \text{ т}$	Промышленная авария	II
6	<b>Ограждающие конструкции покрытия</b>				
6.1	Северные щиты-кдюшки	Обрушение участка кровли за пределами ЦЗ (отдельного щита-кдюшки)	$S = 60 \text{ м}^2$ $Q = 9 \text{ т}$	Промышленная авария	II
6.2	Южные плоские щиты	Обрушение участка кровли над ЦЗ (отдельного щита)	$S = 180 \text{ м}^2$ $Q = 33 \text{ т}$	Коммунальная авария	I*
6.3	Южные щиты-кдюшки	Обрушение участка кровли за пределами ЦЗ (отдельного щита-кдюшки)	$S = 150 \text{ м}^2$ $Q = 32 \text{ т}$	Коммунальная авария	I*
6.4	Восточные щиты-кдюшки	Обрушение участка кровли над ЦЗ (отдельного щита-кдюшки)	$S = 525 \text{ м}^2$ $Q = 55 \text{ т}$	Коммунальная авария	I*

1	2	3	4	5	6
				Влияние на состояние ядерной безопасности	
6.5	Западные щиты-ключки	Обрушение участка кровли за пределами ЦЗ (отдельного щита ключки)	$S = 150 \text{ м}^2$ $Q = 20 \text{ т}$	Промышленная авария	II
6.6	Западные плоские щиты	Обрушение участка кровли за пределами ЦЗ (отдельного плоского щита)	$S = 130 \text{ м}^2$ $Q = 12 \text{ т}$	Промышленная авария	II
6.7	Легкая кровля	Отсутствуют	Повреждение кровли над трубным накатом до 40% площади	Промышленная авария	II
7	<b>Вентиляционная труба</b>				
7.1	Вентиляционная труба (обрушение над ЦЗ)	Обрушение кровли над ЦЗ, включая: -балку Б-3; -балку Б-5; -блоки балок Б2; -трубный накат; -легкую кровлю; -восточные щиты-ключки	$S = 2050 \text{ м}^2$ $Q = 1700 \text{ т}$	Коммунальная авария. Влияние на состояние ядерной безопасности	I

\* Отдельные элементы покрытия отнесены к I категории в связи с тем, что при воздействии смерча от перепада давления возможен их отрыв и опрокидывание со значительным выбросом радиоактивной пыли.



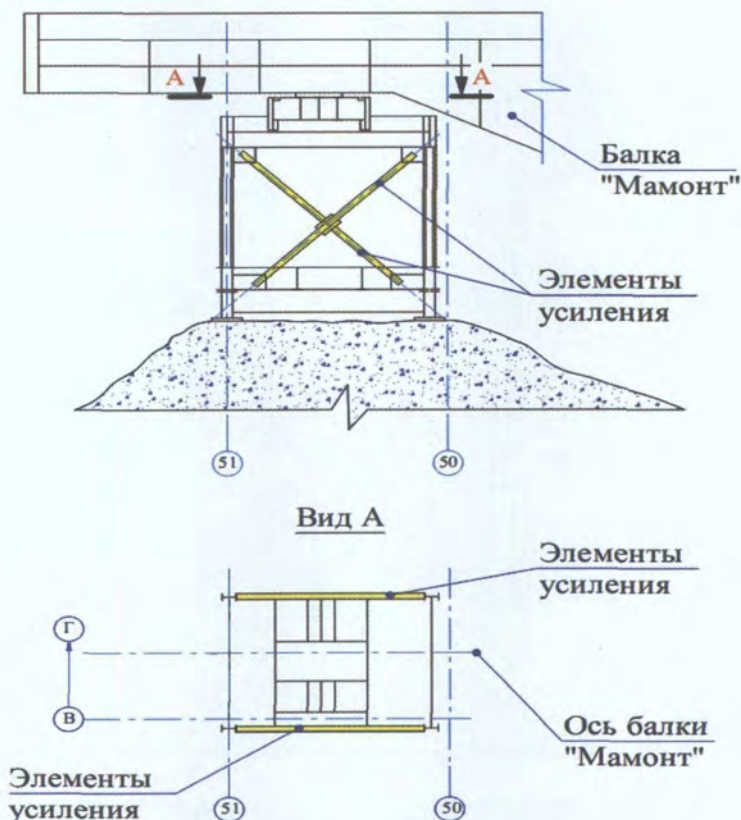


Рис. 8.5. Стабилизация западной опоры балки «Мамонт».

Стабилизация восточной опоры балки «Мамонт» (мероприятие 14а) осуществлялась за счет заполнения бетоном пустот, имеющих в ее основе (рис. 8.6).

#### 8.4.2. Стабилизация плит перекрытия

Стабилизация плит перекрытия (мероприятие 3с), имеющих недопустимые прогибы и трещины состояла в установке под ними металлических опор (рис. 8.7). Эти опоры предотвратили обрушение плит во время выполнения работ по усилению верхнего яруса каркаса деаэрационной этажерки, а также обеспечивают стабильность этих плит до выполнения демонтажных работ после возведения НБК.

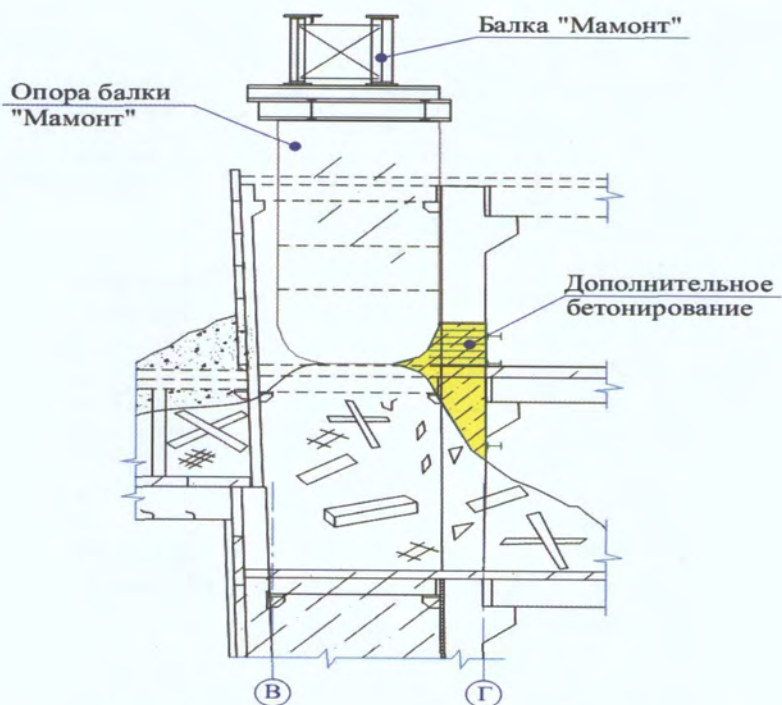


Рис. 8.6. Стабилизация восточной опоры балки «Мамонт».



Рис. 8.7. Стабилизация аварийных плит перекрытия.



### 8.4.3. Стабилизация каркаса деаэрационной этажерки

Стабилизация каркаса деаэрационной этажерки (мероприятия 3 и 3б) предполагала монтаж дополнительных металлических наклонных элементов (подкосов), объединяющих верхнюю часть колонн, имеющих значительное отклонение от вертикали в сторону машинного зала с конструкциями перекрытия, находящихся ниже и не имеющих существенных повреждений (рис. 8.8).

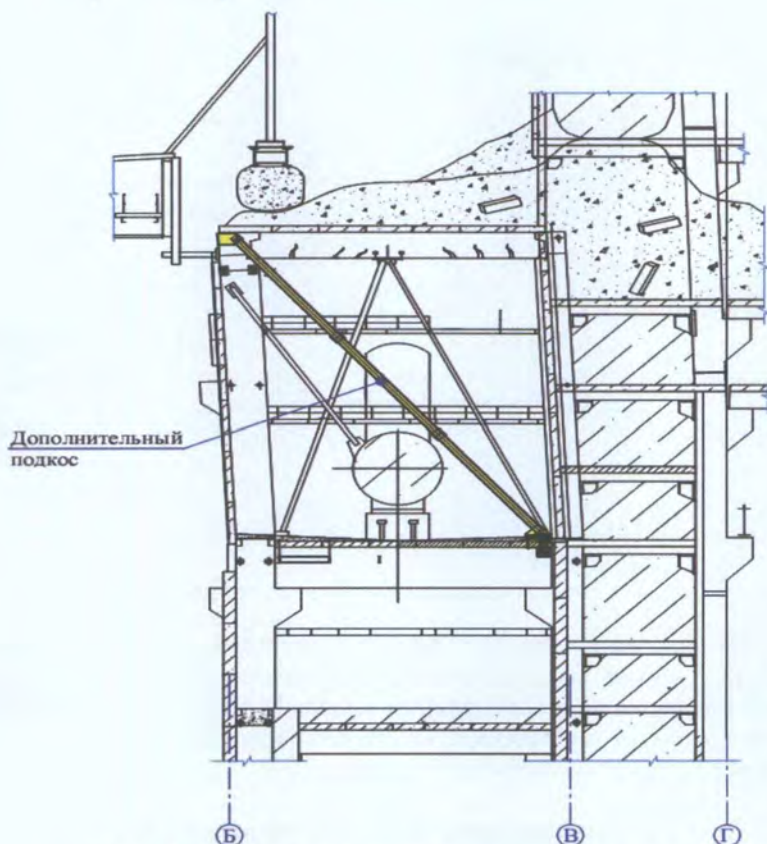


Рис. 8.8. Стабилизация каркаса деаэрационной этажерки.

### 8.4.4. Стабилизация северной части объекта «Укрытие»

Реализация стабилизационных мероприятий в северной части объекта «Укрытие» предусматривала решение одновременно двух проблем:

объединение в единую конструктивную систему северных элементов: «щитов-ключек» и контрфорсной стены (мероприятие 11);

укрепление контрфорсной стены путем бетонирования ее верхней части (мероприятие 5).

Объединение «щитов-ключек» и контрфорсной стены выполнено путем установки и закрепления в опорных частях «щитов-ключек» анкеров-фиксаторов, их размещением в незаполненном бетоном внутреннем пространстве стены с последующим бетонированием этого пространства (рис. 8.9).



Рис. 8.9. Стабилизация северной части ОУ

Бетонирование верхней части контрфорсной стены до проектной отметки (чего не было сделано при сооружении объекта «Укрытие») с установленными внутри анкерами-фиксаторами повысило надежность как самой стены, так и обеспечило восприятие «щитами-ключками» экстремальных ветровых и сейсмических нагрузок.

#### 8.4.5. Стабилизация южной части объекта «Укрытие»

Стабилизация южной части покрытия (мероприятие 8) осуществлялась путем соединения плоских щитов и «щитов-ключек» между собой в месте их опирания на балку «Мамонт». Это было достигнуто с помощью установления связующей фермы на внешней поверхности покрытия (рис. 8.10).





Рис. 8.10. Стабилизация южной части объекта «Укрытие».

#### 8.4.6. Стабилизация западного фрагмента объекта «Укрытие»

Стабилизации западного фрагмента объекта «Укрытие» (мероприятие 2) состояла в сооружении западнее контрфорсной стены двух пространственных металлических башен, установленных на массивные железобетонные фундаменты и соединенных между собой пространственными блок-фермами в трех уровнях (рис. 8.11).

Башни выполнены с консолями, предназначенными для опирания блоков балок Б1 и Б2, выполняющих функцию основных несущих элементов в системе существующего покрытия над разрушенным реакторным блоком.

Такое решение позволило снять нагрузку с поврежденных каркаса и стены западного фрагмента и передать ее на вновь возведенные конструкции башен.

Кроме этого, посредством системы специальных упоров, размещенных в трех уровнях, обеспечивается восприятие новыми конструкциями горизонтальных нагрузок от западного фрагмента в направлении «восток – запад» при сейсмическом воздействии.

Таким образом, создаются условия для фиксации существующего положения стены по оси 50 и прилегающего к ней каркаса и воспрепятствования дальнейшему их смещению в западном направлении, что может привести к обрушению западного фрагмента объекта «Укрытие».



Рис. 8.11. Стабилизация западного фрагмента объекта «Укрытие».

#### 8.4.7. Ремонт легкой кровли

Ремонт легкой кровли (мероприятие б/н) предусматривал:  
устройство нового покрытия из профилированного настила на 40 % площади кровли. Новое покрытие устанавливалось сверху существующего поврежденного покрытия;

замену нащельников между блоками кровли;

установку крышек и люков для модернизированной системы пылеподавления.

По результатам выполненного анализа «доз/затрат/выгод» данное мероприятие не было рекомендовано для неотложной реализации. Однако после окончания основных работ по неотложным стабилизационным мероприятиям и уточнения радиационной обстановки на легкой кровле, а также с учетом наличия обустроенных путей доступа в места выполнения работ была выполнена повторная оценка доз облучения персонала на реализацию данного мероприятия, которая позволила принять решение о целесообразности выполнения работ по ремонту кровли.



Ремонт легкой кровли позволил улучшить радиационную обстановку за счет сокращения поступления атмосферных осадков внутрь объекта «Укрытие» и снижения неорганизованных выбросов из него, а также повысить общепромышленную безопасность при эксплуатации систем объекта «Укрытие».

### **8.5. Соответствие строительных конструкций техническим критериям и требованиям безопасности**

Технические критерии и требования к строительным конструкциям локализирующего сооружения объекта «Укрытие» установлены в документах [29, 31]. Указанные документы содержат проектные критерии, связанные с учетом внешних и внутренних событий, критерии строительного проектирования, повреждаемости существующих конструкций, радиационной и общетехнической безопасности, а также критерии, определяемые взаимосвязью с другими видами деятельности по преобразованию объекта «Укрытие».

В общем виде, требования к целостности локализирующего сооружения объекта «Укрытие» формулируются следующим образом [26, 29]:

локализирующие функции существующей наружной оболочки объекта должны быть сохранены на протяжении всего установленного периода эксплуатации;

локализирующие функции существующей наружной оболочки должны быть обеспечены при экстремальных воздействиях таким образом, чтобы соблюдались требования действующих нормативно-технических документов в части воздействия на персонал и окружающую среду;

деятельность на объекте «Укрытие» должна осуществляться в соответствии с основными требованиями, принципами и критериями, которые предусмотрены действующими в атомной энергетике нормами, правилами и «Технологическим регламентом...» [27].

В документе [29] установлен срок безопасной эксплуатации стабилизированных конструкций - 15 лет. При определении этого срока предполагалось, что в указанный период будет сооружен НБК.

Согласно [32], к любой деятельности на объекте «Укрытие» (проектирование, строительство и эксплуатация) применяются основные требования, принципы и характер технических и организационных мер, которые предусмотрены соответствующими действующими в Украине нормами и правилами по ядерной и радиационной безопасности.

С учетом вышеизложенного положения, а также принимая во внимание отсутствие специальных нормативно-технических документов строительного проектирования для объекта «Укрытие», проектирование стабилизационных мероприятий осуществлялось с учетом требований

документа «Нормы строительного проектирования АЭС с реакторами различного типа» - ПИН АЭ-5.6 [28].

В то же время, учитывая радиационно-опасные условия ОУ и, исходя из необходимости оптимизации объема работ по стабилизации и, соответственно, коллективной эффективной дозы облучения персонала, было признано приемлемым уменьшить экстремальные нагрузки и воздействия. Значения установленных, таким образом, расчетных экстремальных нагрузок и воздействий для конструкций I и II категорий по условиям их ответственности за ЯРБ, согласно [28], приведены в табл. 8.4.

**Таблица 8.4. Значения расчетных нагрузок и воздействий**

Нагрузки и воздействия	Расчетное значение нагрузок и воздействий в зависимости от категории конструкций			
	I категория			II категория
	Срок эксплуатации стабилизированных конструкций			
	более 40 лет	40	15	
Снег, кгс/м <sup>2</sup>	210	170	150	100
Ветер, кгс/м <sup>2</sup>	75	60	52	42
Климатическая температура, °C:				
- зимой	-45	-35	-30	-22
- летом	+45	+40	+34	+29
Смерч:				
- класс	1.5	1.2	0.9	-
- скорость ветра, м/сек	50	45	40	-
- давление ветра, кгс/м <sup>2</sup>	150	105	95	-
- перепад давления, кгс/м <sup>2</sup>	300	230	190	-
Сейсмика, балл	6	5.4	5.0	5.0

В процессе рабочего проектирования неотложных стабилизационных мероприятий учет экстремальных нагрузок и воздействий осуществлялся следующим образом:

снеговая и ветровая нагрузки, а также воздействие климатической температуры принимались по данным таблицы 5.4, как для конструкций I категории со сроком эксплуатации 15 лет;

сейсмическое воздействие принималось равным 5 или 6 баллам (по шкале МСК) как для конструкций I категории, со сроком эксплуатации 15 лет или более 40 лет, соответственно. При этом срок эксплуатации конструкций более 40 лет был установлен только для стабилизационных



мероприятий 2 и 4. Кроме расчетов по спектральному методу, выполнялись расчеты для всех неотложных стабилизационных мероприятий на акселерограммы площадки ЧАЭС, сгенерированные Институтом геофизики в 1998 г. Величина ускорения грунта  $65 - 67 \text{ см/с}^2$ ;

нагрузка от смерча не учитывалась (обоснование приведено ниже).

Возможность отказа от учета нагрузок от смерча класса F1.5 и ниже для неотложных стабилизационных мероприятий, была обоснована в подготовленном КСК документе «Уточнение класса смерча на основе анализа последствий прохождения смерча класса F1.5 над ОУ» [33]. В указанном документе представлено следующее:

приведено описание возможных сценариев воздействия смерча на строительные конструкции объекта «Укрытие»;

дана оценка общего количества радиоактивной пыли, которая может подниматься и выходить за пределы объекта «Укрытие» после возможного обрушения его строительных конструкций;

предложена модель распространения радиоактивной пыли из подкровельного пространства за пределы объекта «Укрытие»;

выполнен расчет плотности дополнительного поверхностного загрязнения, которое возникает в результате возможного обрушения строительных конструкций объекта «Укрытие», из-за воздействия на них смерча, а также расчет дозовых нагрузок на персонал и население.

По результатам выполненного анализа сделаны следующие выводы:

последствия воздействия смерча класса F1.5 и ниже на население не превышают нижних границ оправданности для неотложных мер (укрытие, эвакуация, ограничение пребывания на открытом воздухе);

последствия воздействия смерча класса F1.5 и ниже на население не превышают нижних границ оправданности для долговременных контрмер (принятие решения о переселении);

радиационно-гигиенические регламенты потенциального облучения персонала в случае обрушения конструкций объекта «Укрытие» в результате прохождения смерча класса F1,5 не превосходят референтных значений, регламентированных НРБУ-97/Д-2000 [34].

Таким образом, результаты проведенного анализа радиационных последствий прохождения смерча непосредственно над объектом «Укрытие» на персонал и население, проживающее за пределами зоны отчуждения, свидетельствовали о том, что нагрузки от смерча класса F1.5 и ниже на строительные конструкции объекта «Укрытие» при разработке проекта неотложных стабилизационных мероприятий можно не учитывать.

Итоговые значения расчетных нагрузок и воздействий, принятых для рабочего проектирования неотложных стабилизационных мероприятий приведены в табл. 8.5.

Таблица 8.5. Итоговые значения расчетных нагрузок и воздействий

№ мероприятия	Нагрузки и воздействия					Сейсмика, баллы
	Снег, кгс/м <sup>2</sup>	Ветер, кгс/м <sup>2</sup>	Климатическая температура, °С		Смерч, класс	
			зимой	летом		
2 и 4	150	52	-30	+34	-	6
3 и 3в	150	52	-30	+34	-	5
3с *	-	-	-	-	-	-
5 и 11	150	52	-30	+34	-	5
8	150	52	-30	+34	-	5
14	150	52	-30	+34	-	5
14а	150	52	-30	+34	-	5
б/н	150	52	-30	+34	-	5

\* Стабилизация аварийных плит перекрытия на отметке +38,600 м выполнялась для обеспечения общетехнической безопасности при проведении работ по мероприятию 3в и не относилась к общей стабилизации деаэрационной этажерки, поэтому расчет выполнялся на локальные нагрузки без учета экстремальных нагрузок.

Исходя из результатов анализа исходных событий [29], дополнительные воздействия, связанные с внешним и внутренним пожарами, наводнениями, внутренним взрывом водорода и/или облака пыли, падением летательных аппаратов, молнией, а также техногенным воздействием объектов, находящихся на промплощадке ЧАЭС, в рабочем проекте стабилизационных мероприятий не рассматривались.

Кроме того, в рабочем проекте также не учитывались нагрузки от внешнего взрыва, исходя из того, что ГСП ЧАЭС будут реализованы организационно-технические мероприятия, исключающие транспортирование и размещение взрывоопасных источников вблизи объекта «Укрытие» в количествах, взрыв которых может представлять опасность для его строительных конструкций.

В соответствии с «Планом выполнения мероприятий по устранению замечаний Госатомрегулирования к ОСБ ОУ-2008» в ГСП ЧАЭС будут разработаны и утверждены организационно-технические мероприятия по минимизации (практическому исключению) опасностей влияния на ОУ внешнего взрыва и падения летательного аппарата (срок – май 2009 г.).

Проектирование стабилизационных мероприятий осуществлялось с учетом следующих основных требований к конструктивным решениям, а также требований, определяемых взаимосвязями стабилизации с другими видами деятельности по преобразованию объекта «Укрытие» [29]:



обеспечивается целостность наружной оболочки объекта «Укрытие» при обычных и экстремальных нагрузках и воздействиях;

при расчетах строительных конструкций предусматриваются дополнительные запасы, компенсирующие вероятное снижение качества работ, выполняемых непосредственно в зонах повышенной радиации, путем введения дополнительного коэффициента безопасности по материалам для железобетонных конструкций и для сварных монтажных соединений  $K_{\text{доп}} = 0,7$ ;

обеспечиваются минимальные дозозатраты при выполнении строительного-монтажных работ;

обеспечивается преемственность и не создаются ограничивающие условия для реализации последующих этапов преобразования объекта «Укрытие» (строительство НБК, извлечение ТСМ и других РАО);

предусматривается техническая перспектива развития стабилизационных мероприятий на случай, если пауза между стабилизацией и сооружением НБК затянется;

предусматривается возможность последующего демонтажа конструкций объекта «Укрытие» после сооружения НБК;

предусматривается возможность последующего устройства технологических проемов для организации работ по извлечению ТСМ.

Рабочий проект стабилизационных мероприятий выполнен в соответствии с требованиями действующих нормативных документов по обеспечению ядерной, радиационной и общетехнической безопасности, а также с учетом опыта выполнения строительного-монтажных работ в радиационно-опасных условиях объекта «Укрытие».

Для расчетных обоснований конструктивных решений стабилизации были усовершенствованы компьютерные модели, разработанные в документе [35], и созданы новые модели.

Составление отдельных компьютерных моделей для каждой из зон ОУ было признано целесообразным по следующим причинам:

все зоны (западная, южная, восточная и северная) не связаны между собой. Исключение составляет только угол, образованный западной и северной зонами. Связь между ними можно с достаточной степенью достоверности учесть при помощи контактных элементов конечной жесткости, что и было сделано при построении компьютерной модели западной зоны;

покрытие не связывает различные зоны в направлении «север-юг», так как его конструктивные элементы не приварены к балкам покрытия и от смещения в горизонтальном направлении удерживаются только силами трения. В направлении «запад-восток» балки Б1 и Б2 связывают западную и восточную зоны только за счет сил трения.

Расчет трехмерных моделей выполнялся при помощи программного комплекса «Лири-Windows», который предназначен для численных исследований на ЭВМ прочности и устойчивости широкого класса конструкций.

Проверка несущей способности и устойчивости конструкций выполнялась в соответствии с действующими нормативными документами для проектирования стальных и железобетонных конструкций.

Методы расчета и результаты расчетных обоснований конструктивных решений стабилизационных мероприятий подробно изложены в документе [31].

В процессе реализации мероприятия 2 было выполнено дополнительное расчетное обоснование величины передачи нагрузки на металлоконструкции усиления [36].

Неотложная стабилизация выполнена для наиболее ответственных строительных конструкций, которые обеспечивают общую целостность локализирующего сооружения объекта «Укрытие», а именно:

- западного фрагмента объекта «Укрытие» (стена по оси 50 с примыкающими конструкциями), который является опорой для главных балок покрытия над центральным залом (блока балок Б1 и Б2);

- каркаса деаэрационной этажерки и опор балки «Мамонт», которые выполняют роль основных несущих элементов южной зоны локализирующего сооружения.

Мероприятие 4, предусматривающее закрепление балок Б1 от горизонтального смещения путем развития опорных участков балок с устройством фиксаторов, охватывающих верх стены вентиляционных шахт, не было реализовано по причине очень больших дозовых нагрузок на строительный персонал. Поэтому были приняты конструктивные решения по стабилизации западного фрагмента (мероприятие 2) и выполнены соответствующие расчетные обоснования, позволившие отказаться от неотложной реализации мероприятия 4 с обеспечением приемлемого уровня надежности.

Кроме того, стабилизированы конструкции, которые обеспечивают целостность отдельных участков локализирующего сооружения объекта «Укрытие»:

- северная контрфорсная стена и северные щиты-клюшки;
- южные щиты и южные щиты-клюшки.

Ремонт легкой кровли позволил улучшить радиационную обстановку за счет сокращения поступления атмосферных осадков внутрь объекта «Укрытие» и снижения неорганизованных выбросов из него, а также повысить общепромышленную безопасность при эксплуатации систем объекта «Укрытие».



Для анализа эффективности стабилизации выполнена оценка изменения вероятности отказа стабилизированных конструкций после выполнения мероприятий по их усилению.

Вероятности отказов строительных конструкций после их усиления вычислены с учетом нагрузок, принятых для стабилизации на срок эксплуатации конструкций 15 лет.

Методика оценки вероятности отказов строительных конструкций подробно изложена в документах [35, 37]. Вероятности ежегодного отказа конструкций были вычислены с использованием ретроспективного подхода, поскольку применение классического подхода для оценки вероятности отказов конструкций объекта «Укрытие», имеющих повреждения, не является корректным.

При ретроспективном подходе:

считается, что мы ничего не знаем о прочности конструкций кроме того, что они уже благополучно эксплуатировались определенное число лет;

выполняется ретроспективный анализ всех нагрузочных состояний конструкций за весь период их эксплуатации;

максимальное (из ретроспективного анализа) усилие в критическом сечении от определяющей нагрузки, наблюдаемое в прошлом, с некоторой корректировкой в меньшую сторону, принимается в качестве минимальной прочности  $N_{min}$  сечения;

корректировка в меньшую сторону необходима для компенсации возможного снижения прочности при повторном загрузении в будущем усилием, которое близко к разрушению в прошлом.

Ретроспективный подход использовался в вероятностной постановке. При этом вероятность отказа конструкций до стабилизации  $\gamma_0$  определялась из выражения

$$g_0 = \int_{N_{min}}^{\infty} f_Q \cdot dQ$$

Здесь оценка показателей надежности конструкций сводится к сопоставлению показателей нагрузки (усилий) ( $Q$ ) и прочности конструкций ( $N$ ). В общем случае обе величины (и нагрузка, и прочность) являются случайными. Для их характеристики обычно используются дифференциальные функции распределения ( $f_Q$  и  $f_N$ ).

В качестве критериев разрушения (отказов) принимались:

превышение случайной нагрузкой в будущем максимальной (с оговоренной выше поправкой в меньшую сторону) нагрузки в прошлом;

для свободнолежащих конструкций при проверке устойчивости положения – превышение случайной нагрузкой в будущем условия

предельного равенства опрокидывающего и удерживающего моментов (или условия сдвига).

Вид и параметры дифференциальной функции распределения нагрузки  $f_Q$  обычно определяют путем статистической обработки результатов наблюдений (например, метеонаблюдений) за нагрузками. Вид и параметры дифференциальных функций распределения прочности конструкций  $f_N$  обычно определяют расчетным путем с учетом данных о видах и параметрах дифференциальных функций распределения всех единичных показателей, предопределяющих прочность конструкций (например, прочность бетона, размеры сечений, количество арматуры, прочность арматуры и т.д.).

Вероятность отказа после стабилизации сводится к прямому интегрированию той же функции нагрузки  $f_Q$  в соответствующих пределах:

$$g_0 = \int_{N_2}^{\infty} f_Q \cdot dQ = 1 - F_{Q_{N_2}}$$

Используемый подход в определенной мере предполагает сочетание как расчетных так и экспертных оценок при определении вероятностей отказа строительных конструкций.

Следует отметить, что с помощью ретроспективного подхода нельзя получить абсолютных значений вероятностей отказа строительных конструкций, а только их относительные значения, которые могут быть использованы для проведения как сравнительного анализа с целью обоснования приоритетности выполнения тех или иных стабилизационных мероприятий, так и анализа эффективности стабилизационных мероприятий (путем сравнения вероятностей отказа конструкций до и после стабилизации).

Вероятности отказа строительных конструкций до и после реализации стабилизационных мероприятий приведены в табл. 8.6. В данной таблице приведена информация только по тем конструкциям локализуемого сооружения объекта «Укрытие», для которых по результатам обследований, изложенных в документах [19, 35], был сделан вывод о необходимости стабилизации.

Приведенные в табл. 8.7 вероятности отказа строительных конструкций были определены с учетом замены нагрузки от смерча на нагрузку от экстремального ветра, что было согласовано ГКЯР Украины для неотложных стабилизационных мероприятий.

Анализ вероятностей разрушения конструкций до и после стабилизации свидетельствует о том, что выполнение мероприятий по их усилению оправдано и приводит к снижению, примерно на два порядка, вероятности отказов этих конструкций (за исключением южных щитов).



**Таблица 8.6. Вероятности отказа строительных конструкций объекта «Укрытие» до и после стабилизации (с учетом замены нагрузки от смерча на нагрузку от экстремального ветра)**

Конструкции и узлы	Нагрузка, определяющая необходимость стабилизации	Оценка вероятности отказа, год <sup>-1</sup>	
		до стабилизации	после стабилизации
Западная зона			
Западные опоры балок Б1 и Б2	Сейсмика	1,3·10 <sup>-1</sup>	1·10 <sup>-4</sup>
Стена по оси 50 с прилегающим каркасом		1,3·10 <sup>-1</sup>	2·10 <sup>-3*</sup>
Западная контрфорсная стена		1·10 <sup>-4</sup>	1·10 <sup>-4</sup>
Покрытие между западной контрфорсной стеной и каркасом по оси 51'	Экстремальный ветер	1·10 <sup>-4</sup>	1·10 <sup>-4</sup>
Западные клюшки		1,4·10 <sup>-2</sup>	1·10 <sup>-4****</sup>
Южная зона			
Деаэрационная этажерка	Сейсмика	1,3·10 <sup>-1</sup>	1·10 <sup>-3</sup>
Восточная зона			
Опоры балок Б1 и Б2 на северную и южную вентшахты	Сейсмика	-**	1·10 <sup>-4</sup>
Северная зона. Северная складка			
Северная контрфорсная стена	Экстремальный ветер	-	-
Северные щиты-«клюшки»		1,4·10 <sup>-2</sup>	1·10 <sup>-4</sup>
Покрытие. Южная складка			
Опоры балки «Мамонт»: - на вертикальную нагрузку	Сейсмика	1·10 <sup>-4</sup>	1·10 <sup>-4</sup>
- на горизонтальную нагрузку		1,3·10 <sup>-1</sup>	1·10 <sup>-3</sup>
Южные щиты		1·10 <sup>-4</sup>	4·10 <sup>-4</sup>
Южные щиты-«клюшки»	Экстремальный ветер	1,4·10 <sup>-2</sup>	

\* В результате выполнения стабилизационного мероприятия № 2 блоки балок Б1 и Б2 опираются на новую конструкцию, рассчитанную на нагрузки и воздействия в соответствии с ПиН АЭ 5.6. Поэтому допускается локальное разрушение стены по оси 50 с прилегающим каркасом, поскольку это не приведет к отказу конструкций покрытия объекта «Укрытие» и, следовательно, не произойдет такого раскрытия локализирующего сооружения, чтобы последствия соответствовали масштабам коммунальной аварии.

\*\* Знак «-» означает, что оценки вероятности отказа отсутствуют или выполнение стабилизационных мероприятий не предполагалось.

\*\*\* Вероятность отказа западных ключек снизилась за счет реализации мероприятия № 2.

**Таблица 8.7. Общая оценка вероятностей отказа основных конструкций локализирующего сооружения ОУ (после неотложной стабилизации)**

Конструкции и узлы	Категория конструкций по условиям ответственности за ЯРБ	Оценка вероятности отказа, год <sup>-1</sup>		Примечания
		без учета зависимых отказов	Общая (с учетом зависимых отказов)	
Западная зона				
Западные опоры балок Б1 и Б2	I	1·10 <sup>-4</sup>	1·10 <sup>-4</sup>	
Стена по оси 50 с прилегающим каркасом	II	2·10 <sup>-3</sup>	2·10 <sup>-3</sup>	
Западная контрфорсная стена	II	1·10 <sup>-4</sup>	1·10 <sup>-4</sup>	
Покрытие между западной контрфорсной стеной и каркасом по оси 51	II	1·10 <sup>-4</sup>	2·10 <sup>-3</sup>	Общая оценка вероятности отказа определяется отказом стены по оси 50 с прилегающим каркасом
Западные клюшки				
Южная зона				
Деаэрационная этажерка	I	1·10 <sup>-3</sup>	1·10 <sup>-3</sup>	
Восточная зона				
Опоры балок Б1 и Б2 на северную и южную вентшахты	I	_*	1·10 <sup>-4</sup>	
Северная зона. Северная складка				
Северная контрфорсная стена	II	_*	_*	
Северные щиты-«клюшки»	II	1·10 <sup>-4</sup>	1·10 <sup>-4</sup>	



Конструкции и узлы	Категория конструкций по условиям ответственности за ЯРБ	Оценка вероятности отказа, год <sup>-1</sup>		Примечания
		без учета зависимых отказов	Общая (с учетом зависимых отказов)	
Покрытие. Южная складка				
Опоры балки «Мамонт»: - на вертикальную нагрузку	I	1·10 <sup>-4</sup>	1·10 <sup>-3</sup>	Общая оценка вероятности отказа определяется отказами деаэрационной этажерки и опор балки «Мамонт» на горизонтальную нагрузку
- на горизонтальную нагрузку		1·10 <sup>-3</sup>	1·10 <sup>-3</sup>	
Южные щиты и южные щиты – «клюшки»	I	4·10 <sup>-4</sup>	1·10 <sup>-3</sup>	Общая оценка вероятности отказа определяется отказом деаэрационной этажерки
Легкая кровля	II	-*	-*	

\* Оценка вероятности отказа отсутствует

Незначительное повышение вероятности отказа южных щитов после стабилизации связано с тем, что для конструкций южных щитов и южных щитов-«клюшек» определяющей является не несущая способность, а устойчивость положения. Для этих конструкций были определены критические нагрузки (соответствующие воздействию экстремального ветра), при которых соблюдается равенство удерживающего и опрокидывающего моментов. Значения таких нагрузок:

для южных щитов 1,8 кПа;

для южных щитов-«клюшек» 0,54 кПа.

В соответствии с этими значениями были вычислены величины вероятности отказа до стабилизации:

для южных щитов  $1 \cdot 10^{-4}$ ;

для южных щитов-«клюшек»  $1,4 \cdot 10^{-2}$ .

После выполнения мероприятия № 8 (соединения южных щитов и южных щитов-«клюшек» при помощи соединительной фермы) критическая нагрузка, определяющая устойчивость положения системы южные щиты – южные щиты-«клюшки», стала меньше, так как щиты должны удерживать и присоединенные к ним щиты-«клюшки». Таким образом, и вероятность отказа этих конструкций после стабилизации стала одинаковой. Для щитов-«клюшек» она уменьшилась, а для щитов соответственно увеличилась и составила  $4 \cdot 10^{-4}$ , что является приемлемым для срока эксплуатации до 15 лет.

Следует подчеркнуть, что приведенные в табл. 8.6 данные соответствуют вероятностям отказа отдельных конструкций без учета влияния зависимых отказов смежных с ними конструкций и поэтому они не характеризуют общую вероятность отказа конструкций локализирующего сооружения объекта «Укрытие».

С использованием данных табл. 8.3 (см. подраздел 8.3) в части учета зависимых отказов в табл. 8.7 приведена общая оценка вероятности отказа основных конструкций локализирующего сооружения объекта «Укрытие». При этом предполагалось, что если происходит отказ конструкций, которые являются опорами для других, то отказ последних происходит с вероятностью равной единице.

Анализ данных табл. 8.7 свидетельствует о том, что:

общая вероятность отказа ограждающих конструкций западной зоны (покрытие между западной контрфорсной стеной и каркасом по оси 51', а также западные клюшки) составляет  $2 \cdot 10^{-3}$  и определяется отказом стены по оси 50 с прилегающим каркасом от сейсмического воздействия. Следует отметить, что перечисленные конструкции относятся к конструкциям II категории по условиям ответственности за ЯРБ и, следовательно, радиационные последствия их отказа будут незначительными, и такая потенциальная авария будет относиться к классу промышленных аварий. Поэтому вероятность отказа указанных конструкций (равную  $2 \cdot 10^{-3}$ ) можно считать приемлемой, исходя из минимального объема неотложных стабилизационных мероприятий;

общая вероятность отказа конструкций южной зоны и южной складки покрытия (опоры балки «Мамонт», южные щиты и южные щиты-«клюшки») составляет  $1 \cdot 10^{-3}$  и определяется отказом деаэрационной этажерки и опор балки «Мамонт» от сейсмического воздействия. При этом в состав конструкций данной зоны локализирующего сооружения объекта «Укрытие» входят конструкции I категории по условиям ответственности за ЯРБ. Вероятность отказа указанных конструкций (равную  $1 \cdot 10^{-3}$ ) можно считать приемлемой, исходя из минимального объема неотложных стабилизационных мероприятий.



Состояние других конструкций локализирующего сооружения объекта «Укрытие», обобщенная оценка технического состояния которых приведена в таблицах П12-3 и П12-4 ОСБ ОУ [26] и для которых необходимость выполнения стабилизационных мероприятий не была определена, а именно:

- лестнично-лифтового блока;
- покрытия машинного зала;
- разделительной стены между объекта «Укрытие» и блоком В;
- каскадной стены;
- восточных щитов-«ключек»;
- балок: Б1, Б2, «Мамонт», «Осьминог»;
- трубного наката,

после осуществления неотложных стабилизационных мероприятий не ухудшилось.

В табл. 8.8 приведены обобщенные данные о несущей способности и устойчивости положения основных конструкций, обеспечивающих целостность локализирующего сооружения объекта «Укрытие» при нагрузках и воздействиях, соответствующих принятым при проектировании неотложных стабилизационных мероприятий. Эти данные свидетельствуют о том, что:

стена по оси 50 и прилегающий каркас не выдерживают сейсмическое воздействие интенсивностью 5 баллов, несмотря на то, что вероятность их отказа после стабилизации уменьшилась на два порядка. Поскольку покрытие между западной контрфорсной стеной и каркасом по оси 51', а также западные ключки опираются на вышеуказанные конструкции, то они также не выдерживают сейсмическое воздействие интенсивностью 5 баллов. Как уже отмечалось, перечисленные конструкции западной зоны относятся к конструкциям II категории по условиям ответственности за ЯРБ и показатели их надежности можно считать приемлемыми, исходя из минимального объема неотложных стабилизационных мероприятий;

сейсмическое воздействие интенсивностью 5 баллов не выдерживает также разделительная стена между объектом «Укрытие» и блоком В. По результатам ранее выполненных исследований стабилизации этой стены не была признана необходимой [26]. В настоящее время в рамках деятельности по проектированию НБК разрабатываются решения по усилению существующих участков или созданию новых участков разделительной стены, исходя из требований выполнения ею локализирующих функций на протяжении не менее 100 лет в составе восточного торца конфайнмента;

Таблица 8.8. Несущая способность и устойчивость положения ответственных конструкций локализирующего сооружения объекта «Укрытие»

Конструкции и узлы	Нагрузки и воздействия, принятые при проектировании неотложных стабилизационных мероприятий			
	Снег	Ветер	Температура	Сейсмика
<b>Западная зона</b>				
Западные опоры балок Б1 и Б2	+	+	+	+(6 баллов)
Стена по оси 50 с прилегающим каркасом	+	+	+	-(5 баллов)
Западная контрфорсная стена	+	+	+	+(6 баллов)
Покрытие между западной контрфорсной стеной и каркасом по оси 51	+	+	+	-(5 баллов)
Западные клюшки	+	+	+	-(5 баллов)
Лестнично-лифтовой блок	+	+	+	+(6 баллов)
<b>Южная зона</b>				
Деаэрационная этажерка	+	+	+	+(5 баллов)
Покрытие машинного зала	+	+	+	+(6 баллов)
<b>Восточная зона</b>				
Опоры балок Б1 и Б2 на северную и южную вентшахты	+	+	+	+(6 баллов)
Северная и южная вентшахты	+	+	+	+(6 баллов)
Восточные щиты-«клюшки»	+	-	+	?



Конструкции и узлы	Нагрузки и воздействия, принятые при проектировании неотложных стабилизационных мероприятий			
	Снег	Ветер	Температура	Сейсмика
<b>Северная зона. Северная складка</b>				
Северная контрфорсная стена	+	+	+	+ (5 баллов)
Северные щиты-«клюшки»	+	+	+	+ (5 баллов)
Разделительная стена между ОУ и блоком В	+	+	+	- (5 баллов)
Деформационный шов между ОУ и блоком В	+	+	+	+ (6 баллов)
Каскадная стена	+	+	+	+ (5 баллов)
<b>Покрытие. Южная складка</b>				
Опоры балки «Мамонт»	+	+	+	+ (5 баллов)
Балка «Осьминог» и ее опоры	+	+	+	+ (5 баллов)
Балки Б1и Б2	+	+	+	+ (6 баллов)
Южные щиты и южные щиты-«клюшки»	+	+	+	+ (5 баллов)
Трубный накат	+	+	+	+ (6 баллов)
Легкая кровля	+	+	+	+ (5 баллов)

## Примечания:

- знак «+» означает, что данная конструкция или узел выдерживают указанные нагрузки и воздействия;
- знак «-» означает, что данная конструкция или узел не выдерживают указанные нагрузки и воздействия;
- знак «?» означает, что данные отсутствуют.

устойчивость восточных щитов-«ключек» при экстремальном ветре не обеспечивается, а оценка их надежности при сейсмическом воздействии отсутствует. В то же время необходимость стабилизации этих конструкций не была определена [26] несмотря на то, что восточные щиты-«ключки» относятся к конструкциям I категории по условиям ответственности за ЯРБ. Это было связано со сложной радиационной обстановкой в местах расположения восточных щитов-«ключек», отсутствием доступа к зонам их опирания на балки Б-5, установленные на северную и южную вентиляционные шахты, а также с проблемами обеспечения общетехнической безопасности выполнения данных работ в условиях значительного перепада высот и влияния других опасных факторов. Следует отметить, что восточные щиты-«ключки» были отнесены к конструкциям I категории по условиям ответственности за ЯРБ, исходя из потенциальных радиационных последствий, характерных для сценария отказа этих конструкций при воздействии смерча. Принимая во внимание то, что и другие конструкции локализирующего сооружения объекта «Укрытие» не рассчитаны на восприятие смерча, а радиационные последствия в случае реализации сценария отказа восточных щитов-«ключек» при экстремальном ветре будут меньшими, чем при прохождении смерча, а также учитывая то, что стабилизация этих конструкций сопряжена со значительными дозами облучения строительного персонала и другими опасностями для их здоровья и жизни, отказ от неотложной стабилизации восточных щитов-«ключек» следует считать оправданным.

Следует учесть, что приведенные в табл. 8.8 данные характеризуют несущую способность и устойчивость положения конструкций объекта «Укрытие» до надвигки НБК в проектное положение. После завершения строительства НБК несущая способность конструкций будет определяться только сейсмическим воздействием.

Таким образом, реализация неотложных стабилизационных мероприятий позволила повысить уровень безопасности локализирующего сооружения ОУ, однако в полной мере критерии безопасности, устанавливаемые нормами радиационной безопасности, не достигнуты.

В то же время следует отметить, что целью осуществления неотложных стабилизационных мероприятий не являлось полное достижение этих критериев (что в принципе невозможно, учитывая минимальный объем неотложных мероприятий), а повышение уровня безопасности ОУ, исходя из ограниченного срока эксплуатации стабилизированных конструкций до 15 лет и предполагая, что в указанный период будет сооружен НБК.

Следовательно, цель осуществления неотложных стабилизационных мероприятий, заключающаяся в снижении рисков разрушения наиболее ответственных конструкций объекта «Укрытие» до завершения строитель-



ства НБК, достигнута. В дальнейшем проблема нестабильных конструкций объекта «Укрытие» должна решаться путем их демонтажа или усиления внутри локализирующей оболочки НБК.

В случае задержки строительства НБК необходимо расширить объем стабилизации, исходя из рекомендуемого «Перечня 15» [21], а также с учетом реальных темпов деградации существующих строительных конструкций объекта «Укрытие». При самом неблагоприятном развитии ситуации, такая стабилизация будет иметь все шансы стать «ползучей», т.е. такой, которая будет постоянно сопровождать текущую эксплуатацию объекта и приведет к значительному дополнительному облучению строительного персонала. Учитывая это, строительство НБК есть безусловно оправданным и является чрезвычайно важным этапом подготовки к преобразованию объекта «Укрытие» в экологически безопасную систему.

### **8.6. Организация безопасного выполнения строительномонтажных работ**

Учитывая то, что строительномонтажные работы будут выполняться в радиационно-опасных условиях объекта «Укрытие» разработка ПОС в составе рабочего проекта стабилизации осуществлялась с учетом следующих основных принципов:

- максимально возможное выполнение работ за пределами локальной зоны объекта «Укрытие»;

- заводское изготовление металлических конструкций и их доставка на строительную площадку с максимально возможными габаритами и весом;

- изготовление арматурных каркасов и сеток на «малой» строительной базе, расположенной в относительно чистой зоне (за пределами промплощадки объекта «Укрытие»);

- укрупнение конструкций в монтажные блоки в относительно чистой зоне;

- монтаж конструкций укрупненными блоками или перемещение полностью смонтированных в относительно чистой зоне конструкций в проектное положение;

- использование монтажных кранов большой грузоподъемности и большой зоны обслуживания для возможности монтажа укрупненных блоков;

- оптимальное расположение путей доступа на площадку строительства и в зоны выполнения работ;

- экранирование (биологическая защита) путей доступа и мест выполнения работ;

отработка выполнения отдельных операций на специальных макетах для тренинга персонала;

использование современных высокопродуктивных машин, механизмов и оборудования для минимизации затрат труда строительного персонала во время выполнения работ.

Для наиболее масштабного стабилизационного мероприятия № 2 рассматривались четыре варианта строительства с целью выбора оптимального варианта [38].

**Вариант 1** «Монтаж металлоконструкций укрупненными блоками, собранными за пределами локальной зоны ОУ», предусматривающий выполнение таких основных работ:

монтаж металлоконструкций укрупненными блоками весом до 60 т башенным краном грузоподъемностью 80 т на вылете стрелы 30 м и верхней отметкой крюка крана 80 м;

укрупнительная сборка металлоконструкций на специальной площадке размерами 80 × 135 м, которая размещается за пределами локальной зоны объекта «Укрытие». Для укрупнения металлоконструкций используется козловый кран грузоподъемностью 80 т, пролетом 50 м и верхней отметкой крюка 25 м;

разбивка металлоконструкций на монтажные блоки;

доставка укрупненных блоков в зону действия башенного крана по железнодорожным путям длиной 150 м на спаренных платформах;

доставка металлоконструкций с «малой» строительной базы на площадку укрупнительной сборки автотранспортом по существующим дорогам.

**Вариант 2** «Полная сборка металлоконструкций на расстоянии от ОУ (но в пределах локальной зоны ОУ) и последующее перемещение в проектное положение», предусматривающий выполнение таких основных работ:

полная сборка металлоконструкций на специальных передвижных тележках, установленных на железнодорожных путях в локальной зоне. Монтаж конструкций укрупненными блоками осуществляется с помощью башенного крана грузоподъемностью 40 т на вылете стрелы 30 м;

перемещение металлоконструкций в проектное положение. Для перемещения предусматривается устройство насыпи из песчаного грунта – 17000 м<sup>3</sup>, железобетонных плит под железнодорожный путь – 125 пог. м и железнодорожного пути из рельсов Р-65;

укрупнительная сборка металлоконструкций на специальной площадке размерами 40 × 55 м, которая размещается в пределах локальной зоны объекта «Укрытие». Для укрупнения металлоконструкций весом до



40 т используется гусеничный кран грузоподъемностью 50 т на вылете стрелы 30 м и верхней отметкой крюка 30 м;

доставка металлоконструкций с «малой» строительной базы на площадку укрупнительной сборки автотранспортом по существующим дорогам.

**Вариант 3** «Монтаж металлоконструкций укрупненными блоками, собранными в локальной зоне ОУ», предусматривающий выполнение таких основных работ:

монтаж металлоконструкций укрупненными блоками весом до 60 т башенным краном грузоподъемностью 80 т на вылете стрелы 30 м и верхней отметкой крюка 80 м, длина стрелы 100 м. Укрупнительная сборка металлоконструкций выполняется на специальной площадке размерами 30 × 40 м, которая размещается в пределах локальной зоны объекта «Укрытие». Для укрупнения металлоконструкций используется гусеничный кран грузоподъемностью 50 т на вылете стрелы 30 м и верхней отметкой крюка 30 м и основной башенный кран;

доставка укрупненных блоков в монтажную зону башенным краном, который последовательно выполняет перестановку укрупненных блоков. Для промежуточных перестановок сооружаются монтажные площадки из сборных железобетонных плит;

доставка металлоконструкций с «малой» строительной базы на площадку укрупнительной сборки автотранспортом по существующим (или вновь построенным) дорогам.

**Вариант 4** «Полная сборка металлоконструкций за пределами локальной зоны объекта «Укрытие» и последующее перемещение в проектное положение», предусматривающий выполнение таких основных работ:

полная сборка металлоконструкций на специальных передвижных тележках, установленных на железнодорожных путях за пределами локальной зоны. Монтаж конструкций укрупненными блоками (по аналогии с вариантом 2) осуществляется с помощью башенного крана грузоподъемностью 40 т на вылете стрелы 30 м;

перемещение металлоконструкций в проектное положение. Для перемещения предусматривается устройство насыпи из песчаного грунта – 63850 м<sup>3</sup>, железобетонных плит под железнодорожный путь – 276 пог. м и железнодорожного пути из рельсов Р-65;

укрупнительная сборка металлоконструкций на двух специальных площадках размерами 30 × 40 м, которые размещаются за пределами локальной зоны объекта «Укрытие». Для укрупнения металлоконструкций используются два гусеничных крана грузоподъемностью 50 т на вылете стрелы 30 м и верхней отметкой крюка 30 м;

доставка металлоконструкций с «малой» строительной базы на площадку укрупнительной сборки автотранспортом по существующим дорогам.

Варианты строительства сравнивались по таким основным показателям:

- трудоемкость;
- коллективная эффективная доза (КЭД) облучения строителей;
- потребность в рабочей силе;
- стоимость строительства.

При этом анализировалась деятельность по каждому из вариантов на разных этапах выполнения строительно-монтажных работ, в частности:

- подготовительные работы в локальной зоне объекта «Укрытие»;
- подготовительные работы за пределами локальной зоны объекта «Укрытие»;
- основные работы на «малой» строительной базе;
- основные строительно-монтажные работы;
- обустройство путей доступа;
- экранирование.

Результаты сравнения вариантов по указанным основным показателям засвидетельствовали о том, что в целом показатели для разных вариантов отличаются не существенно и для окончательного выбора предпочтительного варианта был необходим анализ с учетом дополнительных критериев [39, 40].

Одними из важных факторов, которые влияют на выбор варианта строительства, являются риски в процессе осуществления строительно-монтажных работ, в частности:

- падение башенного крана;
- падение укрупненных блоков во время монтажа;
- падение грузов весом до 1 т во время монтажа;
- падение (опрокидывание) пространственной металлической конструкции при перемещении в проектное положение.

Были рассмотрены и другие факторы, которые влияют на выбор варианта строительства, например: объем РАО, наличие опыта по реализации подобных технических решений и др. В частности, учитывались такие обстоятельства:

технологические операции из укрупнения блоков и их монтаж являются распространенными и отработанными в практике строительства;

опыт выполнения работ по перемещению полностью собранных конструкций незначительный, нормативная база отсутствует, сам процесс нуждается в значительных объемах проектных и подготовительных работ, образуется значительное количество РАО;



перемещение полностью собранных конструкций башен предусматривает устройство фундаментов вместе с элементами перемещения, что создает существенные сложности при армировании и бетонировании фундаментов, а также усложняет возможность контроля их дополнительных осадок и кренов. Не исключается, что при бетонировании фундаментов после перемещения металлоконструкций башен может возникнуть крен всей системы, который трудно будет устранить. Это объясняется тем, что основные осадки (приблизительно 90 %) происходят во время бетонирования. Кроме того, при реализации такой схемы также возникает опасное ослабление контрфорсной стены через необходимость одновременного устройства 14 вырезов для пропуска упоров.

Окончательные результаты анализа вариантов строительства стабилизационного мероприятия № 2 приведены в итоговой табл. 8.9, в которой учтены все ранее рассмотренные показатели сравнения вариантов. При этом использовалась следующая методика анализа вариантов:

составляется полный перечень показателей (критериев), которые учитываются при сравнении вариантов;

устанавливается максимальная сумма баллов по всем показателям (в данном случае – 1000 баллов);

устанавливается максимальное количество баллов по каждому показателю  $\delta_i$ ;

устанавливается коэффициент отклонения каждого показателя по вариантам  $K_i$  от наилучшего показателя других вариантов;

по каждому варианту подсчитывается сумма баллов  $B$  по формуле

$$B = \sum \delta_i \times K_i \leq 1000, \text{ при } K_i \leq 1.$$

Таблица 8.9. Результаты сравнения вариантов строительства

Наименование показателей	Максимальный балл	Оценка вариантов по отдельным показателям			
		Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4
1. КЭД при строительстве					
коэффициенты		0,81	0,83	0,82	1
баллы	250	203	205	207	250

Наименование показателей	Максимальный балл	Оценка вариантов по отдельным показателям			
		Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4
2. Общая трудоемкость					
коэффициенты		0,87	0,83	1,0	0,64
баллы	75	65	62	75	48
3. Стоимость					
коэффициенты		0,97	0,91	1,0	0,81
баллы	100	97	91	100	81
4. Потребность в рабочей силе					
коэффициенты		0,83	0,85	0,88	1,0
баллы	75	62	63	66	75
5. Риски при строительстве					
коэффициенты		1,0	1,0	1,0	1,0
баллы	100	100	100	100	100
6. Объем РАО					
коэффициенты		1,0	0,5	1,0	0,5
баллы	50	50	25	50	25
7. Опасность разрушения контрфорсной стены (вследствие того, что во 2 и 4 вариантах 14 отверстий выполняются одновременно)					
коэффициенты		1,0	0,5	1,0	0,5
баллы	50	50	25	50	25
8. Возможность качественного выполнения работ по фундаментам (вследствие того, что в вариантах 2 и 4 усложняется армирование, а в теле бетона остаются громоздкие элементы – тележки)					



Продолжение табл. 8.9

Наименование показателей	Максимальный балл	Оценка вариантов по отдельным показателям			
		Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4
коэффициенты		1,0	0,5	1,0	0,5
баллы	50	50	25	50	25
9. Влияние осадки фундаментов на устойчивость опорных конструкций (в вариантах 2 и 4 фундамент бетонируется в два этапа, основные осадки произойдут после бетонирования на втором этапе, когда опорные конструкции уже будут установлены в проектное положение)					
коэффициенты		1,0	0,5	1,0	0,5
баллы	150	150	75	150	75
10. Дополнительный объем подготовительных работ, связанных с устройством песчаной насыпи, сооружением фундаментов и металлической эстакады для перемещения металлоконструкций в проектное положение					
коэффициенты		0,8	0,5	1,0	0,3
баллы	50	40	25	50	15
11. Наличие опыта реализации подобных технических решений (монтаж укрупненными блоками, перемещение полностью собранных металлоконструкций в проектное положение)					
коэффициенты		1,0	0,5	1,0	0,5
баллы	50	50	25	50	25
Сумма баллов по вариантам		917	721	948	744

С учетом анализа количественных и качественных показателей рассмотренных вариантов реализации стабилизационного мероприятия № 2

для последующей разработки был выбран вариант 3 «Монтаж металлоконструкций укрупненными блоками, собранными в локальной зоне ОУ». При этом бралось к вниманию то, что при детальном проектировании будут эффективно решены вопросы экранирования рабочих мест и путей доступа персонала.

#### **8.6.1. Комплекс подготовительных работ на строительной площадке**

До начала реализации стабилизационных мероприятий был выполнен комплекс подготовительных работ с целью создания необходимой инфраструктуры для осуществления стабилизации и подготовки строительной площадки к выполнению строительно-монтажных работ (СМР).

Основными объектами инфраструктуры для обеспечения безопасной деятельности по стабилизации были:

- «малая» строительная база (рис. 8.12);
- санпропускник на 1430 мест (рис. 8.13);
- санитарный шлюз внутри объекта «Укрытие»;
- центр подготовки персонала;
- участок дезактивации оборудования и инструмента;
- модернизированная система пилеподавления (МСПП).



Рис. 8.12. «Малая» строительная база.





Рис. 8.13. Санпропускник на 1430 мест.

В соответствии с рабочим проектом стабилизационных мероприятий на начальном этапе были выполнены общие подготовительные работы в локальной зоне и за ее пределами, которые включали следующую деятельность:

- демонтаж существующих объектов в локальной зоне объекта «Укрытие», препятствующих выполнению работ по стабилизации (в частности, башенного крана КБ-676 и его подкрановых путей, опорной стенки, временных вагончиков, участков трубопроводов, кабелей и др.);

- тампонаж наблюдательных скважин;

- планировка территории;

- устройство временных автомобильных дорог;

- монтаж временных зданий (вагончиков);

- монтаж временной трансформаторной подстанции мощностью 630 кВ·А;

- монтаж установки дезактивации крупногабаритного оборудования, машин и механизмов;

- прокладка временных сетей электроснабжения;

- устройство освещения строительной площадки, сетей связи и системы видеонаблюдения;

- устройство монтажной площадки;

- устройство площадки укрупнительной сборки металлоконструкций (рис. 8.14);

- устройство монолитных железобетонных фундаментов кондукторов для сборки МКУ (рис. 8.15);

- устройство площадки складирования;

- устройство балластной призмы и путей основного башенного крана (рис. 8.16);

монтаж основного башенного крана POTAİN;  
устройство защитной экранирующей стенки, примыкающей к площадке укрупнительной сборки.



Рис. 8.14. Работы по устройству площадки укрупнительной сборки блоков МКУ.



Рис. 8.15. Устройство фундаментов кондукторов для сборки МКУ.



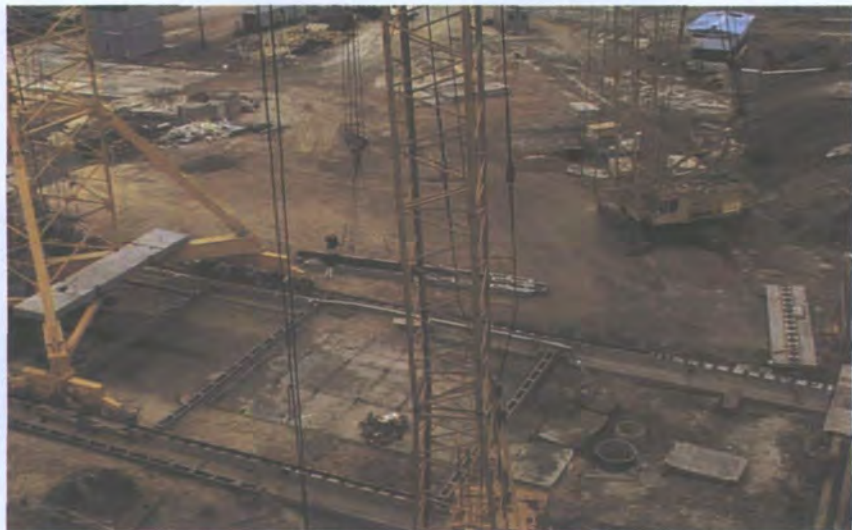


Рис. 8.16. Подкрановые пути основного башенного крана MD 3200 «POTAIN».

### 8.6.2. Мероприятия № 14 и № 14а

До начала основных работ по мероприятиям № 14 и № 14а был выполнен комплекс подготовительных работ по обустройству путей доступа в зоны производства работ, включая их экранирование, а также обустройство рабочих мест [41].

Для доступа персонала на кровлю машинного зала был смонтирован грузопассажирский подъемник, а рядом с ним был установлен защитный бокс, предназначенный для защиты персонала во время вынужденных технологических перерывов в работе, одевания и снятия дополнительных средств индивидуальной защиты (рис. 8.17).

На кровле машинного зала были смонтированы внешние пути доступа в зоны производства работ по мероприятиям №14 и № 14а (рис. 8.18), а внутри объекта «Укрытие» – пути доступа непосредственно к западной и южной опорам балки «Мамонт» (рис. 8.19 и 8.20).

В связи с наличием локальных источников гамма-излучения на кровле машинного зала было выполнено экранирование части пути доступа к западной опоре балки «Мамонт» в районе технологического проема в южных «щитах-кляушках» (рис. 8.21).

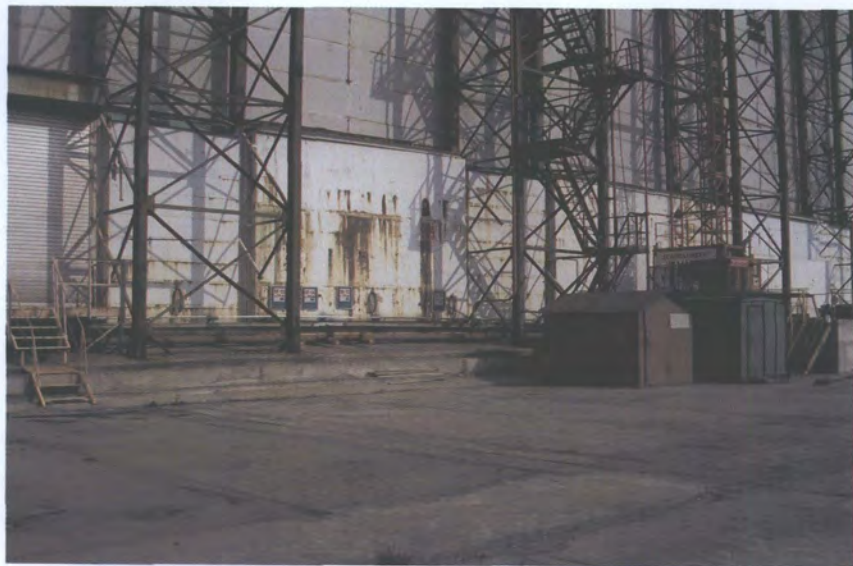


Рис. 8.17. Грузопассажирский подъемник и защитный бокс у стены машинного зала.



Рис. 8.18. Пути доступа по мероприятиям № 14 и № 14а.





Рис. 8.19. Путь доступа к западной опоре балки «Мамонт»  
внутри объекта «Укрытие».



Рис. 8.20. Путь доступа к восточной опоре балки «Мамонт»  
внутри объекта «Укрытие».



Рис. 8.21. Экранирование пути доступа к западной опоре балки «Мамонт».

Кроме того, было выполнено экранирование в зоне производства работ по мероприятию № 14.

Основные работы по мероприятию № 14 включали:

установку и закрепление элементов усиления;

зачистку сварных швов и защиту от коррозии;

демонтаж подмостей;

закрытие технологических проемов.

Основные работы по мероприятию № 14а включали:

установку и закрепление к существующим колоннам соединительных элементов;

установку и закрепление элементов несъемной опалубки;

зачистку сварных швов и защиту их от коррозии;

подачу бетонной смеси в несъемную опалубку с помощью автобетононасоса по устроенному на кровле машинного зала бетоноводу;

демонтаж оборудования;

закрытие технологических проемов.

### 8.6.3. Мероприятия № 3с и № 3в

Особенность выполнения работ по мероприятиям № 3с и № 3в заключалась в том, что зоны производства работ располагались во внутренних помещениях разрушенного 4-го энергоблока. Это обуславливало сложности в разработке организационно-технологических решений для производства работ, в частности для механизации технологических процессов [41, 42].



На подготовительном этапе были выполнены монтажные проемы в стенах деаэрационной этажерки и организована приемочная площадка для приема грузов и их подачи в зоны производства работ. Для перемещения грузов внутри деаэрационной этажерки был устроен монорельсовый путь, имеющий таль грузоподъемностью 1,0 т.

Для доступа персонала в ЗПР использовались существующие внутри деаэрационной этажерки лестницы и коридоры, а также было предусмотрено дополнительное устройство временного саншлюза.

До начала основных работ было выполнено экранирование локального источника ионизирующего излучения путем установки свинцового экрана толщиной 10 мм, что позволило существенно повысить безопасность реализации данных стабилизационных мероприятий.

Мероприятие № 3с осуществлялось с целью предотвращения обрушения аварийных плит перекрытия путем подведения под них страховочных опор. Реализация этого мероприятия позволила обеспечить безопасные (с точки зрения промышленной безопасности) условия выполнения последующих работ по стабилизации верхнего яруса колонн деаэрационной этажерки (мероприятие № 3в).

Строительно-монтажные работы по мероприятию № 3в выполнялись в чрезвычайно стесненных условиях и предполагали значительный объем работ по демонтажу трубопроводов и другого оборудования, оставшегося в помещениях деаэрационной этажерки после аварий на 4-м энергоблоке, а также работ по закреплению новых металлоконструкций усиления к существующим конструкциям. Это обусловило необходимость использования высокопроизводительного инструмента для резки металлических конструкций и сверления отверстий в железобетонных конструкциях. В качестве примера, можно привести эффективное использование оборудования для сверления отверстий в колоннах для крепления металлоконструкций усиления (рис. 8.22).

#### **8.6.4. Мероприятия № 5 и № 11**

Мероприятия № 5 и № 11 осуществлялись одновременно. В зоне производства работ были возведены строительные леса, установленные на покрытии 4-го каскада (рис. 8.23). На ригели строительных лесов были навешены защитные экраны.

Для доступа персонала на рабочую площадку строительных лесов использовался грузопассажирский подъемник. В качестве эвакуационного маршрута использовались лестничные марши, установленные на строительных лесах.

Бетонирование производилось с помощью автобетононасоса.



Рис. 8.22. Устройство отверстий в теле железобетонной колонны.



Рис. 8.23. Устройство строительных лесов с рабочей площадкой.

#### 8.6.5. Мероприятие № 8

Для доступа персонала в ЗПР использовались участки путей доступа по мероприятиям № 14 и № 14а. Непосредственно в ЗПР по мероприятию № 8 были смонтированы пути доступа вдоль верхнего и нижнего поясов соединительной фермы и экранированные рабочие площадки (рис. 8.24).





Рис. 8.24. Пути доступа в ЗПР по мероприятию № 8.

Монтаж соединительной фермы осуществлялся в два этапа [41]:  
 монтаж объединенного блока соединительной фермы ( $\Phi 1 + \Phi 2$ ) с закрепленной на нем части  $\Phi 3$ ;  
 установка  $\Phi 3$  в проектное положение методом надвигки по направляющим, с помощью лебедки.

#### 8.6.6. Мероприятие № 2

В комплекс работ стабилизационного мероприятия № 2 входили следующие основные операции [41, 42]:

- устройство монолитной плиты ПМ-1;
- выполнение комплекса работ по цементации грунтов и контролю несущей способности основания фундаментов МКУ;
- устройство монолитных фундаментов ФМ-1 и ФМ-2;
- прорезка проемов в контрфорсной стене и в элементах кровли ОУ;
- монтаж укрупненных блоков МКУ;
- монтаж фиксирующих стоек за контрфорсной стеной;
- передача нагрузки от балок Б1-Б2 на конструкции МКУ с установкой шарнирно-подвижных опор скользящего типа;
- срезка сварных швов крепления балок Б1-Б2 к конструкциям стены по оси 50.

Устройство монолитной плиты ПМ-1 включало выполнение земляных работ, устройство бетонной подготовки, армирование и бетонирование ПМ-1 (рис. 8.25).



Рис. 8.25. Работы по армированию и бетонированию монолитной плиты ПМ-1.

Цементация грунтов основания заключалась в последовательном выполнении операций по бурению скважин, нагнетания в них водцементного раствора под давлением и проведении контроля плотности (рис. 8.26).



Рис. 8.26. Работы по цементации грунтов основания фундаментов МКУ.



Для выполнения работ по бурению и цементации грунта в локальной зоне была организована площадка размещения цементационного оборудования.

Бурение скважин производилось установкой гидрогеологического бурения и передвижной буровой установкой. Нагнетание раствора в скважины производить с помощью двух цементировочных агрегатов, работающих поочередно.

Цементный раствор готовился на рабочей площадке с помощью специальных установок. Подача цементного раствора производилась по проложенной линии нагнетательного трубопровода. Для подачи сжатого воздуха использовался передвижной компрессор.

Характеристики грунта до и после цементации определялись методом «Crosshole».

Бетонирование фундаментов ФМ-1 и ФМ-2 выполнялось в несъемной опалубке по блокам бетонирования с помощью автобетононасоса (рис. 8.27).



Рис. 8.27. Работы по устройству фундаментов ФМ-1 и ФМ-2.

Установка бетононасоса была предусмотрена за пределами локальной зоны объекта «Укрытие». Прокладка горизонтальных участков бетоновода была осуществлена по существующей поверхности грунта на опорах. Для прокладки вертикального участка бетоновода была установлена опора башенного типа, от которой подача бетона производилась по гибкому бетоноводу в опалубку фундамента с помощью траверсы, навешенной на крюк крана.

Для пропуска ферм-упоров блоков МКУ были выполнены проемы в контрфорсной стене. Работы выполнялись с рабочих площадок специальных подмостей (рис. 8.28).



Рис. 8.28. Работы по устройству проемов в контрфорсной стене

Монтаж МКУ укрупненными блоками (рис. 8.29 и 8.30) производился башенным краном в следующей последовательности:

- укрупненные блоки МКУ последовательно устанавливались на монтажную площадку для строповки и монтажа;

- два пространственных блока МКУ первого яруса устанавливаются на фундаменты МКУ;

- два пространственных блока МКУ второго яруса устанавливались на ранее установленные блоки, производилась их выверка в плане и по высоте и закрепление к нижележащим блокам;

- устанавливалась блок-ферма, связывающая между собой пространственные блоки МКУ второго яруса, производилась выверка и закрепление блок-фермы к блокам МКУ второго яруса;

- устанавливались два пространственных блока МКУ третьего яруса, производилась выверка и закрепление к нижележащим блокам;

- устанавливались два пространственных блока МКУ четвертого яруса, производилась выверка и закрепление к нижележащим блокам;

- устанавливалась блок-ферма, связывающая между собой блоки МКУ 4-го яруса, производилась выверка и закрепление блок-фермы к МКУ 4-го яруса; устанавливались два пространственных блока МКУ 5-го яруса, производилась выверка и закрепление МКУ к нижележащим блокам;

- устанавливались два пространственных блока МКУ верхнего яруса, производилась выверка и закрепление МКУ к нижележащим блокам.





Рис. 8.29. Работы по монтажу нижних блоков МКУ.



Рис. 8.30. Работы по монтажу верхних блоков МКУ.

Монтаж консольных блоков МКУ производился башенным краном в следующей последовательности:

устанавливались два пространственных блока МКУ верхнего яруса с частью кровельного покрытия и временно прикрепленными к ним конструкциями удлиняемых частей балок, производилась выверка и закрепление МКУ к нижележащим блокам, а также перемещение удлиняемых частей балок; устанавливалась западная блок-ферма с частью кровельного покрытия, связывающая установленные в осях 54÷57 блоки МКУ верхнего яруса между собой, производилась выверка и закрепление блок-фермы к МКУ верхнего яруса;

устанавливалась восточная блок-ферма с частью кровельного покрытия, связывающая установленные в осях 50÷54 блоки МКУ верхнего яруса между собой, производилась выверка и закрепление блок-фермы к МКУ верхнего яруса;

устанавливались и закреплялись вертикальные связи между блок-фермами покрытия.

Непосредственно перед монтажом консольных блоков МКУ была выполнена прорезка проемов в вертикальной части кровли объекта «Укрытие».

Работы по монтажу элементов удлинения балок Б1-Б2 выполнялись на отметке 60,000 по осям 50/Ж и 50/П. Монтаж включал перемещение к месту установки, выверку и закрепление консолей к торцам балок Б1 и Б2 с помощью сварки. Работы выполнялись на рабочей площадке после установки защитных экранов в поемах балок Б1 и Б2 и по их краям.

Окончательный вид МКУ после завершения монтажных работ показан на рис. 8.31.

В соответствии с решениями рабочего проекта для включения в работу конструкций усиления было предусмотрено поддомкрачивание балок Б1/Б2 в местах опирания на МКУ (рис. 8.32).

Для поддомкрачивания использовались восемь домкратов двойного действия с фиксирующей гайкой и две маслостанции с рабочим давлением 700 атм (одна на четыре домкрата).

С целью исключения воздействия опорного усилия от стены по оси 50 на балки была выполнена срезка сварных швов крепления балок Б1-Б2 к конструкциям стены.

#### 8.6.7. Мероприятия б/н

До начала основных работ были организованы пути доступа на легкую кровлю с использованием ранее смонтированных МКУ по мероприятию № 2.

Для защиты персонала было выполнено экранирование, включая:





Рис. 8.31. Конструкции МКУ после окончания монтажных работ.



Рис. 8.32. Работы по передаче нагрузок от балок Б1 и Б2 на МКУ.

установку свинцовых листов под лестницей перехода через парапет по оси 50;

установку защитного экрана на кровле МКУ в месте приема грузов, подаваемых краном;

установку защитного бокса в локальной зоне объекта «Укрытие».

На рис. 8.33 приведен общий вид на легкую кровлю объекта «Укрытие» после замены поврежденного профнастила.



Рис. 8.33. Вид на легкую кровлю объекта «Укрытие» после замены профнастила.

## **8.7. Обеспечение радиационной безопасности**

Выполнение строительно-монтажных работ в радиационно-опасных условиях объекта «Укрытия» являлось сложной инженерной задачей, требующей разработки комплекса мер по радиационной защите как строителей, так и окружающей среды [43 ÷ 51].

Для решения этой задачи в составе рабочего проекта стабилизации были разработаны документы, обосновывающие безопасность его реализации, в частности:

Итоговый отчет по радиационной безопасности [52];

Оценка воздействий на окружающую среду [53].

Перечисленные лицензионные документы согласованы регулирующими органами Украины (Государственным комитетом ядерного регулирования, Министерством здравоохранения и Министерством охраны окружающей среды).



### 8.7.1. Дополнительные исследования радиационной обстановки

Для организации эффективной радиационной защиты перво-степенное значение имеют данные о радиационной обстановке в зонах производства работ, на конкретных рабочих местах, а также на маршрутах движения персонала. Поэтому до начала рабочего проектирования стабилизационных мероприятий были выполнены дополнительные исследования с целью получения недостающих данных по радиационной обстановке в локальной зоне, во внутренних помещениях и на покрытии объекта «Укрытие», включая измерения:

- мощности эквивалентной дозы (МЭД);
- угловые характеристики излучения;
- плотность поверхностного загрязнения.

Для выполнения исследований были разработаны конкретные методики и установки, адаптированные для реальных условий объекта «Укрытие», в частности для измерения угловых распределений интенсивности гамма-излучения.

#### *Мощность эквивалентной дозы*

Картограммы мощности дозы на покрытии объекта и в локальной зоне (до начала работ по стабилизации) приведены на рис. 8.34 и 8.35.

Анализ этих данных свидетельствует, что в локальной зоне на уровне земли в большей части зон производства работ МЭД составляла 200 – 400 мкЗв/ч (20 - 40 мР/ч). В зонах работ на более высоких отметках значения мощности дозы существенно возрастают (до 10 раз).

На отдельных участках покрытия значения мощности эквивалентной дозы достигали 30-50 мЗв/ч (3 - 5 Р/ч).

Основными факторами воздействий на персонал являются:

- внешнее гамма-облучение (основной вклад дает  $^{137}\text{Cs}$ );
- внешнее бета-облучение открытых участков кожи и хрусталика глаза (основной вклад дает  $^{90}\text{Sr}$ , в меньшей степени –  $^{137}\text{Cs}$ );
- внутреннее облучение за счет ингаляционного поступления радиоактивных веществ (основной вклад дают изотопы  $^{238-241}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Am}$ , в меньшей степени –  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ ).

В процессе реализации стабилизационных мероприятий проводились дополнительные исследования радиационных обстановки [54 ÷ 56]. Прежде всего это было обусловлено тем, что на период проведения предпроектных исследований во многие зоны производства работ отсутствовал доступ. Проведенные исследования позволили оптимизировать технологию производства строительно-монтажных работ, а также применить дополнительные защитные меры, направленные на снижение дозовых нагрузок на строителей.

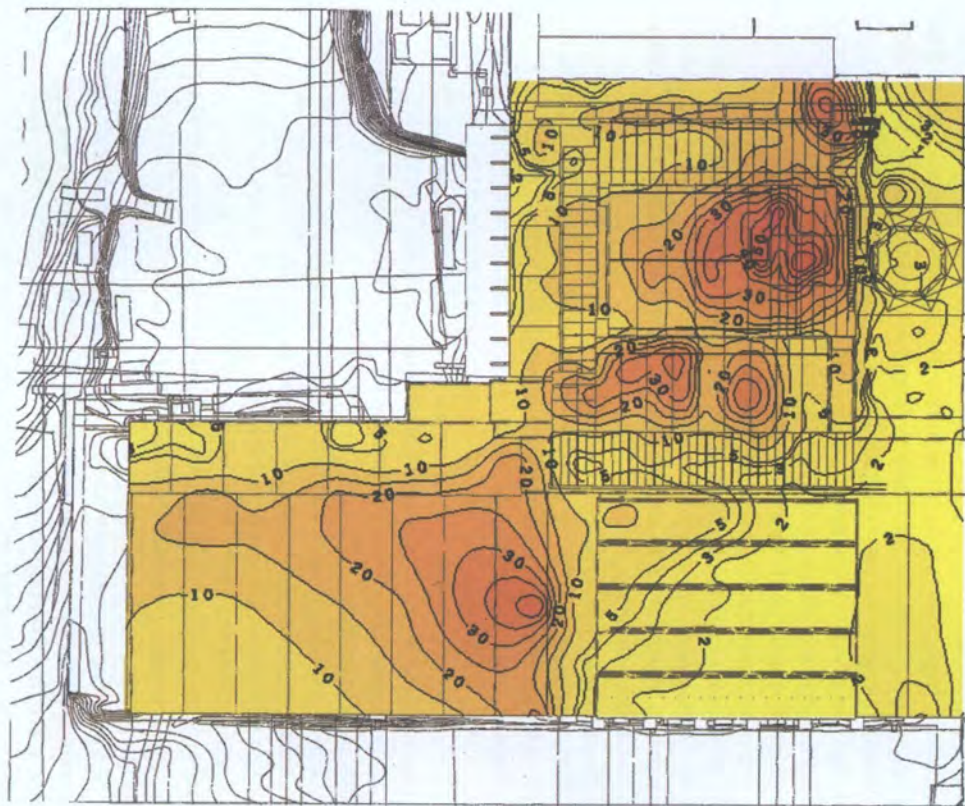


Рис. 8.34. Картограмма мощности дозы на кровлях объекта «Укрытие», мЗв/ч.



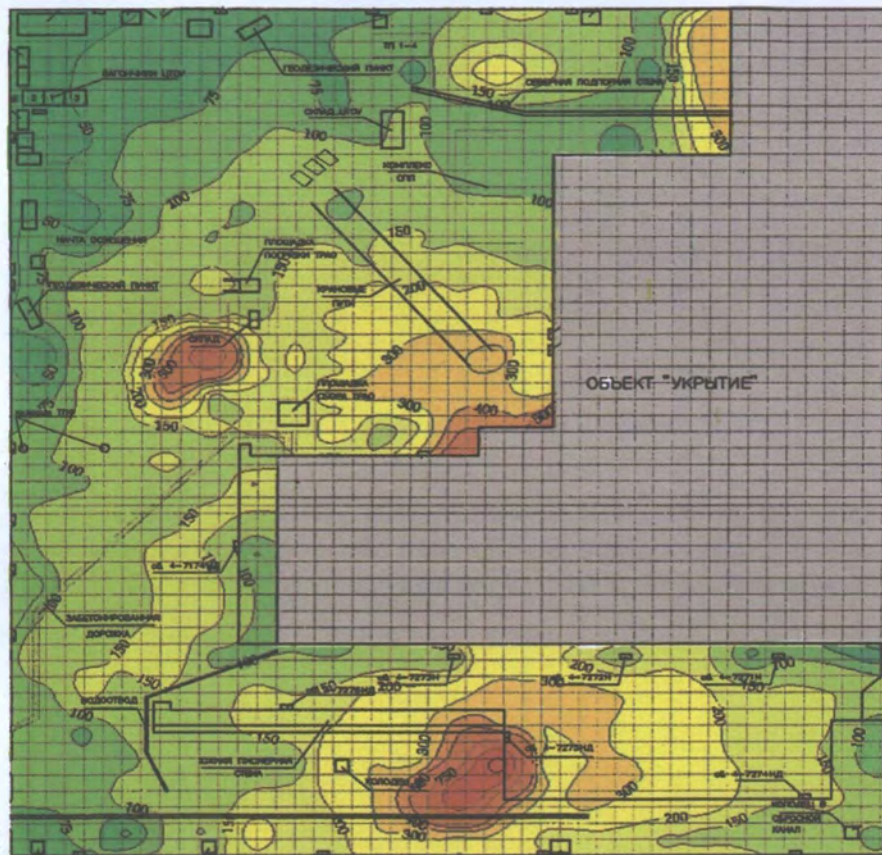


Рис. 8.35. Картограмма мощности дозы в локальной зоне.

В частности, при обследовании ЗПР стабилизационного мероприятия № 14 были обнаружены и охарактеризованы источники гамма-излучения, расположенные на верхних отметках, которые на этапе предпроектных исследований были недоступны. По результатам этих обследований были приняты решения по экранированию рабочих мест, что обеспечило снижение дозозатрат на реализацию данного стабилизационного мероприятия.

На этапе реализации мероприятия по стабилизации западного фрагмента объекта «Укрытие» (мероприятие 2) были получены недостающие данные о распределении МЭД по высоте локальной зоны объекта «Укрытие» в месте монтажа МКУ. Уникальность этого исследования заключалось в том, что требовалось оценить реальные радиационные условия в ЗПР по высоте монтажа МКУ (отметки +26,000, +41,600, +55,500 и +58,500) до установки блоков в проектное положение. Поэтому измерения проводились по специальной методике, предполагающей использование монтажного крана, к крюку которого крепилась платформа с измерительным оборудованием.

Итоговые значения МЭД в ЗПР по стабилизации, полученные на различных этапах радиационных исследований объекта «Укрытие», включая дополнительные исследования в процессе проектирования и реализации стабилизационных мероприятий, представлены в табл. 8.10. В связи со значительной протяженностью ЗПР, значения МЭД в них неоднородны, поэтому в таблице приведены диапазоны МЭД.

#### *Угловые характеристики излучения*

Для оценки углового распределения интенсивности гамма-излучения и измерений коэффициента ослабления, применялось разработанное и изготовленное в ИПБ АЭС НАН Украины устройство ДК-У (рис. 8.36). Устройство ДК-У (дозиметр коллимированный, универсальный) выполнен на основе приборов ДКС-04, МКС-07 «Пошук» и ДКС-01 «Селвис» с выносными коллимированными детекторами. В качестве выносных детекторов гамма-излучения использовались детекторы на основе CdTe.

Для определения угловых распределений интенсивности гамма-излучения в полном телесном угле  $4\pi$  были разработаны оригинальные способ и устройство измерения на основе многодетекторных установок, подтвержденные патентами на изобретения [57, 58]. Были изготовлены и нашли широкое применение многодетекторные установки ШД-1 и ШД-2 с термолюминисцентными детекторами (рис. 8.37).

Детекторный блок установки ШД-1 представляет собой свинцовый шар с 32 углублениями-коллиматорами, равномерно расположенными по поверхности шара.



Таблица 8.10. Значения МЭД в зонах производства работ по стабилизации

№ п/п	Зоны производства работ по мероприятиям			МЭД, мР/ч
Мероприятие № 14				
1	Район монтажа лифта по оси А, отметке 12,000			10 -1 5
2	Район обустройства путей доступа к западному проему в южных "щитах-кляшках"	в осях:	45-46 47-48 49-50	120 150 - 250 350
3	Район проведения работ по прорезке и обустройству западного проема			600 - 1000
4	Район проведения работ по обустройству путей доступа к западной опоре в осях Б-В			95 - 500
5	Район проведения работ на западной опоре в осях 50-51/Г. Значения МЭД приведены после экранирования ЗПР	- западная плоскость опоры - восточная плоскость опоры - южная плоскость опоры - северная плоскость опоры - на оголовке разрушенной стены		300 - 1200 380 - 1400 150 - 850 400 - 2400 до 25000
Мероприятие № 14а				
6	Район обустройства путей доступа к восточному проему в южных "щитах-кляшках"	в осях:	42-43 44-45	140 - 250 80 - 100
7	Район проведения работ по прорезке и обустройству восточного проема			130 - 200
8	Район проведения работ по обустройству путей доступа к восточной опоре в осях Б-В			200 - 250
9	Район проведения работ на восточной опоре			270 - 1500
Мероприятие № 3в				
10	Район проведения работ по обустройству грузоприемной площадки			20 - 50

№ п/п	Зоны производства работ по мероприятиям				МЭД, мР/ч
11	Район проведения работ по установке опор в помещении Г553/2				5 - 50
Мероприятие № 3с					
12	Район проведения работ по установке опор и основные работы по усилению металлоконструкций в деаэрационной этажерке (помещение Г635/3)				
	отметка 24,300	оси Б-В	оси 41-50	ОП-1 ОП-2 ОП-3 ОП-4 ОП-5	800 50 - 70 10 - 20 60 - 150 20 - 50
	отметка 38,600	оси Б-В	оси: 41-53	41-44 45-53	10 - 100 40 - 400
Мероприятие № 5/11					
13	Район монтажа лесов на северном контрфорсе				
	отметка 43,470	оси С-Т	оси:	41-42 43-44 45-46 47-48 49-50 50-51'	40 - 60 35 - 50 20 - 25 18 - 30 5 - 15 50 - 70
	отметка 53,600	оси С-Т	оси:	41-42 43-44 45-46 47-48 49-50 50-51'	200 - 400 300 - 500 400 - 500 300 - 500 100 - 500 300 - 390



№ п/п	Зоны производства работ по мероприятиям				МЭД, мР/ч
14	Район установки анкеров и бетонирования пустот на северном контрфорсе				
	отметка 54,600	оси С - Т	оси:	41- 49 50-51'	500 - 1400 500 - 800
Мероприятие № 8					
15	Район монтажа металлоконструкций соединения южных клюшек со щитами				
	отметка 53,000	ось В	оси:	41-42	150 - 250
				43-46	300
				47-48	600 - 700
				49-50	500
			51-52	300 - 500	
отметка 57,500	осьВ	оси:	41-42	650 - 1800	
			43-44	1500 - 1700	
			45-46	1500 - 2500	
			47-48	1500 - 2300	
			49-50	500 - 1000	
Мероприятие № 2					
16	Район площадки укрупнительной сборки до возведения защитной стенки				10 - 20
17	Район площадки укрупнительной сборки после возведения защитной стенки				2 - 7
18	Район строительства ПМ (до строительства)				20 - 300
19	Район строительства ПМ (после строительства)				3 - 16
20	Район строительства ФМ-1				
	отметка 6,000				7 - 16
	отметка 14,000				14 - 24

№ п/п	Зоны производства работ по мероприятиям		МЭД, мР/ч
21	Район строительства ФМ-2		
	отметка 6,000		10 - 16
	отметка 14,000		30 - 100
22	Места вырезки проемов в контрфорсной стене		
	отметка 26,000	оси Е-И, К, Л	100 - 150; 30; 85
		оси Н, О, П-Р	50, 40; 30
	отметка 41,600	оси Е-И, К, Л	280 - 170, 95; 90
		оси Н-Р	80 - 90
23	Район монтажа МКУ у западной контрфорсной стены:		
	отметка 14,000	ось П	14 - 24
		ось Ж	30 - 100
	отметка 26,000	ось П	15 - 30
		ось 54	10 - 30
		ось 56	70 - 130
		ось Ж	60 - 80
		ось 54	15 - 45
	отметка 29,600	ось П	60 - 80
		ось Ж	60 - 80
	отметка 41,600	ось П	65 - 80
		ось 54	35 - 50
		ось 56	140 - 270
		ось Ж	130 - 260



№ п/п	Зоны производства работ по мероприятиям			МЭД, мР/ч
	отметка 45,200	ось П	ось 56	43 - 60
		ось Ж	ось 56	75 - 165
	отметка 50,500	ось П	ось 56	25 - 60
		ось Ж	ось 56	35 - 240
	отметка 58,500	ось П	ось 56	36 - 58
		ось Ж	ось 56	72 - 195
	отметка 61,300	ось П	ось 50	150 - 1000
			ось 51`	100 - 500
			ось 56	30 - 50
		ось Ж	ось 50	150 - 1000
			ось 51`	100 - 700
			ось 56	80 - 130
24	Район работ между контрфорсной стеной и стеной по оси 51':			
	отметка 10,000	ось Е-П	ось 51`	400 - 1000
			ось 53	900 - 1100
	отметка 26,000	ось Е-П	ось 51`	400 - 1000
			ось 52	900 - 1100
	отметка 41,600	ось Е-П	ось 51`	1650 - 2200
ось 52			750 - 2100	
25	Район работ на покрытии от контрфорсной стены до стены по оси 50 блока "Б".			
		ось Е-П	ось 51`	500 - 800
		ось Ж-П	ось 52	130 - 500

№ п/п	Зоны производства работ по мероприятиям			МЭД, мР/ч
26	Места вырезки проемов по осям Ж и П			
		ось П	ось 50	500 - 1900
		осьЖ	ось 50	205 - 1500
27	Место работ по передаче нагрузки от балок Б1 и Б2 до экранирования по осям Ж и П			
		осьП	ось 50	700 - 2500
		ось Ж	ось 50	500 - 3700
28	Место работ по передаче нагрузки от балок Б1 и Б2 после экранирования по осям Ж и П			
		ось П	ось 50	75 - 500
		ось Ж	ось 50	80 - 500
29	Зоны работ по ремонту легкой кровли			
	➤	на кровле МКУ в осях Н-П		30 - 650
	➤	на парапете в осях 50/Н-П		600 - 3500
	➤	на легкой кровле объекта «Укрытие»		200 - 4200



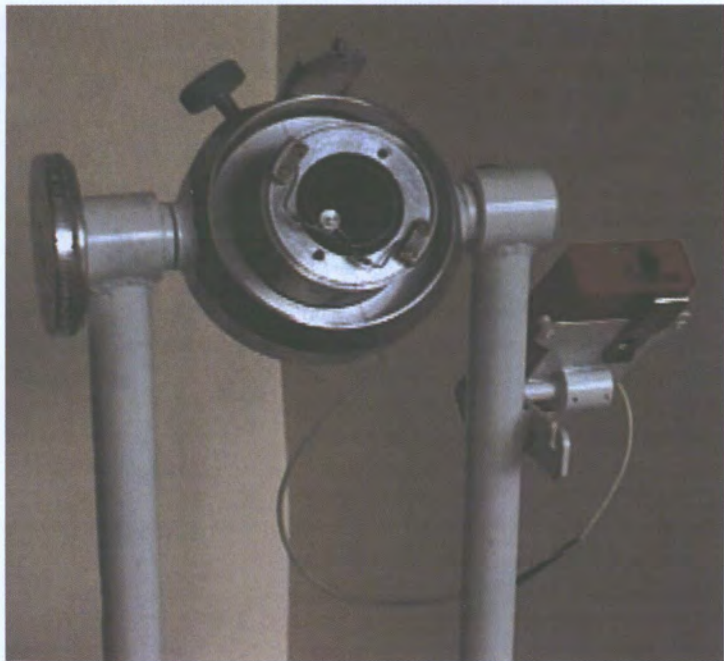


Рис. 8.36. Коллимированный дозиметр для исследования угловых распределений.



Рис. 8.37. Устройства ШД-1 (в транспортном контейнере) и ШД-2 (слева).

Для оперативной предварительной оценки углового распределения интенсивности гамма-излучения и физического моделирования биозащиты была разработана и применялась установка «Экран» (рис. 8.38). Для проведения с ее использованием измерений детектор размещался внутри корпуса установки и со всех сторон (кроме одной) закрывался свинцовыми экранами.



Рис. 8.38. Установка «Экран».

Места проведения измерений угловых распределений и кратностей ослабления в зонах производства работ по мероприятиям № 2, № 4, № 8 и б/н, выполненных на этапе предпроектных исследований, показаны на рис. 8.39.

В процессе реализации стабилизационных мероприятий были проведены дополнительные исследования пространственного распределения гамма-излучения в следующих зонах:

- в районе северной плоскости западной опоры балки «Мамонт»;
- на северо-западном участке кровли машинного зала, возле проема в южных «щитах-клюшках»;

- в районе резервного пульта управления (РПУ)

- в районе строительства фундаментов ФМ-1, ФМ-2 и монтажа МКУ.

На оголовке стены, примыкающей к северной плоскости западной опоры балки «Мамонт», были обнаружены источники гамма-излучения мощностью до 20 Р/ч и более. Для определения влияния этих источников на формирование МЭД (непосредственно на рабочих местах) были выполнены измерения угловых распределений. Полученные данные позволили выбрать оптимальное решение по экранированию.



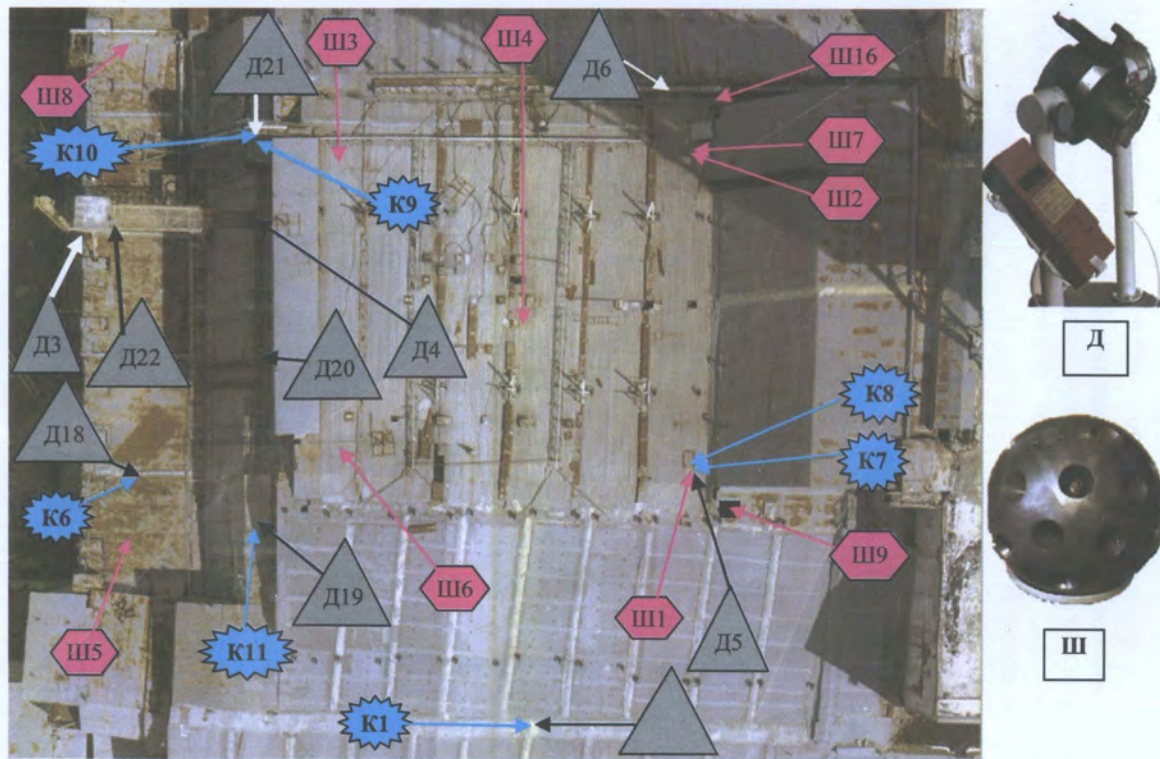


Рис. 8.39. Места проведения измерений угловых распределений и кратностей ослабления.

Перед началом работ по стабилизационному мероприятию № 14 при проведении работ по разметке проема в южных щитах-«клюшках» было зафиксировано превышение расчетного значения индивидуальных доз персонала. Для выявления причин, вызвавших превышение запланированных индивидуальных доз, и с целью дальнейшей минимизации дозовых нагрузок персонала, были проведены дополнительные исследования радиационной обстановки в этом районе. Измерения, проведенные с помощью коллимированного детектора в поисковом режиме, определили направление на наиболее интенсивный источник. Измерения, проведенные установкой ШД-1 в этом же месте, подтвердили полученный результат. Было принято решение о дополнительном экранировании выявленных источников.

На рис. 8.40 приведены угловые распределения гамма-излучения, измеренные в районе РПУ. Данная работа была проведена в связи с оценкой необходимости экранирования источников гамма-излучения, расположенных на кровле РПУ. Для решения этой задачи были исследованы пространственные характеристики гамма-излучения в зонах проведения работ по сооружению фундаментов ФМ1 и ФМ2.

Анализ данных, приведенных на рис. 8.40, показал, что основной вклад в МЭД дают источники, расположенные в направлении контрфорсной стены и лестнично-лифтового блока, а также в направлении верхних отметок деаэрационной этажерки. Дальнейший анализ этих данных и данных по другим исследованиям показал, что излучение от источников на кровле РПУ в основном распространяется только на рабочие места, которые находятся в непосредственной близости к кровле. Их воздействие на другие рабочие места по бетонированию фундамента ФМ-2 незначительное. Организация экранирования этих источников повлечет дополнительные трудо- и дозозатраты персонала при осуществлении деятельности по бетонированию. Причем суммарная КЭД, с учетом дозозатрат на экранирование будет выше, чем коллективная доза без экранирования. Для минимизации доз было рекомендовано проведение дополнительного инструктажа персонала направленного на то, что нахождение работников на рабочих местах, находящихся в непосредственной близости к кровле, возможно только в случае технической необходимости.

#### ***Плотность поверхностного загрязнения***

Обобщенные данные по плотности снимаемого поверхностного бета-загрязнения в ЗПР по стабилизации, полученные на различных этапах радиационных исследований, включая дополнительные исследования в процессе проектирования и реализации стабилизационных мероприятий, представлены в табл. 8.11.



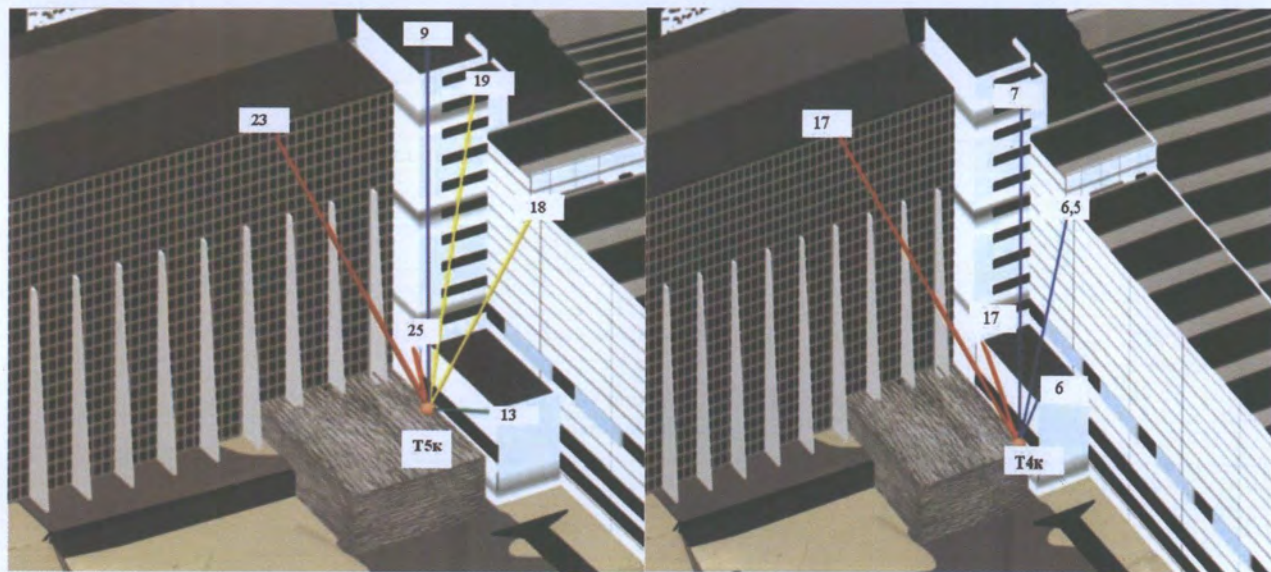


Рис. 8.40. Мощность дозы гамма-излучения из различных направлений на подмостях при бетонировании фундамента ФМ-2 (отметка 14,000), мР/(ч·ср).

Таблица 8.11. Результаты измерения снимаемого поверхностного бета-загрязнения в зонах производства работ

№ п/п	Зоны производства работ по мероприятию	Плотности снимаемого бета-загрязнения, част./( $\text{см}^2 \cdot \text{мин}$ )
<b>Мероприятие № 14</b>		
1	Район монтажа лифта по оси А	50 - 250
2	Район обустройства путей доступа к западному проему в южных щитах- "ключках"	100 - 700
3	Район проведения работ по обустройству путей доступа к западной опоре	1500 - 42000
4	Район проведения работ на западной опоре	15000 - 300000
<b>Мероприятие № 14а</b>		
5	Район обустройства путей доступа к Восточному проему в южных щитах- "ключках"	100 - 700
6	Район проведения работ по обустройству путей доступа к восточной опоре	12500 - 82000
7	Район проведения работ на восточной опоре	150 - 27000
<b>Мероприятие № 3в</b>		
8	Район проведения работ по обустройству грузоприемной площадки	1500 - 14000
9	Район проведения работ по установке опор в помещении Г553/2	1000 - 55000
<b>Мероприятие № 3с</b>		
10	Район проведения работ по установке опор и усилению м/к каркаса ДЭ в помещении Г635/3	1000 - 3700



№ п/п	Зоны производства работ по мероприятию	Плотности снимаемого бета-загрязнения, част./(см <sup>2</sup> ·мин)
<b>Мероприятие № 5, 11</b>		
11	Район монтажа лесов и бетонирования пустот на северном контрфорсе	250 - 2750
<b>Мероприятие № 8</b>		
12	Район монтажа м/к соединения южных клюшек со щитами	300 - 1600
<b>Мероприятие № 2</b>		
13	Район площадки укрупнительной сборки до возведения защитной стенки	1500
14	Район площадки укрупнительной сборки после возведения защитной стенки	1500
15	Район строительства ПМ	1500
16	Район строительства ФМ-1	100
17	Район строительства ФМ-2	100
18	Места вырезки проемов в контрфорсной стене	Наружная поверхность - 1500 внутренняя - до 15000
19	Район монтажа МКУ у западной контрфорсной стены	100
20	Район работ между контрфорсной стеной и стеной по оси 51'	250 - 15000

№ п/п	Зоны производства работ по мероприятию		Плотности снимаемого бета-загрязнения, част./( $\text{см}^2 \cdot \text{мин}$ )
21	Район работ на покрытии от контрфорсной стены до стены по оси 50 блока "Б"		700 - 4000
22	Места вырезки проемов по осям Ж и П		250 - 600
23	Место работ по передаче нагрузки от балок Б1 и Б2 по осям Ж и П		250 - 550000
24	Место работ на заключительном этапе передачи нагрузки по от блока балок Б1 и Б2 по осям Ж и П на 80 %		
	по оси Ж:	Б1	1400 - 2200
		Б2	1400 - 3200
	по оси П:	Б1	1850 - 3400
		Б2	1200 - 2400
25	Зоны работ по ремонту легкой кровли		
	➤ ЗПР по герметизации (южная часть)		500 - 25000
	➤ ЗПР по устройству водоотлива (северная часть)		300 - 1100



### 8.7.2. Мероприятия по радиационной защите

С целью обеспечения радиационной защиты персонала в рабочем проекте стабилизационных мероприятий был разработан и обоснован комплекс организационных, радиационно-гигиенических и технических мероприятий.

Мероприятия по обеспечению радиационной безопасности разработаны с учетом того, что строительно-монтажные работы осуществляются как деятельность с открытыми источниками ионизирующего излучения.

Организационные мероприятия включали подготовку персонала подрядных организаций, разработку конкретных процедур по организации безопасного выполнения строительно-монтажных работ, осуществления постоянного контроля за соблюдением требований радиационной и общетехнической безопасности.

Подготовка персонала, привлекаемого к работам по стабилизации, производилась в учебно-тренировочном центре (УТЦ) ГСП ЧАЭС. Перед подготовкой в УТЦ персонал проходил медицинскую аттестацию в Киеве, осуществляемой в рамках реализации программы «Биомед». Персонал не прошедший медицинскую аттестацию к последующим процедурам подготовки не допускался.

Теоретическая подготовка для работ в условиях максимально приближенных к реальным, осуществлялась по специально разработанным программам, которые включали:

- изучение основ дозиметрии, радиационно-опасных факторов объекта «Укрытие», методов защиты от ионизирующих излучений;

- освоение приемов пользования средствами индивидуальной защиты и средствами индивидуального дозиметрического и радиометрического контроля;

- действия персонала в условиях возможных аварийных ситуаций и аварий;

- передачу опыта проведения подобных работ в условиях воздействия ионизирующих излучений;

- освоение приемов пользования первичными средствами пожаротушения;

- освоение приемов оказания первой помощи пострадавшим.

Для практической отработки нестандартных операций при производстве работ по стабилизационным мероприятиям было предусмотрено создание макетов № 1 - 5.

Макет № 1 был предназначен для отработки операций (монтаж блоков усиления, вырезка проемов в контрфорсной стене), выполняемых

при монтаже конструкций усиления западного фрагмента объекта «Укрытие» (мероприятие № 2).

Макет № 2 был предназначен для тренинга персонала при установке опорных частей для передачи нагрузки на консольную часть усиления западного фрагмента объекта «Укрытие» (мероприятие № 2).

Макет № 3 не был построен в связи отказом от реализации стабилизационного мероприятия № 4.

Макет № 4 был предназначен для отработки процесса установки в проектное положение монтажных блоков связующих ферм (мероприятие № 8).

Макет № 5 был предназначен для тренинга персонала при выполнении работ по усилению западной опоры балки "Мамонт" (мероприятие № 14), включая установку элементов экранирования. Общий вид макета № 5 приведен на рис. 8.41.



Рис. 8.41. Общий вид макета № 5 для отработки операций по мероприятию № 14.

После осуществления теоретической и практической подготовки, персонал прошел проверку знаний по радиационной, пожарной и общетехнической безопасности, а также по правилам обращения с РАО в объеме своих должностных инструкций и квалификационных требований.



Персонал, не прошедший проверку знаний, к работам по реализации рабочего проекта не допускался.

Теоретическое обучение персонала в УТЦ ГСП ЧАЭС и практический тренинг на макетах позволили:

- приобрести навыки выполнения работ в радиационно-опасных условиях;

- отобрать персонал пригодный для работы на высоте, в радиационно-опасных и стесненных условиях;

- оптимизировать время на выполнение технологических операций;

- изучить и уточнить маршруты доступа к рабочим местам и пути эвакуации при возникновении аварийных ситуаций;

- освоить правила пользования средствами индивидуального дозиметрического контроля и средствами индивидуальной защиты;

- освоить действия персонала при возможных аварийных ситуациях и авариях.

К числу основных радиационно-гигиенических и технических мероприятий радиационной защиты, которые обеспечили значительное снижение доз облучения персонала и минимизацию загрязнения окружающей среды, следует отнести:

- организацию санитарно-пропускного режима;

- зонирование мест выполнения работ;

- радиационный контроль;

- обеспечение персонала основными и дополнительными средствами индивидуальной защиты (СИЗ), а также контроль правильности их использования;

- экранирование;

- пылеподавление;

- деактивацию;

- обеспечение персонала необходимым оборудованием и средствами личной и коллективной гигиены;

- организация производства работ по стабилизации (работа по ЕНД, программам и пр.);

- обеспечение работ громкоговорящей связью;

- организация радиосвязи во время проведения работ;

- теленаблюдение за процессом выполнения работ;

- контроль и надзор во время работ;

- медицинские услуги и реабилитацию.

Организация санитарно-пропускного режима создала условия для исключения переноса радиоактивного загрязнения за пределы территории объекта «Укрытие» благодаря контролю загрязнения строительной техники и средств индивидуальной защиты, отправки их при необходимости

на дезактивацию или захоронение, переодеванию и санитарной обработке персонала. Проход персонала на территорию объекта «Укрытие» и выход за его пределы осуществляется только через санпропускник.

Для ограничения переноса радиоактивных веществ внутри территории объекта «Укрытие» предусмотрено зонирование рабочих мест следующим образом: в зонах проведения строительно-монтажных работ выделяются участки с существенно различными уровнями радиоактивного загрязнения, а на границе этих участков размещались временные (переносные) саншлюзы.

Все предусмотренные проектом защитные мероприятия при проведении СМР по стабилизационным мероприятиям были выполнены. Кроме того, в процессе реализации проекта часть мероприятий по радиационной защите уточнялась и оптимизировалась.

### ***Радиационный контроль***

Радиационный контроль осуществлялся в соответствии с требованиями действующих в ГСП ЧАЭС документов и предполагал:

- дозиметрический контроль;

- контроль за нераспространением радиоактивных загрязнений;

- контроль за окружающей средой.

Радиационный контроль при производстве работ осуществлялся путем таких измерений:

- мощности экспозиционной дозы и плотности потока альфа- и бета-частиц в местах производства работ;

- плотности потока альфа- и бета-частиц (общая и снимаемая загрязненность) от поверхностей, используемых при проведении работ инструментов и оснастки;

- мощности экспозиционной дозы и плотности потока альфа- и бета-частиц по установленным маршрутам движения автотранспорта;

- загрязненности альфа- и бета-частицами основного комплекта СИЗ и кожных покровов персонала, выполняющего работы;

- содержания радионуклидов в организме персонала, выполняющего работы – в начале и по окончании рабочей смены;

- индивидуальных доз внешнего облучения персонала, выполняющего работы;

- индивидуальных доз внутреннего облучения по результатам биологического контроля.

Кроме того, проводился мониторинг воздушной среды в ЗПР, включая исследования фильтров индивидуальных пробоотборников.

Радиационный контроль обеспечивался ГСП ЧАЭС. В местах производства работ постоянно действовали дозиметрические посты, оснащенные необходимыми приборами.



Результатам радиационного контроля фиксировались в соответствующих документах (журналы, ведомости, справки, акты, отчеты и т.п.).

При обнаружении каких-либо отклонений от установившихся параметров радиационной обстановки выполнялись корректирующие мероприятия (действия), направленные на улучшение радиационной обстановки.

Дозиметрический контроль внутреннего облучения выполнялся на основании документа «Программа медицинских и биофизических обследований для Подрядчиков ПОМ».

При работе с интенсивными источниками ионизирующего излучения в местах проведения работ производился постоянный контроль МЭД, а персонал обеспечивался индивидуальными прямопоказывающими дозиметрами со звуковой сигнализацией.

Объем индивидуального дозиметрического контроля приведен в табл. 8.12.

Таблица 8.12. Объем индивидуального дозиметрического контроля (ИДК)

№ п/п	Система или средство контроля	Способ получения данных	Периодичность измерений
ИДК внешнего облучения			
1	«HARSHAW – 8800»	Прямые измерения	1 раз в месяц
2	Оперативные дозиметры Д-2Р, РД-3i со звуковой или световой сигнализацией	Прямые измерения	Оперативный постоянный контроль при всех видах работ
ИДК внутреннего облучения			
1	Экспресс - СИЧ	Прямые измерения	Перед началом и окончанием каждой рабочей смены
2	Сканирующий СИЧ (расположен в Киеве)	Прямые измерения	В случае превышения контрольных уровней объемной активности аэрозолей или при авариях

№ п/п	Система или средство контроля	Способ получения данных	Периодичность измерений
3	Биофизические исследования	Отбор проб кала и мочи, сбор мазков из носа	Исследования проводились в соответствии с документом «Программа медицинских и биофизических обследований для подрядчиков ПОМ»
4	Персональные пробоотборники воздуха	Прямые измерения	Использовались при выполнении сварочных работ и абразивной резки (шлифовке, зачистке) для контроля концентрации радиоактивных аэрозолей в зоне дыхания работающего

### **Применение средств индивидуальной защиты (СИЗ)**

При выполнении строительно-монтажных работ были применены основные и дополнительные СИЗ. Дополнительные СИЗ применялись для защиты персонала при работе в радиационно-опасных условиях, когда основные СИЗ не в полном объеме обеспечивали соблюдения требований радиационной безопасности.

К основным СИЗ относились транспортная и рабочая одежда и обувь, в том числе и для выполнения работ в холодное время года.

Выбор и использование дополнительных СИЗ, включающих средства индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗОД), защитные очки и щитки, пластиковую защитную спецодежду и т.п., осуществлялись отдельно для каждого вида работ, в зависимости от их характера и конкретных условий на рабочих местах.

При этом наибольшее внимание уделялось использованию современных эффективных СИЗОД. К факторам, определяющим выбор типа СИЗОД, относились:

характер и количественное содержание радиоактивных и других вредных веществ в воздухе (дисперсный состав и токсичность аэрозолей, наличие паровой фазы, концентрация вредных веществ);

микроклиматические условия на рабочем месте (температура, относительная влажность воздуха, тепловое излучение);

содержание кислорода в воздухе на участке выполнения работ;  
тяжесть выполняемой работы;



защитные и эксплуатационные свойства отдельных образцов СИЗОД.

Дополнительными факторами, определяющими выбор типа СИЗОД в специфических условиях работ по стабилизации строительных конструкций, являлись:

время выполнения работ;

плотность поверхностного загрязнения радионуклидами;

величина мощности эквивалентной дозы;

условия проведения работ (работы в замкнутом пространстве, тесные условия).

Для обоснованного выбора типа СИЗОД оценивались показатели условий труда, которые включает в себя как показатели радиационной обстановки, так и показатели микроклимата в зонах производства работ. Особое внимание уделялось измерению концентраций радиоактивных веществ непосредственно в зоне дыхания работающих, так как при выполнении некоторых технологических операций эти концентрации могут в десятки, сотни и, даже, тысячи раз превышать их среднесменные или среднесуточные значения, определяемые с использованием стационарных пробоотборников.

Для выполнения работ по проекту стабилизации были приобретены эффективные средства индивидуальной защиты, виды и условия применения которых приведены в табл. 8.13.

Таблица 8.13. Виды дополнительных СИЗ и условия их применения

№ п/п	Наименование СИЗ	Условия применения
1	Респиратор РУ-60М (патрон А)	Для защиты органов дыхания при перемещении грузов, монтаже конструкций и оснастки
2	Респиратор РМ-2	Для защиты органов дыхания от аэрозолей и паров радиоактивных веществ
3	Респиратор ЗМ-9925	Защищает органы дыхания от вредных газо- и парообразных веществ, при проведении сварочных работ и резки металлоконструкций
4	Респиратор «Росток-1П»	Для защиты органов дыхания в сухую погоду от высокодисперсных радиоактивных аэрозолей, при перемещении грузов

№ п/п	Наименование СИЗ	Условия применения
5	Респиратор «Тополь-02А»	Для защиты органов дыхания от вредных газо- и парообразных веществ, при монтаже конструкций, оснастки и выполнении антикоррозионных работ
6	Респиратор «Пульс-К»	Для защиты органов дыхания от вредных газо- и парообразных веществ, при монтаже конструкций, оснастки и выполнении антикоррозионных работ
7	Аппарат автономного дыхания АСВ- 2	Для индивидуальной защиты органов дыхания при выполнении механической резки и зачистки металлических поверхностей
8	Респиратор «Росток-1П»	Для защиты органов дыхания в сухую погоду от высокодисперсных радиоактивных аэрозолей, при перемещении грузов
9	Пневмомаска МАС-441, шлем НТ, щиток лицевой со светофильтром АСФ «Хамелеон» с фиксированной степенью затемнения и набором фильтров, которые обеспечивают требуемую очистку воздуха от сварочных и радиоактивных аэрозолей	Для индивидуальной защиты органов дыхания при выполнении сварочных работ
10	Защитный костюм Tychem C	Для индивидуальной защиты от вредных газов, паров и технических жидкостей, а также от $\alpha$ - и $\beta$ -излучения
11	Костюм сварщика Jupiter	Для индивидуальной защиты при выполнении сварочных работ
12	Комбинезон Tyvek Classic	Для индивидуальной защиты при выполнении пылеподавления, дезактивации и работ с РАО

При выборе дополнительных СИЗ предпочтение отдавалось образцам, которые не только обеспечивали необходимую защиту, но и оказывали



вали наименьшее влияние на функциональное состояние организма человека и его работоспособность.

В тех случаях, когда по условиям труда применение пластиковых СИЗ противоречило другим требованиям безопасности конкретного вида работ (электрогазосварочные работы, работы на скользких и замасленных поверхностях и т.п.), то применялись СИЗ, обеспечивающие в первую очередь требования общепромышленной безопасности. В этих случаях был ужесточен контроль за загрязнением спецодежды и контроль ее своевременной замены.

Персонал, участвовавший в выполнении работ, до и после смены проходил контроль на содержание радионуклидов в организме на установке СИЧ объекта «Укрытие», а также два раза за вахту сдавал биопробы.

### ***Защита расстоянием***

Защита расстоянием предусматривала выполнение определенного объема работ на расстоянии от основных источников ионизирующего излучения, которые находятся в объекте «Укрытие». В частности, значительная часть работ по стабилизации западного фрагмента выполнялась на площадке укрупнительной сборки.

### ***Экранирование***

Поскольку основным фактором опасного воздействия на персонал при выполнении работ по стабилизации являлось внешнее гамма-облучение, поэтому одним из наиболее эффективных мероприятий по радиационной защите персонала было постоянное или временное экранирование.

Постоянное экранирование представляло собой защитные стены или щиты-экраны, устанавливаемые на существующих или новых конструкциях в процессе выполнения подготовительных работ по обустройству путей доступа и зон производства работ. Такие экранирующие устройства не подлежали (без необходимости) демонтажу и используются в рамках деятельности по контролю состояния стабилизированных конструкций и их технического обслуживания.

Временное экранирование выполнялось для защиты персонала только на период выполнения работ на конкретном рабочем месте и предполагало использование специально созданных переставных защитных сооружений (типа бокса), экранированных навесных и переставных площадок и кабинок, изготовленных в заводских условиях.

Примером успешного использования экранирования являлась его организация для защиты персонала, работающего на площадке укрупнительной сборки металлоконструкций, предназначенных для мероприятий № 2 и № 8. С этой целью была сооружена бетонная стена толщиной 0,4 м и высотой 9,6 м (рис. 8.42).



Рис. 8.42. Защитная бетонная стена.

Для защиты персонала во время вынужденных технологических перерывов в работе, одевания и снятия дополнительных СИЗ, а также наблюдения за выполнением работ применялись защитные боксы (ЗБ), изготовленные с использованием листового свинца. Впервые идея применения ЗБ была успешно реализована в процессе стабилизации опор блоков балок Б1 и Б2 (рис. 8.43).

Для экранирования зоны производства работ по усилению западной опоры балки «Мамонт», сложная радиационная в которой формировалась источниками гамма-излучения мощностью до 20 Р/ч и более, расположенными в завалах на верхних отметках реакторного блока, был спроектирован и смонтирован защитный экран размерами  $2,1 \times 7,0$  м (рис. 8.44). Защитные свойства экрана обеспечивались свинцовыми листами толщиной 10 мм.

Для минимизации дозозатрат персонала при выполнении работ по цементации основания в местах устройства фундаментов под МКУ стабилизационного мероприятия № 2 были разработаны и внедрены экранирующие кабины. На рис. 8.45 и 8.46 приведены рекомендуемые конструкция экранирующих кабин и их ориентация по отношению к объекту «Укрытие».



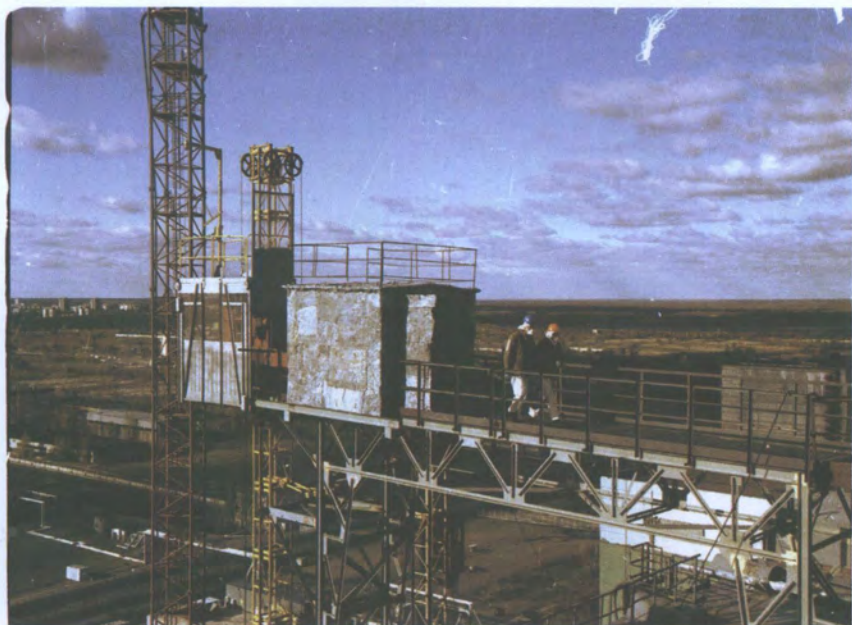


Рис. 8.43. ЗБ, установленный на пути доступа к опорам балок Б1 и Б2.



Рис. 8.44. Защитный экран за северной гранью западной опоры балки «Мамонт».

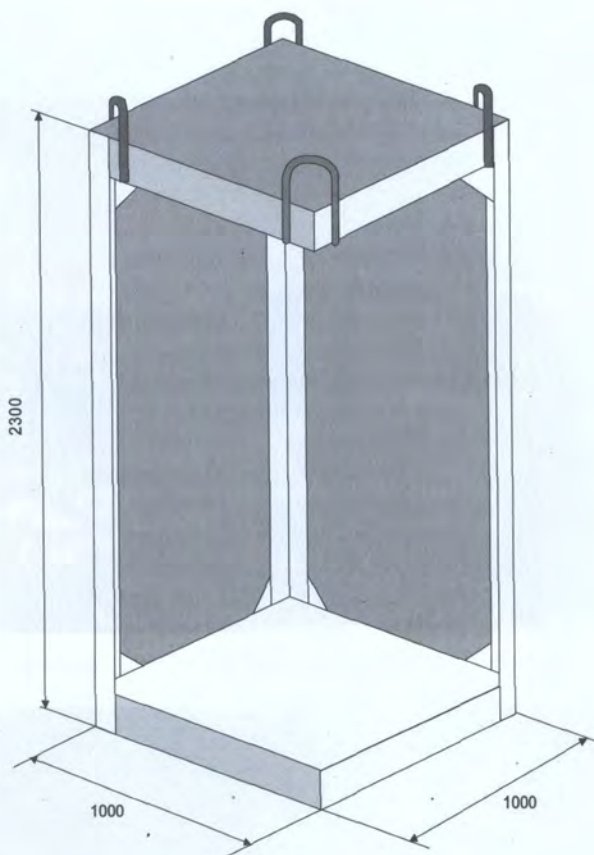


Рис. 8.45. Конструкция экранирующей кабины.

Экранирующая кабина представляет собой объемный каркас из прокатных профилей и обшивкой из стального листа размером  $1000 \times 1000 \times 2300$  мм. Стальными листами обшиты верхняя и нижняя грани кабины (крыша и поддон), а также две смежные боковые грани (две стенки). Две другие боковые грани остаются открытыми. Крыша и стенки кабины снаружи облицованы свинцовыми листами толщиной 10 мм, образующими защитный слой. Внутри двух кабин, установленных рядом, образуется защищенная от излучения с трех сторон и сверху рабочая площадка размерами  $1,0 \times 2,0$  м, на которой может размещаться буровой мастер – в течение всей рабочей смены, и его помощник – в перерывах между рабочими операциями, выполняемыми у скважины.



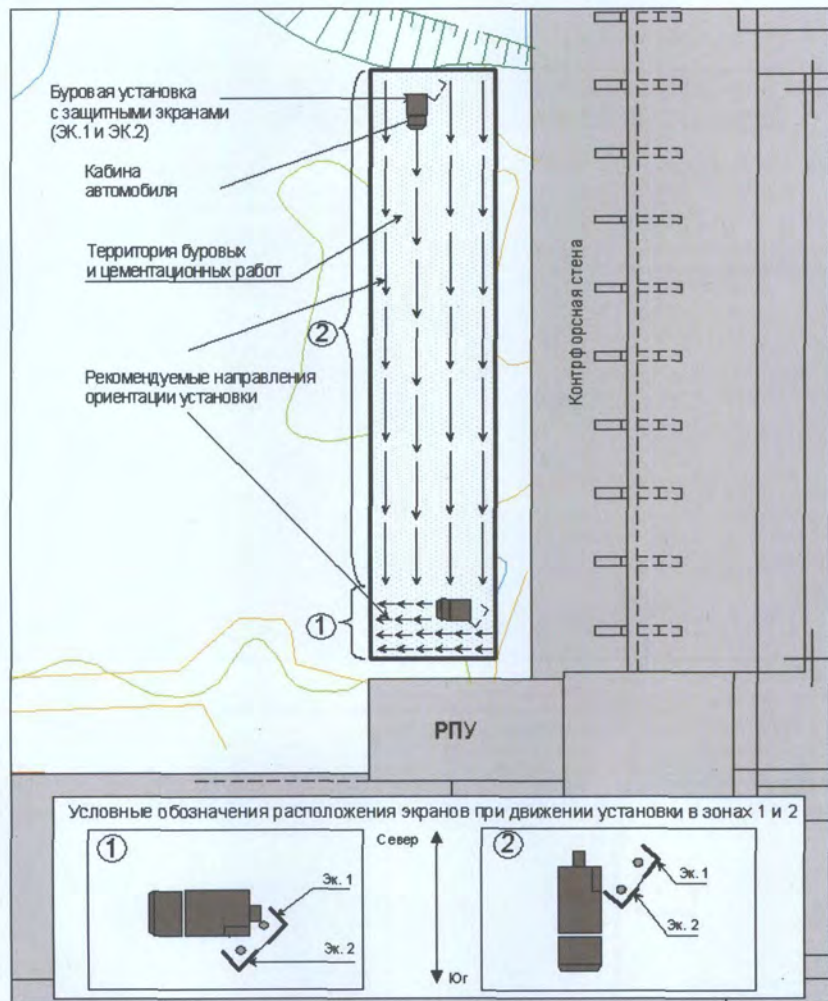


Рис. 8.46. Рекомендуемые ориентации экранирующих кабин в зависимости от направления движения буровых установок.

Кроме того, для защиты рабочих мест на площадке расположения механизмов приготовления водцементного раствора была построена защитная стена из фундаментных блоков толщиной 600 мм. Стена длиной 16,8 м и высотой 2,4 м располагалась на первом северном каскаде в осях 54÷57. На рис. 8.47 приведена схема экранирования рабочих мест на узле приготовления раствора.

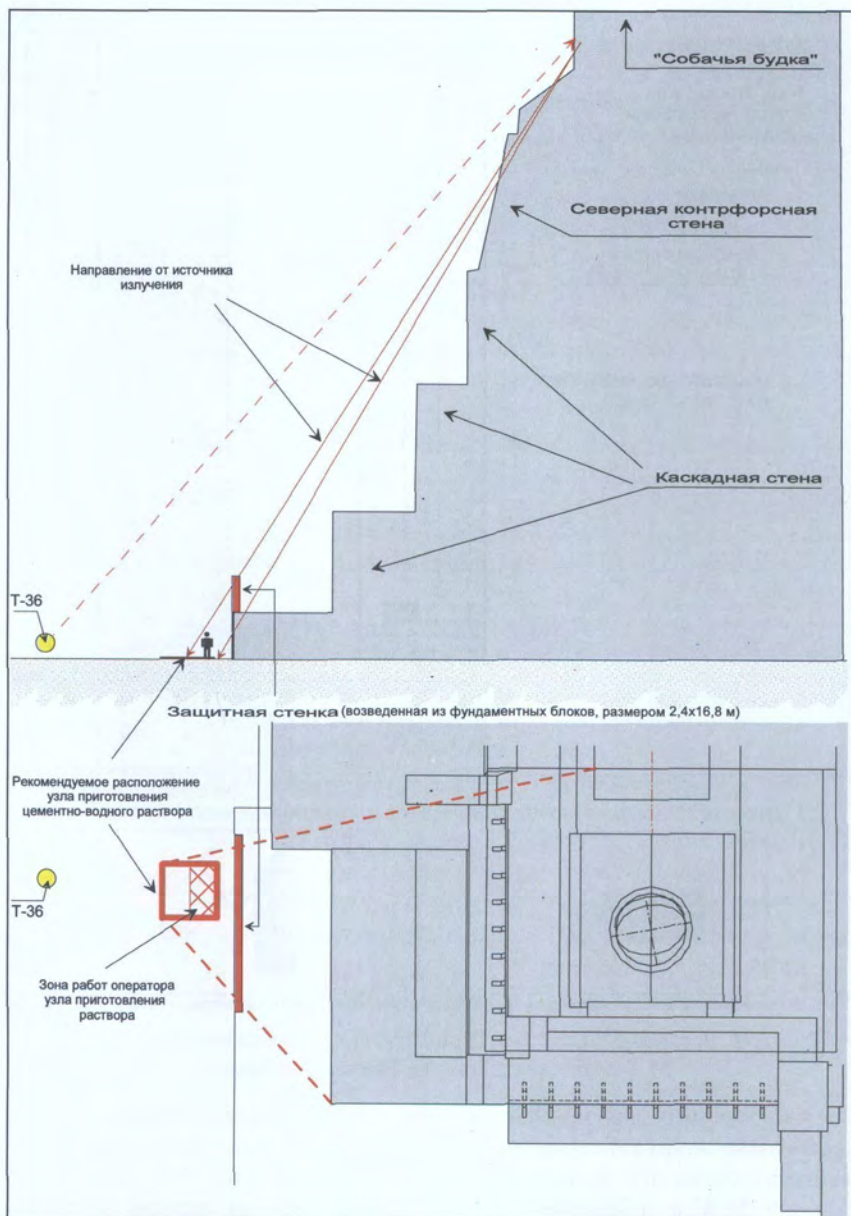


Рис. 8.47. Схема экранирования рабочих мест на узле приготовления раствора.



Были реализованы и другие решения по экранированию отдельных зон выполнения строительно-монтажных работ, а именно:

экранирование ЗПР на северной контрфорсной стене, толщина свинца 5 мм;

экранирование ходовых площадок на южных «щитах» и южных «щитах-клюшках», толщина свинца 5 мм;

экранирование рабочих мест для выполнения сопряжения пространственных опор МКУ с фундаментами (применялись вертикальные экраны высотой 2,5 м, установленные с южной и восточной сторон опор; толщина свинца 5 мм);

экранирование рабочих мест в местах вырезки проемов в контрфорсной стене (применялись вертикальные экраны размерами  $3,5 \times 1,5$  м; толщина свинца 5 мм); экранирование консольной части МКУ на отм.60,000 у оси 50 между осями Е-И, Н-Р (применялись: горизонтальный экран шириной 1,8 м с защитным слоем из свинцовых листов толщиной 20 (10 + 10) мм, расположенный под ходовым настилом рабочей площадки, и вертикальные экраны, высотой 2,0 м, с защитным слоем из свинцовых листов с общей толщиной 20 мм, установленные по южной и северной стороне рабочих площадок);

экранирование опорных узлов блоков балок Б1 и Б2 в осях 50/П÷50/Ж (экранирование выполнено в виде вертикальных щитов-экранов, навешанных на горизонтальные балки между ветвей балок Б1 и Б2, и горизонтальных щитов-экранов, уложенных на балки из уголков, приваренных к нижним поясам балок Б1 и Б2; высота вертикальных экранов 3,15 м, ширина горизонтальных экранов 1,0 м; толщина защитного слоя из свинцовых листов 20 (10 + 10) мм).

### **Дезактивация**

Применялись два способа дезактивации:

механический способ, с применением щеток по металлу, электрической шлифовальной машинки, молотка и зубила;

жидкостный способ, с применением ортофосфорной кислоты ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ), универсального дезактивирующего моющего средства специального назначения «АБСП».

При выполнении основных и комплекса подготовительных работ дезактивировались следующие элементы и конструкции:

элементы демонтируемых радиоактивно загрязненных объектов, расположенных в локальной зоне;

строительно-дорожная техника и спецавтотранспорт;

внутренние поверхности технологических помещений пребывания персонала (защитный бокс, временный саншлюз и др.)

инструмент и оборудование;

поверхности металлических конструкций объекта «Укрытие» для выполнения сварных швов.

*Демонтируемые объекты.* Дезактивация демонтируемых радиоактивно загрязненных объектов, проводилась только для тех конструкций, которые предполагались использовать повторно.

*Строительно-дорожная техника и спецавтотранспорт.* Дезактивация осуществлялась по результатам радиационного контроля при выезде за пределы промплощадки (спецавтотранспорт) и периодически по мере радиоактивного загрязнения (строительно-дорожная техника).

*Защитные сооружения.* Дезактивация защитного бокса, временного саншлюза проводилась периодически по мере радиоактивного загрязнения.

*Инструмент и оборудование.* Дезактивация инструмента и оборудования осуществлялась периодически по мере их загрязнения и при перемещении инструмента и оборудования за пределы локальной зоны.

*Поверхности металлических конструкций объекта «Укрытие».* Дезактивация поверхности металлических конструкций для выполнения сварных швов осуществлялась составами на основе ортофосфорной кислоты (преобразователь ржавчины). Замена способа дезактивации с механического на метод травления существенно снизила выход радиоактивных веществ в окружающую среду.

При выполнении работ также были предусмотрены поддоны с дезактивирующим составом для дезактивации обуви.

Качество дезактивации осуществлялось путем взятия мазка с обрабатываемых поверхностей на наличие «снимаемого»  $\alpha$ - и  $\beta$ -загрязнения.

### ***Пылеподавление***

Во время осуществления работ по стабилизационным мероприятиям запроектированные мероприятия по пылеподавлению были выполнены в полном объеме.

Периодичность и объем пылеподавления определялись в зависимости от вида деятельности и климатических условий (дождь, холодное время года и пр.). Пылеподавление применялось во всех зонах производства работ на строительной площадке, а также на участках маршрутов передвижения персонала. В сухую погоду пылеподавление проводилось ежедневно. Кроме того, пылеподавление проводилось перед началом проведения работ, связанных с интенсивным подъемом пыли (при удалении наплывов бетона, сверлении и резки бетона, уборки мусора), а так же при погрузке сыпучих РАО в спецавтотранспорт. Пылеподавление осуществлялось водой с применением спецавтомашин, оборудованных цистермами с водяными насосами и разбрызгивающими форсунками.



Пылеподавление зон работ в пространстве между контрфорсной стеной и стеной по оси 51', в районе западной и восточной опор балки «Мамонт» осуществлялось с использованием модернизированной системы пылеподавления (МСПП) [26, 59].

### **Видеонаблюдение**

В процессе выполнения работ по стабилизации одновременно на разных рабочих местах работало более 100 человек и около десятка единиц техники. При этом работы одновременно выполнялись в различных местах как внутри объекта, так и на территории промплощадки. Такая организация работ потребовала эффективного управления персоналом, техникой и производственными процессами путем использования видеонаблюдения за ходом выполнения работ по стабилизации.

Установка 14 камер теленаблюдения позволила одновременно охватить и контролировать весь технологический процесс на всех рабочих местах, что привело к уменьшению дозозатрат персонала и отсутствию серьезных нарушений радиационной безопасности, техники безопасности и противопожарной безопасности.

### **8.7.3. Итоги реализации мероприятий по радиационной защите**

Реализация стабилизационных мероприятий была осуществлена в соответствии с рабочим проектом. Все предусмотренные проектом защитные мероприятия по обеспечению радиационной безопасности при проведении строительно-монтажных работ были выполнены. Часть мероприятий по радиационной защите была оптимизирована на этапе реализации проекта.

Фактическая коллективная эффективная доза (КЭД) облучения персонала, участвующего в реализации стабилизационных мероприятий, составила порядка 14 чел.·Зв, что меньше проектного значения. В значительной мере это достигнуто за счет применения организационных и технических мероприятий по обеспечению радиационной безопасности и проведения дополнительных мер, направленных на повышение эффективности и производительности строительно-монтажных работ.

Проводимый в процессе выполнения работ по стабилизации мониторинг доз дал возможность своевременно выявить и проанализировать пооперационные отклонения фактических дозозатрат от проектных значений. Это позволило оперативно принимать корректирующие действия, направленные на снижение дозовых нагрузок персонала и повышения радиационной безопасности.

За время выполнения стабилизационных мероприятий на объекте «Укрытие» серьезных нарушений, которые могли бы повлиять на уровень безопасности в целом, не произошло. Своевременно выявленные проис-

шестствия оперативно рассматривались на еженедельных оперативных совещаниях и один раз в месяц в комитете безопасности (ALARA).

### 8.8. Охрана окружающей среды

Основным видом дополнительных воздействий на окружающую среду в процессе реализации стабилизационных мероприятий являлись выбросы радиоактивных веществ в атмосферу со следующим их перераспределением в компонентах окружающей среды.

При этом наибольший вклад в дополнительное радиоактивное загрязнение окружающей среды оказывало выполнение следующих работ: земляные работы в локальной зоне;

сварочные работы и работы по резке радиоактивно загрязненных конструкций, а также очистка их поверхностей.

В разделе рабочего проекта «Оценка воздействий на окружающую среду» (ОВОС) были рассчитаны величины выбросов при проведении различных работ. При этом учитывались следующие исходные данные: время выполнения работ, количественные характеристики работы (длина сварного шва, площадь территории на которой производится планировка и т.п.), наличие пылеподавления и т.д.

Результаты расчетов выбросов радиоактивных веществ по каждому мероприятию представлены на рис. 8.48.

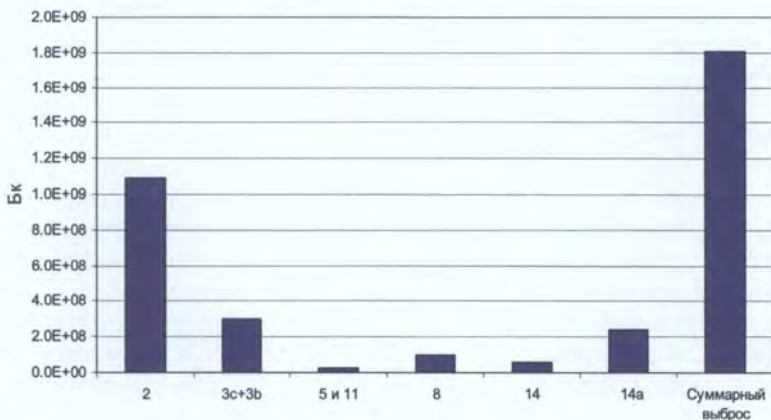


Рис. 8.48. Выбросы при выполнении стабилизационных мероприятий.

Поскольку выполнение стабилизационных мероприятий занимало определенный временной период, были установлены среднесуточные выбросы для каждого мероприятия (рис. 8.49).



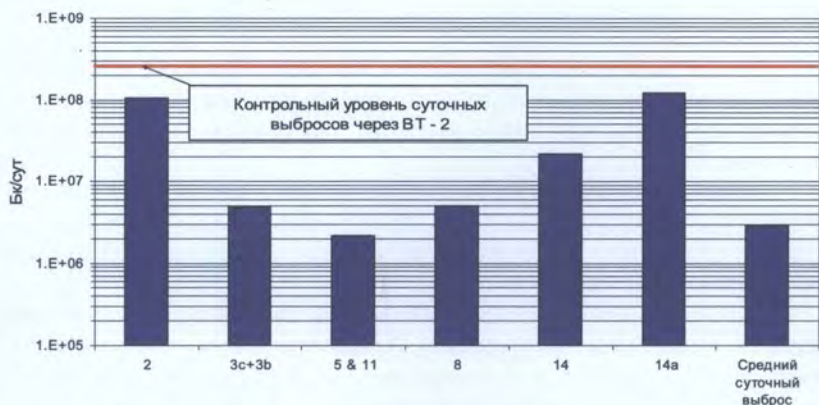


Рис. 8.49. Среднесуточные выбросы для различных мероприятий.

В процессе выполнения работ по стабилизации осуществлялся контроль поступления радиоактивных веществ в окружающую среду, в результате которого не было зафиксировано превышение величин, установленных в ОВОС [118].

Необходимо отметить, что максимальный суточный выброс (при реализации мероприятия № 14а) приблизительно в 2 раза меньше контрольного уровня (КУ) выброса через вентиляционную трубу ВТ-2, а среднесуточный выброс за время реализации всех стабилизационных мероприятий приблизительно в 90 раз меньше этого КУ.

Выполненные в проекте оценки воздействий на окружающую среду и данные мониторинга ее состояния в процессе осуществления деятельности по стабилизации показали, что привнесенное дополнительное количество радиоактивных веществ составляет частицы процента от существующего загрязнения территории зоны отчуждения.

Влияние на водную среду, в частности р. Припять, также можно считать незначительным, поскольку годовой вынос радионуклидов рекой приблизительно в 5000 раз превышает общую величину выбросов, которые образовались при выполнении стабилизационных мероприятий.

Наиболее возможным воздействием на растительный и животный мир было поступление радионуклидов на прилегающие экосистемы близлежащих территорий. При этом суммарное среднесуточное количество активности при выбросе, продуцируемое стабилизационными мероприятиями, было существенно меньше контрольных среднесуточных уровней выбросов радионуклидов через ВТ-2. Исходя из этого, можно сделать вывод, что радиационная составляющая практически не оказала

влияния на естественный покров прилегающих территорий и фаунистические комплексы.

В ходе выполнения мероприятий по стабилизации не предусматривалось проведение работ, способных прямо или косвенно повлиять на условия произрастания редких растений, занесенных в «Красную книгу Украины».

Влияния на объекты природно-заповедного фонда (ПЗФ) на территории зоны отчуждения не было из-за значительного их удаления от объекта «Укрытие». Ближайший к объекту «Укрытие» объект ПЗФ находится на расстоянии 8 км.

Дополнительные радиационные воздействия на персонал, проживающий в Чернобыле, и население, проживающее за пределами зоны отчуждения, в результате деятельности по стабилизации строительных конструкций объекта «Укрытие», практически отсутствовали.

В то же время большой объем работ по стабилизации способствовал привлечению к этой деятельности значительного количества строителей и работников других специальностей, что опосредованно оказало положительное влияние на состояние социальной среды в близлежащих регионах.

Таким образом, дополнительные радиационные воздействия на все компоненты окружающей среды в результате осуществления деятельности по стабилизации являются приемлемыми, учитывая то, что в случае отказа от стабилизации потенциальные радиационные воздействия вследствие обрушения объекта «Укрытие» были бы несоизмеримо большими.

## **8.9. Обращение с РАО**

Одной из особенностей выполнения строительно-монтажных работ в условиях объекта «Укрытие» является образование РАО и необходимость обращения с ними.

В составе рабочего проекта стабилизационных мероприятий была разработана «Программа обращения с РАО» [131].

В процессе реализации стабилизационных мероприятий образовывались твердые радиоактивные отходы (ТРО) и жидкие радиоактивные отходы (ЖРО), обращение с которыми рассмотрено ниже.

### **8.9.1. Обращение с ТРО**

Образовавшиеся ТРО были представлены двумя видами: первичные, образовавшиеся непосредственно в процессе выполнения технологических операций;



вторичные, образовавшиеся в результате проведения мероприятий по радиационной защите персонала и окружающей среды, а также вследствие загрязнения оборудования и инструментов.

Первичные (технологические) ТРО образовались в основном при выполнении следующих работ:

планировка территории, подготовка поверхности под устройство фундаментов, удаление балластного слоя подкрановых путей, бурение скважин для закрепления грунтов и другие земляные работы;

разборка склада кернов;

демонтаж трубопроводов, расположенных в пределах стройплощадки;

организация проемов в элементах металлоконструкций западной контрфорсной стены;

ремонт легкой кровли объекта «Укрытие».

Основное количество первичных ТРО были отнесены к категориям низко- и среднеактивных РАО.

Вторичные ТРО были представлены:

средствами индивидуальной защиты (СИЗ) персонала, не подлежащими дезактивации;

ветошью и другими обтирочными материалами;

инструментом и оборудованием, не поддающимся дезактивации.

Все вторичные ТРО были отнесены к категории низкоактивных ТРО.

ТРО по виду загрязнения представляют собой поверхностно и объемно радиоактивно загрязненные материалы.

К поверхностно загрязненным отходам относились крупногабаритные ТРО, представленные, в основном, радиоактивно загрязненными фрагментами бетонных и железобетонных конструкций, демонтируемых в локальной зоне существующих объектов, а также фрагментами металлоконструкций внешней локализирующей оболочки объекта «Укрытие».

К объемно загрязненным РАО, прежде всего, относились сыпучие ТРО которые, в основном, были представлены грунтами, извлекаемыми при проведении земляных работ и бурении скважин.

Данные о количестве первичных (технологических) и вторичных ТРО, образовавшихся при реализации стабилизационных мероприятий, приведены в табл. 8.14.

В процессе выполнения подготовительных работ образовалось небольшое количество высокоактивных отходов (ВАО), которые были перемещены во временное хранилище твердых ВАО, расположенное на промплощадке ЧАЭС. Объем и характеристики этих ВАО представлены в табл. 8.15.

**Таблица 8.14. Данные о количестве ТРО, образовавшихся в процессе выполнения работ по стабилизации**

№ стабилизационного мероприятия	Виды отходов	Количество ТРО, т
Подготовительные работы	Технологические ТРО	486
	Вторичные ТРО	5,3
Мероприятие № 2	Технологические ТРО	8,2
	Вторичные ТРО	20,4
Мероприятие № 3с	Технологические ТРО	-
	Вторичные ТРО	3,78
Мероприятие №3в	Технологические ТРО	-
	Вторичные ТРО	7,43
Мероприятие № 14	Технологические ТРО	-
	Вторичные ТРО	1,42*
Мероприятие № 14а	Технологические ТРО	-
	Вторичные ТРО	1,43
Мероприятия № 5 и № 11	Технологические ТРО	4,1
	Вторичные ТРО	1,68
Мероприятие № 8	Технологические ТРО	-
	Вторичные ТРО	2,32
Мероприятие б/н	Технологические ТРО	2,5
	Вторичные ТРО	0,75
<b>Итого:</b>		<b>544</b>

**Таблица 8.15. Характеристики и объемы ВАО, образовавшихся при выполнении стабилизационных мероприятий**

№ п/п	Вид ВАО	Объем ВАО, м <sup>3</sup>	Суммарная активность	
			Ку	Бк
1	песок*	0,03	0,000192	7,10E+06
2	кусок трубы, песок*	0,003	2,4	8,88E+10
3	Керны, песок**	0,135	0,881	3,26E+10

\* Образовались при удалении здания хранилища.

\*\* Образовались при удалении кернов в процессе выполнения работ по цементации грунта.



В объемы ТРО не включены следующие демонтированные объекты:  
башенный кран КБ-676;  
грузопассажирский подъемник;  
монтажные навесные площадки;  
свинцовые экраны;  
передвижные трапы;  
элементы защитной бетонной стены в локальной зоне и другие.

Эти объекты после дезактивации и радиационного обследования переданы Заказчику для их дальнейшего использования.

Цикл обращения с ТРО включал технологические операции по радиационному обследованию мест образования отходов, обращению с ними и осуществление мероприятий по обеспечению радиационной безопасности. Различный характер требуемых технологических операций обусловил необходимость привлечения к их выполнению специалистов соответствующего профиля. В связи с этим, были разделены объемы работ по обращению с ТРО между Подрядчиком на строительство и Заказчиком.

Общая организация работ по обращению с РАО была направлена на обеспечение:

четкого взаимодействия Подрядчика с Заказчиком для исключения повышенного облучения персонала при обращении с РАО, прежде всего, при обнаружении ВАО;

максимально возможного снижения коллективной, эффективной дозы персонала и минимизации влияния на окружающую среду при обращении с РАО за счет выполнения мероприятий по обеспечению радиационной безопасности, использования прогрессивных технологий и оборудования при производстве работ, выполнения требований действующих на объекте «Укрытие» и ЧАЭС инструкций, положений и программ по организации и проведению работ с РАО;

минимизации образования объемов РАО;

контроля и учета образования и перемещения РАО, образующихся в процессе выполнения работ.

В целях контроля сохранности радиоактивных отходов, образуемых в процессе работ, Подрядчик осуществлял учет их образования и передачи Заказчику для радиационного обследования, паспортизации и организации отправки на захоронение.

### ***Предварительная характеристика ТРО в местах образования***

Подрядчик осуществлял предварительную характеристику РАО в местах их образования. Эта операция заключалась, в первую очередь, в визуальном контроле производства земляных работ (планировке территории, разработке грунта в зоне существующих откосов) с целью выявления

возможных крупногабаритных включений и нехарактерных для данной рабочей зоны материалов. Кроме того, перед началом работ по демонтажу существующих строений (объектов) в локальной зоне осуществлялся контроль отсутствия взрыво- и пожароопасных материалов, случайно оставленных радиоактивно загрязненных предметов (например, использованные СИЗ) и т.п.

Дальнейшее обращение с образующимися РАО выполнялось по технологической схеме, учитывающей особенности отходов (крупногабаритные, малогабаритные, сыпучие).

### ***Обращение с крупногабаритными ТРО***

Крупногабаритными отходами считались отходы, хотя бы один габаритный размер которых превышал 1,0 м.

Дезактивация этих РАО с целью перевода отходов в группу освобождаемых от контроля регулирующих органов не планировалась. Это связано с тем, что при дезактивации обычными моющими средствами удаляется лишь снимаемое поверхностное загрязнение, составляющее около 6 % от общего.

Образуемые в процессе выполнения работ крупногабаритные фрагменты металлоконструкций основным монтажным краном доставлялись на площадку сбора и погрузки РАО.

Для обеспечения выполнения операций по пылеподавлению площадка была оборудована упорами для возможности установки плоских крупногабаритных фрагментов в положении, близком к вертикальному, для нанесения пылеподавляющего состава на все стороны фрагмента без дополнительного кантования. Для пылеподавления фрагментов труб и других профилей предусматривались передвижные опоры (подставки).

Силами Заказчика на этой площадке осуществлялось их обследование с определением радиационных характеристик и уточнением габаритных размеров.

На основании уточненных габаритных размеров персонал Подрядчика определял соответствие крупногабаритных РАО размерам, допускаемым для транспортирования спецавтотранспортом.

При превышении габаритных размеров, допускающих перевозку крупногабаритных РАО автотранспортом, Подрядчик осуществлял фрагментацию отходов, пылеподавление и погрузку крупногабаритных РАО на спецавтотранспорт.

В соответствии с технологией подготовки к захоронению РАО крупногабаритные фрагменты, транспортируемые на ПЗРО «Буряковка» в спецавтотранспорте без применения упаковочных средств, подлежали покрытию пылеподавляющими составами. Работы по пылеподавлению осуществлялись на площадке сбора и погрузки РАО.



Транспортирование РАО осуществлялось в сопровождении представителя Заказчика по установленным маршрутам следования, согласованным с Госавтоинспекцией зоны отчуждения.

### **Обращение с сыпучими ТРО**

Сыпучие РАО образовывались, в основном, в процессе производства земляных работ в локальной зоне при зачистке и подготовке территории под фундаменты и бурения скважин для цементации грунтов, а также установки столбов электропередачи.

При выполнении стабилизационных работ не предполагалась переработка (компактирование) образующихся РАО. В связи с этим, сортировка РАО по физическому состоянию не производилась. Также не производилось разделение РАО по категориям на НАО и САО, поскольку ПЗРО «Буряковка» осуществляет прием и захоронение РАО без разделения по категориям.

В связи с тем, что в техногенном слое локальной зоны не исключалась вероятность обнаружения включений ВАО, при зачистке и подготовке территории удаление или перемещение грунта осуществлялось послойно.

В зависимости от конкретных условий, удаляемый грунт, при необходимости, использовался на выравнивание и подсыпку определенного участка территории зоны работ. Для этой цели использовались грунты с радиоактивным загрязнением до 30 мР/ч.

При отсутствии необходимости в подсыпке или при более высоком радиоактивном загрязнении (до 50 мР/ч) образуемые сыпучие РАО удалялись на захоронение на ПЗРО «Буряковка».

Для перевозки сыпучих РАО использовались самосвалы с закрывающимися кузовами, с заполнением кузова не более 3/4 его объема. При отсутствии самосвалов применялась технология с помещением РАО в оборотные контейнеры-сборники (рис. 8.50) с последующей перегрузкой в прибывший самосвал.



Рис. 8.50. Контейнер-сборник (объемом 1м<sup>3</sup>), используемый для сбора низко- и среднеактивных ТРО.

Погруженные в спецавтотранспорт сыпучие ТРО передавались Заказчику для радиационного обследования и паспортизации.

Контейнеры-сборники, загруженные керном, направлялись на площадку сбора и погрузки РАО и перегружались в спецавтотранспорт для радиационного обследования, паспортизации и отправки на захоронение.

При бурении образуемый керн из колонковой трубы удалялся непосредственно в контейнер-сборник.

#### **Обращение с малогабаритными РАО**

Малогабаритные РАО (образующиеся при демонтаже существующих сооружений) в виде осколков кирпича, бетона, другого строительного мусора собирались в первичные упаковки (пластиковые мешки) или контейнер-сборник, которые доставлялись на площадку сбора и погрузки РАО для передачи Заказчику. При возможности также осуществлялась непосредственная загрузка отходов в кузов спецавтотранспорта.

Для сбора вторичных малогабаритных отходов, образующихся в процессе выполнения работ на верхних отметках объекта «Укрытие» (технологических отходов в виде отработанных отрезных кругов, остатков электродов, вышедшего из строя ручного инструмента, других мелких отходов, мусора и т.п.) основным монтажным краном устанавливались в зонах производства работ контейнеры-сборники. По мере накопления контейнеры-сборники удалялись тем же краном на площадку сбора и погрузки РАО.

Захоронение образовавшихся в ходе выполнения работ по стабилизации ТРО осуществлялось на существующем пункте захоронения радиоактивных отходов (ПЗРО) «Буряковка».

### **8.9.2. Обращение с ЖРО**

Основными источниками образования ЖРО при осуществлении стабилизационных мероприятий являлись:

работы по дезактивации обрабатываемых конструкций, оборудования, инструмента;

санитарная обработка персонала.

Жидкие отходы, образовавшиеся при выполнении стабилизационных мероприятий, имели низкую удельную активность. Отходы представляли собой негорючие, малосолёные (содержание солей до 5 г/л) растворы неорганических веществ и моющих средств (поверхностно-активные вещества – ПАВ) в воде.

Радионуклидный состав ЖРО, в основном, определялся  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{239-240}\text{Pu}$  и  $^{241}\text{Am}$ .

Количество и источники образования ЖРО приведены в табл. 8.16.



Таблица 8.16. Объемы образовавшихся ЖРО, м<sup>3</sup>

Источник образования	Общие подг. работы	Номер мероприятия							
		2	3в	3с	5, 11	8	14	14а	б/н
Санобработка персонала	1150	3200	370	180	75	100	70	70	80
<b>Итого</b>	<b>5195</b>								
Дезактивация строительной техники, спецавтотранспорта и контейнеров для перевозки РАО, малогабаритного оборудования	710	32	12	3	4	3	2	2	-
<b>Итого</b>	<b>768</b>								

Основные объемы ЖРО составляют обмывочные воды санпропускника, образующиеся при санитарной обработке персонала, которые, в основном, относятся к категории низкоактивных ЖРО.

По мере завершения работ оборудование и механизмы подвергались радиационному контролю и при необходимости проводилась их дезактивация.

Дезактивация мелкогабаритного оборудования, оснастки, приспособлений и СИЗ осуществлялась на участке дезактивации.

Дезактивация автотранспорта, крупногабаритного оборудования, оснастки, приспособлений осуществлялась на мобильной установке.

Обращение с ЖРО, образующимися как при санобработке персонала, так и в результате дезактивации строительной техники, спецавтотранспорта и контейнеров для перевозки РАО, а также мелкогабаритного оборудования выполнялось персоналом ГСП ЧАЭС.

#### Список литературы к разделу 8

- 1 Отчет о НИР «Прогнозирование долговечности укрытия над разрушенным четвертым энергоблоком ЧАЭС (строительная часть)», т. 1 / НИИСК. – К., 1993. – 134 с.

- 2 *Акт № 1* натурного обследования состояния железобетонных конструкций каркаса дезаэрационной этажерки в осях 41-51/Б-В объекта "Укрытие" Чернобыльской АЭС / НИИСК. - Инв. № 688-1 от 21.03.93. - 2 с.
- 3 *Акт № 2* натурного обследования состояния железобетонных конструкций каркаса реакторного отделения в осях 50-50'/Г-И (помещение 2001/4) на отметке 43 м / НИИСК. - Инв. № 688-2 от 30.05.93. - 1 с.
- 4 *Акт № 3* натурного обследования состояния железобетонных конструкций каркаса реакторного отделения в помещениях 801/2 и 805/3 на отметке 31,5 м / НИИСК. - Инв. № 688-3 от 19.05.94. - 2 с.
- 5 *Акт № 4* натурного обследования состояния железобетонных конструкций каркаса реакторного отделения в осях 50-51'/Г-И (помещения 1001/2 и 1003/3) / НИИСК. - Инв. № 688-4 от 22.06.94. - 1 с.
- 6 *Акт № 5* натурного обследования состояния железобетонных конструкций каркаса реакторного отделения в помещениях 801/2 и 803/2 и 713/2 на отметке 31,5 м / НИИСК. - Инв. № 688-5 от 15.11.94. - 1 с.
- 7 *Акт* натурного обследования состояния консольной части блока балок Б1, расположенных по осям Ж и П объекта «Укрытие» Чернобыльской АЭС / НИИСК. - Инв. № 688-5 от 03.11.94. - 2 с.
- 8 *Акт* осмотра стены по оси 50 и пространственных железобетонных конструкций обстройки в осях 49-51', рядах Г-П на отметках 19,50 м, 24,00 м, 27,00 м, 31,50 м / НИИСК. - Инв. № 158 от 05.07.96.
- 9 *Акт № 1* натурных обследований деформационных швов и участков сопряжения конструкций блока «В» и опоры балки «Мамонт» в осях 41-42, ряды В-Г / ПО ЧАЭС, НИИСК. 02.05.97. - 6 с.
- 10 *Паспорт* строительной конструкции. Опора балки «Мамонт» в осях 50-51/В-Г. - Решетчатая металлоконструкция. Рег. № 5 / ПО ЧАЭС, НИИСК. - К., 1996. - 16 с.
- 11 *Акт* осмотра северной контрфорсной стены в осях 41-51', в рядах «С-Т» с отм. 41,50 м до отм. 53,45 м на предмет заполнения бетоном стен и контрфорсов. / ПО ЧАЭС Объект «Укрытие». Инв. № 67 от 19.02.97г. - 3с.
- 12 *Акт* осмотра узлов опирания покрытия на северную контрфорсную стену в рядах С-Т на отм. 56,87 / ПО ЧАЭС Объект «Укрытие». - Инв. № 293 от 23.05.97. - 6 с.
- 13 *Акт № 3* натурных обследований северной контрфорсной стены в рядах «С-Т» и участков опирания щитов покрытия на конструкции стены / НИИСК, ПО ЧАЭС. 21.07.97г. - 7 с.
- 14 *Паспорт* строительной конструкции. Балки Б1 у оси Ж. Рег. № 1 / ПО ЧАЭС, НИИСК. - К., 1996. - 17 с.
- 15 *Паспорт* строительной конструкции. Балки Б1 у оси П. Рег. № 7 / ПО ЧАЭС, НИИСК. - К., 1996. - 17с.
- 16 *Паспорт* строительной конструкции. Балки Б2 у оси Ж. Рег. № 3 / ПО ЧАЭС, НИИСК. - К., 1996. - 17 с.
- 17 *Паспорт* строительной конструкции. Балки Б2 у оси П. Рег. № 4 ПО ЧАЭС, НИИСК. - К., 1996. - 17 с.
- 18 *ЧАЭС Блок 4 – Кратко и Долгосрочные Мероприятия – Заключительный отчет.* TACIS Services DG IA, Европейская Комиссия, Брюссель, 1996 .



- 19 *Отчет по прединтегрированному проекту. WBS A01 1150- Док.1.2, 1999.*
- 20 *Интегрированный отчет стабилизационных мероприятий. Пакет А «Гражданское проектирование», Задача А1 «Интеграция и мобилизация проектов стабилизации и экранирования» (WBS A01 14100 – Doc. 1.6a, ред. 0 от 15.09.99) / ICC(MK)JV; Киев – Чернобыль, 1999.*
- 21 *Решение НАЭК «Энергоатом» по П1 «Стратегия стабилизации и экранирования» от 22 мая 2000 г.*
- 22 *Висновок № 01-10-1123/2 Державної експертизи ядерної та радіаційної безпеки по документах ПЗЗ “Завдання 1. Попередній звіт з аналізу безпеки. WBS A01 18000” (ред. 4 від 15.11.2000 р.).*
- 23 *Лист Держатомрегулювання № 14-15/781 від 11.06.2001 р.*
- 24 *Решение НАЭК «Энергоатом» по П2 «Стратегия стабилизации кровли, опор и конструкций» от 24 декабря 2000 г.*
- 25 *Задание на разработку проектной документации и технических спецификаций для проведения стабилизационных мероприятий на объекте «Укрытие». Объем работ/Документ D.*
- 26 *Отчет о состоянии безопасности объекта «Укрытие», SIP-P-PM-22-460-SAR-124-05. - ГСП ЧАЭС, 2008. - 436 с.*
- 27 *Технологический регламент объекта «Укрытие реактора блока № 4 Чернобыльской АЭС». - 1Р-ОУ. - ГСП ЧАЭС, 2005.*
- 28 *Нормы строительного проектирования АС с реакторами различного типа. Правила и нормы в атомной энергетике Пин АЭ-5.6.*
- 29 *Документ 1.4. «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». Ред. 0 от 21.12.2000 г.*
- 30 *Анализ текущей безопасности объекта «Укрытие» и прогнозные оценки развития ситуации, 1996.*
- 31 *Рабочий проект по стабилизационным мероприятиям. Общая пояснительная записка SIP K 02 01 000 EXN001 03. ПОМ на ОУ. WBS A02 90510, Ред. 03. CFC. - 2003.*
- 32 *Стратегия преобразования объекта «Укрытие», 2001.*
- 33 *Уточнение класса смерча на основе анализа последствий прохождения смерча класса F1.5 над объектом «Укрытие». Отчетный документ SIP K 02 01 000 EXN 002 01.*
- 34 *Нормы радиационной безопасности Украины; дополнение: Радиационная защита от источников потенциального излучения» (НРБУ-97/Д-2000).*
- 35 *Интеграция и мобилизация проектов стабилизации и экранирования. Интегрированный отчет по стабилизации, экранированию и доступу. WBS A01 18000 – Doc.1.6b, 2000 г.*
- 36 *Расчетное обоснование величины передачи нагрузки на МКУ. Отчет по результатам мониторинга за состоянием строительных конструкций западного фрагмента ОУ ГСП ЧАЭС. – SIP K S5 01 002 SMR 002 04. – 2007.*
- 37 *Обзор информации и предложения НИИСК по стабилизации объекта «Укрытие» (Стратегия поэтапной стабилизации) / НИИСК. – Киев, 1994. – 14 с.*

- 38 *D7.5. Техническая заявочная документация «Проект производства работ» (предварительный отчет). SIP K 02 01 000 INR 005 02. КСК, 2003. – 263 с.*
- 39 *Рудько В.М., Батий В.Г., Сидоренко Н.В. и др. Разработка технологий безопасного выполнения работ по стабилизации объекта «Укрытие» // Проблемы Чернобиля. - 1998. Вип. 4. - С.13 - 14.*
- 40 *Батий В.Г., Деренговский В.В., Малахов Ю.В. Методика выбора оптимальных решений при производстве работ в радиационно-опасных условиях // Проблемы безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля. – 2006. – Вип.6. – С. 77 – 81.*
- 41 *D25.2 «Итоговый исполнительный отчет по стабилизационным мероприятиям (отчет по оценке безопасности)». SIP K 04 01 000 RSR 002 04. КСК, 2008. – 342 с.*
- 42 *D19.5 «Итоговый проект организации строительства». SIP K 02 01 000 CPL 002 03. КСК, 2003. – 288 с.*
- 43 *Ключников А.А., Щербин В.Н., Рудько В.М. и др. Анализ радиационной безопасности в процессе производства работ по стабилизации // Проблемы безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля. – 2004. - Вип. 1. – С. 24 – 34.*
- 44 *Батий В.Г., Рудько В.М., Щербин В.Н. и др. Проблемы радиационной безопасности в условиях объекта "Укрытие" и пути их решения // Проблемы безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля. – 2005. Вип. 3, ч.1. – С. 24 – 30.*
- 45 *Рудько В.М., Батий В.Г., Деренговский В.В. и др. План управления ALARA // Проблемы Чернобиля. - 2003. Вип. 12. - С.121 - 126.*
- 46 *Батий В.Г., Павловский Л.И., Рудько В.М. Методика применения принципа оптимизации в процессе преобразования объекта "Укрытие" // Проблемы безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля. – 2006. – Вип. 4. – С. 87 – 93.*
- 47 *Батий В.Г., Деренговский В.В., Рудько В.М. и др. Расчет доз от ингаляционного поступления радионуклидов и внешнего облучения хрусталика глаза, кожи, кистей и стоп  $\beta$ -частицами // Проблемы Чернобиля. - 2000. Вип. 6.- С. 96 - 103.*
- 48 *Батий В.Г., Рудько В.М., Щербин В.Н. и др. Анализ потенциального облучения персонала в процессе реализации проекта стабилизации объекта «Укрытие» // Проблемы Чернобиля. - 2004. - Вип.14. - С. 34 - 42.*
- 49 *Батий В.Г., Рудько В.М., Щербин В.Н. и др. Проведение анализа доз/затрат/выгод по стабилизационным мероприятиям 14, 14а, 4 и 6/н // Проблемы Чернобиля. – 2003. - Вип. 13. - С.108 - 115.*
- 50 *Батий В.Г., Рубежанский Ю.И., Рудько В.М. и др. Управление радиационными рисками при осуществлении деятельности на объекте «Укрытие» // Проблемы Чернобиля. – 2001. - Вип. 9. - С. 91 - 97.*
- 51 *Батий В.Г., Рубежанский Ю.И., Рудько В.М. и др. Анализ радиационных рисков, связанных с потенциальными авариями, при выполнении стабилизационных мероприятий на объекте «Укрытие» // Проблемы Чернобиля. – 2000. - Вип. 6. - С. 63 - 69.*
- 52 *D21.3 «Итоговый отчет по радиационной безопасности». SIP K 03 01 000 RSR 003 03. КСК, 2003. - 263 с.*



- 53 *D18.2 «Оценка воздействий на окружающую среду». SIP K 03 01 000 EAR 002 03. КСК, 2003. – 221 с.*
- 54 *Батий В.Г., Павловский Л.И., Рудько В.М. Энергетические характеристики гамма-излучения объекта "Укрытие" в зонах производства работ по стабилизации // Проблемы безопасности АЭС і Чернобиля – 2005. - Вип. 1. - С. 58 - 64.*
- 55 *Батий В.Г., Егоров В.В., Рудько В.М. и др. Исследование угловых распределений гамма-излучения на объекте «Укрытие» // Проблемы безопасности АЭС і Чернобиля. – 2005. - Вип. 2. - С. 73 - 81.*
- 56 *Батий В.Г., Стоянов А.И., Рудько В.М. и др. Угловые распределения гамма-излучения в локальной зоне // Проблемы Чернобиля – 2004. - Вип. 15. - С. 65 - 71.*
- 57 *Патент МПК7 G01T 1/28. № 51989 Спосіб вимірювання кутового розподілу інтенсивності гамма-випромінювання. – Заявл.15.07.2004 / В.Г. Батій, В.М. Рудько, В.М. Щербін та ін. // Бюлетень "Промислова власність". - 15.07.04. - № 7.*
- 58 *Патент МПК7 G01T 1/28. № 51987 Пристрій для вимірювання кутового розподілу інтенсивності гамма-випромінювання. – Заявл. 15.07.2004 / В.Г. Батій, В.М. Рудько, В.М. Щербін та ін. // Бюлетень "Промислова власність". - 15.07.04. - № 7.*
- 59 *Ключников А.А., Краснов В.А., Рудько В.М., Щербин В.Н. Объект «Укрытие»: 1986 - 2006. – Чернобыль: ИПБ АЭС НАН Украины, 2006. – 168 с.*
- 60 *D23.2 «Программа обращения с РАО». SIP K 03 01 000 RAW 002 03. КСК, 2003. – 72 с.*

## РАЗДЕЛ 9

### Создание нового безопасного конфайнмента

В Законе Украины «Об общих основах дальнейшей эксплуатации и снятия с эксплуатации Чернобыльской АЭС и преобразование разрушенного четвертого энергоблока этой АЭС в экологически безопасную систему» утверждается, что «конфайнмент - защитное сооружение, которое включает в себя комплекс технологического оборудования для извлечения из разрушенного четвертого энергоблока Чернобыльской АЭС материалов, содержащих ядерное топливо, обращения с радиоактивными отходами и другие системы, предназначенные для осуществления деятельности по преобразованию этого энергоблока в экологически безопасную систему и обеспечения безопасности персонала, населения и окружающей среды».

Создание НБК должно обеспечить достижение таких целей:

защита персонала, населения и окружающей среды от влияния источников ядерной и радиационной опасности, связанных с существованием объекта «Укрытие»;

создание условий для осуществления практической деятельности по преобразованию объекта «Укрытие» в экологически безопасную систему, в частности, для извлечения остатков ядерного топлива и топливосодержащих материалов, выполнения работ по демонтажу/усилению нестабильных конструкций объекта «Укрытие» и обращения с радиоактивными отходами.

Одной из основных функций НБК является предотвращение распространения радиоактивных веществ и ионизирующего излучения за пределы НБК в условиях нормальной эксплуатации, нарушений нормальной эксплуатации, аварийных ситуаций и аварий и должна обеспечиваться:

целостностью защитных конструкций НБК в течение длительного периода эксплуатации (не менее 100 лет);

предотвращением обрушения нестабильных конструкций объекта «Укрытие» путем их демонтажа или усиления на период, определяемый условиями безопасной эксплуатации НБК;

ограничением поступления атмосферных осадков внутрь сооружения;

защитой гидрогеологической среды от загрязнения радиоактивными веществами, находящимися в НБК;

ограничением распространения радиоактивных веществ внутри НБК.



Исходя из существующей радиационной обстановки за пределами объекта «Укрытие» и учитывая целесообразность снижения радиоактивного воздействия только в зонах нахождения персонала, дополнительных требований к выполнению строительными конструкциями НБК функций экранирования не предъявляется. Экранирование должно предусматриваться только в зонах обслуживания конструкций и систем, а также выполнения других радиационно-опасных работ.

Другими функциями НБК являются функции технологического обеспечения и физической защиты.

Функция технологического обеспечения реализуется посредством размещения и функционирования систем и элементов, а также создания соответствующих условий, необходимых для нормальной эксплуатации НБК, демонтажа/усиления нестабильных конструкций объекта «Укрытие», обращения с радиоактивными отходами и будущего извлечения топливосодержащих материалов.

Функция физической защиты состоит в физической защите ядерных и радиоактивных материалов, находящихся в объекте «Укрытие».

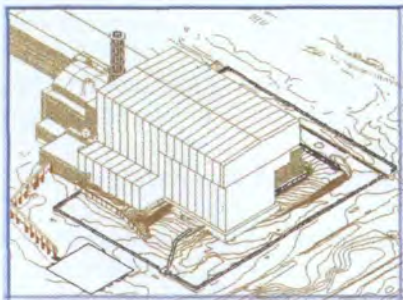
Вышеупомянутые функции свидетельствуют о том, что НБК является многофункциональным объектом, проектирование которого требует учета многочисленных взаимосвязей между заново создаваемыми системами и элементами и существующими компонентами объекта «Укрытие».

Следует отметить, что уже вскоре после сооружения объекта «Укрытие», учитывая невысокие показатели надежности и долговечности его строительных конструкций, специалистами предлагались различные варианты создания дополнительных защитных инженерных барьеров, в частности в виде нового сооружения - так называемого «Укрытие-2».

Но наиболее системно и детально эта идея начала прорабатываться, начиная с 1998 г. при выполнении Плана осуществления мероприятий (ПОМ).

Международным консорциумом «Чернобыль» в составе Washington Group International, Inc (США), BNFL Engineering Ltd (Великобритания) и украинских организаций: Киевского института «Энергопроект» (КИЭП), Научно-исследовательского института строительных конструкций (НИИСК) и Института проблем безопасности АЭС (ИПБ АЭС) Украины был выполнен всесторонний анализ всех предыдущих технических решений, сформулированы концептуальные проектные критерии и требования к НБК, предложена стратегия его создания. Для дальнейшей проработки на стадии технико-экономического обоснования было предложено три варианта конфайнмента, имевших примерно одинаковые показатели: РАМА, ДОК-КЕССОН и АРКА (рис. 9.1 [1]).

«Док-кессон»



«Рама»



«Арка»

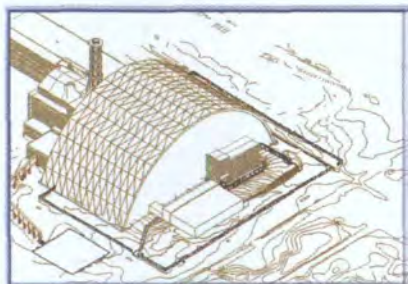


Рис. 9.1. Варианты НБК.

После дополнительного анализа этих вариантов с участием независимых украинских экспертов и Международной консультативной группы предпочтение было отдано варианту «АРКА».

Правительственная Межведомственная комиссия по комплексному решению проблем Чернобыльской АЭС под председательством премьер-министра Украины приняла решение, которое нашло отражение в Протоколе № 2 от 12.03.01: «С целью ускорения работ по преобразованию объекта «Укрытие» и с учетом настоятельных рекомендаций ЕБПР и независимых экспертов, признать, как базовый, проект конфайнмента типа «АРКА» с включением в него перспективных технических решений других проектов».

Постановлением Кабинета Министров Украины № 421 от 31.03.2003 г. установлен порядок реализации ПОМ на объекте «Укрытие», согласно которому проектирование НБК осуществляется в три стадии:

стадия 1- технико-экономическое обоснование (ТЭО) или концептуальный проект (КП) в соответствии с западной терминологией;

стадия 2 - проект;

стадия 3 - рабочая документация.



В 2003 г. Международным консорциумом в составе Bechtel International Systems (США), Electricite 'de France (Франция) и Battelle Memorial Institute (США) с участием КИЭП, НИИСК и ИПБ АЭС был разработан концептуальный проект НБК (КП НБК), основные технические решения которого заключались в следующем.

В соответствии с целью создания и выполняемыми функциями НБК в концептуальном проекте определены его основные объекты:

основное сооружение в виде защитной конструктивной оболочки;

технологический корпус, который располагается с западной стороны НБК;

вспомогательные сооружения и здания (канализационная насосная станция, контрольно-пропускные пункты для персонала и автотранспорта и т.п.).

Основное сооружение НБК выполнено в виде металлической конструкции арочного типа с торцевыми стенами. Арочная конструкция накрывает основную часть объекта «Укрытие» за исключением небольших участков деаэрационной этажерки и машинного зала, которые будут выступать снаружи через западную торцевую стену. Западная торцевая стена опирается на собственный фундамент, а восточная - подвешивается к арочным конструкциям.

Геометрические размеры оболочки составляют: пролет 257,44 м, ширина 150 м, высота 108,39 м. Общий вид НБК, разработанного в составе концептуального проекта конфинмента, приведен на рис. 9.2.

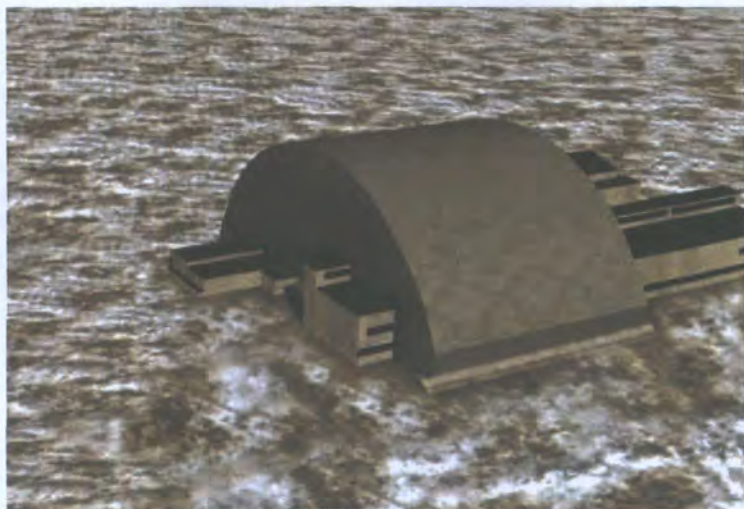


Рис. 9.2. Общий вид НБК (в проектном положении).

В соответствии с выбранными решениями арочная конструкция кругового контура состоит из несущих и ограждающих элементов:

основными несущими элементами являются фермы арочного типа, состоящие из ряда внутренних и внешних арок соединенных между собой. В зоне расположения кранового оборудования арочная конструкция усилена дополнительным горизонтальным поясом («затяжкой»);

ограждающие конструкции состоят из двух настилов (обшивок) – внешнего кровельного и внутреннего потолочного, которые крепятся к горизонтальным прогонам, которые в свою очередь крепятся к поясам ферм. Расстояние между внешними и внутренними настилами 12 м.

Арочная конструкция состоит из 13 плоских арок, шаг между ними 12,5 м. Фундамент арочной конструкции запроектирован для восприятия вертикальных и горизонтальных усилий и представляет собой фундамент глубокого заложения, объединенный на поверхности железобетонным ростверком. Для восприятия распора от арки в верхней части ростверка предусмотрена упорная конструкция.

Фундамент одного сегмента арки состоит из трех рядов по две глубокие опоры поперечным сечением  $2,8 \times 1,0$  м, длиной 16 м, объединенных ростверком высотой 3,0 м и шириной 14,0 м.

Проектный срок эксплуатации НБК (не меньше 100 лет) достигается за счет:

учета при проектировании экстремальных нагрузок и воздействий согласно требованиям действующих нормативных документов;

применения материалов с повышенным коррозионным сопротивлением и с учетом действия радиационных факторов;

выбора оптимального режима эксплуатации сооружения;

конструктивных решений, обеспечивающих ремонтпригодность отдельных элементов сооружения.

Конструкция НБК предусматривает возможность последовательной замены кровельных и стеновых панелей в период эксплуатации. Замена панелей осуществляется с помощью экранированных платформ технического обслуживания, которые перемещаются по рельсам внутри и снаружи основных элементов арок.

Внутри основного сооружения НБК предусмотрено расположение таких основных производственных участков:

раскладки демонтированных конструкций;

первичной фрагментации демонтированных конструкций;

временного хранения РАО в контейнерах.

Технологический корпус состоит из основного двухэтажного здания и пристроек к нему с северной, южной и западной сторон. Геометрические размеры основного здания составляют  $65 \times 52$  м, высота помеще-



ний первого этажа 11,6 м, второго - 8,4 м. Первый этаж оборудован двумя мостовыми кранами.

В технологическом 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, саншлюзы.

В НБК предусмотрены такие основные системы, обеспечивающие его эксплуатацию:

крановое оборудование с комплектом технических средств для демонтажа нестабильных конструкций;

вентиляция;

пылеподавление;

дезактивация;

водоснабжение и канализация;

теплоснабжение и кондиционирование воздуха;

интегрированная система управления;

электроснабжение;

связь и промышленное телевидение;

противопожарная безопасность;

физическая защита;

обращение с твердыми и жидкими РАО.

В верхней части арочной конструкции располагаются четыре нестандартных трехопорных подвесных крана грузоподъемностью по 40 т. Краны устанавливаются на двух путях (северном и южном), по два крана на путь (рис. 9.3).

Длина моста (платформы) крана 48 м, ширина около 12 м, масса приблизительно 90 т. Отметка высшей точки подъема крюка грузовой тележки 77 м.

Краны оснащены сменными тележками: грузовой, для защитного бокса, для платформы с телескопической мачтой. Предусмотрена возможность перемещения тележек с крана на кран, а также перемещение одного из кранов на соседний путь для подъема особенно тяжелых грузов одновременно тремя кранами.

Двутавровые балки крановых путей прикреплены снизу к нижнему поясу несущих ферм арочного типа. Предусмотрены рабочие площадки для обслуживания тележек, ходовые мостики вдоль северной и южной сторон путей, лестница и лифт для подъема на площадку.

Пути расположены параллельно продольной оси конфайнмента (в направлении «восток - запад») и обеспечивают доступ к верхним

конструкциям объекта «Укрытие» по всему пространству шириной более 96 м между северной контрфорсной стеной и балкой «Осьминог».

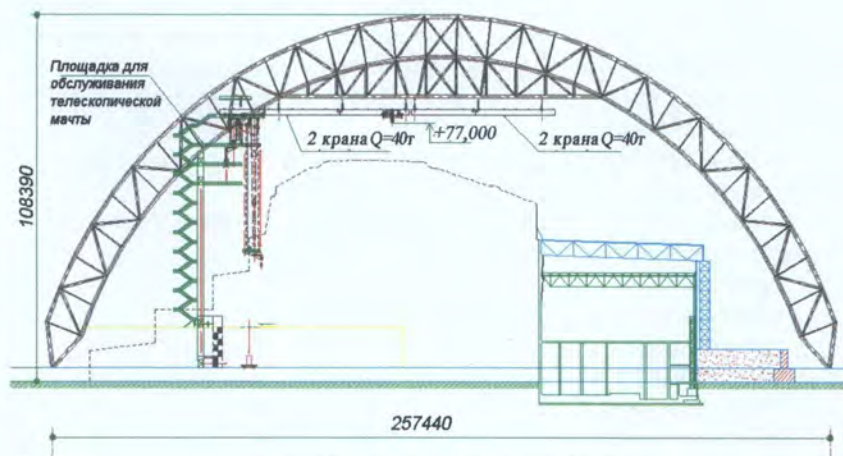


Рис. 9.3. Крановое оборудование НБК.

По результатам комплексной государственной экспертизы КП НБК был утвержден Распоряжением Кабинета министров Украины № 443-р от 05.07.04.

В 2004 - 2007 гг. был проведен тендер на сооружение НБК, победителем которого был признан международный консорциум NOVARKA, который предоставил техническое предложение, базирующееся на адаптации КП НБК. В сентябре 2007 г. между ГСП ЧАЭС (Заказчик) и NOVARKA (Подрядчик) был подписан контракт на проектирование, строительство и ввод в эксплуатацию первого пускового комплекса НБК (ПК-1 НБК).

Согласно стратегии реализации проекта НБК, которая разработана в документе [2] и согласована регулирующими органами Украины, создание НБК выполняется в три этапа.

На **первом этапе** проводятся подготовительные работы, которые должны обеспечить безопасное и эффективное строительство НБК, в частности:

- разборка бермы пионерной стены;
- очистка, планировка территории и земляные работы под строительство фундаментов НБК и монтажной площадки;
- подготовка инфраструктуры для строительства НБК;
- строительство новой вентиляционной трубы.



Берма пионерной стены была построена в начале октября 1986 г. и использовалась в качестве площадка для размещения монтажного крана ДЕМАГ на заключительном этапе строительства объекта «Укрытие». Потом в 1987 – 1988 гг. была выполнена ее достройка, что было связано с выполнением работ по монтажу нового покрытия над машинным залом. Позже выполнялось дополнительное бетонирование поверхности бермы для организации отвода воды от стен машинного зала. Необходимость разборки бермы пионерной стены была продиктована расположением в этой зоне фундамента НБК.

Исходя из конструкции бермы, для ее разборки применялись различные технологии и технические средства разрушения бетонных и железобетонных монолитных конструкций, демонтажа сборных конструкций, а также разборки материалов засыпки сложной структуры (щебень, песок, грунт, бетонные и металлические фрагменты). Работы выполнялись в радиационно-опасных условиях, непосредственно возле объекта «Укрытие» (рис. 9.4). Кроме того, сами материалы разборки имели радиоактивное загрязнение разной степени. Это потребовало разработки и внедрения комплекса мероприятий по радиационной защите персонала, выполнявшего работы, и окружающей среды.



Рис. 9.4. Разборка бермы пионерной стены.

Работы по разборке бермы пионерной стены были успешно завершены в апреле 2008 г.

До начала основных работ по строительству НБК выполнен большой объем работ, предусматривающих очистку и планировку территории, устройство котлованов под строительство фундаментов монтажной, транспортной и сервисной зон НБК, а также монтажной площадки для укрупнительной сборки арочных конструкций (рис. 9.5).

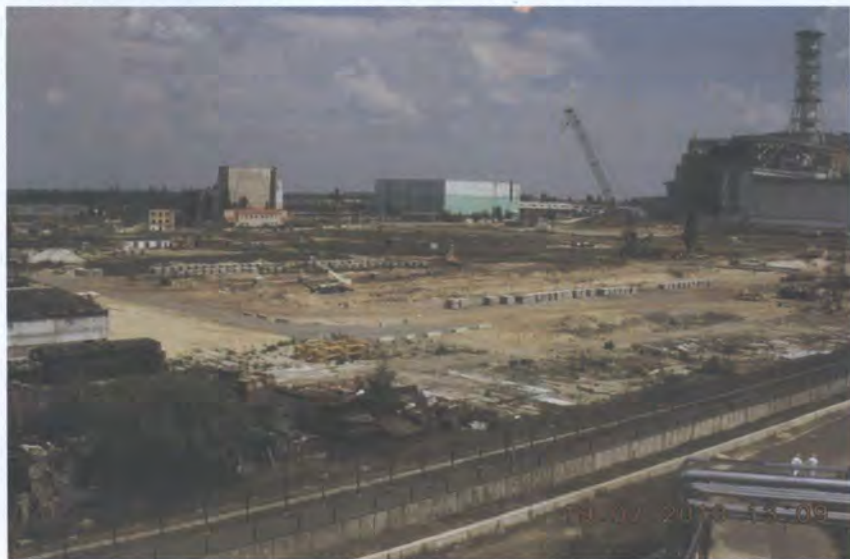


Рис. 9.5. Проведение работ по подготовке площадки строительства НБК.

Сложность выполнения этих работ заключалась в том, что объекты, подлежащие демонтажу, а также техногенные грунты в местах выполнения земляных работ, имели значительное радиоактивное загрязнение и относились к РАО, в том числе, высокоактивным отходам. В процессе выполнения земляных работ была внедрена технологическая схема безопасного обращения с РАО, которая предусматривала пооперационный радиационный контроль, сортировку РАО по категориям, транспортировку на площадку временного хранения или на объект для окончательного захоронения.

В настоящее время работы по очистке и планировке территории, а также устройстве котлованов завершены (рис. 9.6).

В целях обеспечения своевременной и эффективной деятельности по строительству НБК начались опережающие работы по подготовке необходимой инфраструктуры, включающие, в частности, строительство/реконструкцию таких объектов:

временных зданий и сооружений для персонала;



автомобильных дорог, железнодорожных и портовых объектов для доставки материалов и оборудования;

обустройство площадки для укрупнительной сборки арочных конструкций;

обустройство площадок складирования и хранение материалов и оборудования.



Рис. 9.6. Подготовленный котлован для строительства фундаментов НБК.

В связи с тем, что существующая вентиляционная труба ВТ-2 препятствует устройству восточного торца НБК, она должна быть демонтирована до надвигки конфайнмента в проектное положение. Поэтому до демонтажа ВТ-2 необходимо построить и ввести в эксплуатацию новую вентиляционную трубу (НВТ), которая должна обеспечить:

контролируемые выбросы в атмосферу воздуха от вытяжных вентиляционных систем 3-го энергоблока, хранилища жидких и твердых отходов, а также объекта «Укрытие» (до ввода в эксплуатацию НБК);

контролируемые выбросы в атмосферу воздуха от вытяжных вентиляционных систем 3-го энергоблока, хранилища жидких и твердых отходов (после ввода в эксплуатацию НБК).

Сейчас утверждена проектная документация, определен Подрядчик и начались подготовительные работы по строительству НВТ.

На **втором этапе** выполняются работы по непосредственному проектированию и строительству НБК, проведение всего комплекса необходимых испытаний и ввода его в эксплуатацию. Предусмотрено выделение двух пусковых комплексов НБК:

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».

Объем работ для ПК-1 НБК включает:

1. Проектирование и строительство фундаментов НБК.  
2. Проектирование, изготовление, монтаж и надвигка в проектное положение сооружения НБК, включая крановое хозяйство.

3. Проектирование общей внутренней компоновки НБК, строительство площадок и участков в соответствии с объемно-планировочными решениями.

4. Проектирование, изготовление, монтаж и ввод в эксплуатацию технологических систем жизнеобеспечения и контроля НБК, в частности: вентиляции, кондиционирования и газоочистки, интегрированного контроля и управления, дезактивации, обращения с эксплуатационными радиоактивными отходами, противопожарной защиты, энергоснабжения, внутреннего транспорта, освещения, сигнализации и других систем, а также соответствующих зданий, сооружений, помещений и участков для их размещения.

5. Проектирование, изготовление, строительство (монтаж) и ввод в эксплуатацию площадок и участков для временного складирования демонтированных конструкций объекта «Укрытие» и сопутствующих радиоактивных отходов, их загрузки и транспортировки на объекты для последующего обращения с ними, а также участки временного хранения радиоактивных отходов, размещенных в контейнерах.

6. Проектирование, изготовление, строительство (монтаж) и ввод в эксплуатацию внешних инженерных коммуникаций для подключения систем жизнеобеспечения НБК к системам ЧАЭС.

7. Проектирование демонтажа существующей вентиляционной трубы ВТ-2 и его выполнение до надвигки арочной конструкции НБК в проектное положение.

8. Проектирование и обустройство площадки НБК в соответствии с генеральным планом.

Проектирование строительных конструкций и технологических систем ПК-1 осуществляется на основании проектных критериев и требований, содержащихся в «Документе по безопасности в рамках концепции проекта ПК-1 НБК» (ДБКП) [3], согласованном Регулирующими органами Украины. В проектировании участвуют также украинские партнеры NOVARKA: КИЭП и Укрпроектстальконструкция.

В объем работ для ПК-2 входят:



разработка рабочего проекта демонтажа нестабильных конструкций объекта «Укрытие»;

закупка, монтаж и ввод в эксплуатацию технологического оборудования и систем для выполнения демонтажа нестабильных конструкций объекта «Укрытие».

Согласно [2], проектирование инфраструктуры демонтажа (ПК-2) должно было начинаться параллельно с проектированием ПК-1. К сожалению, такая схема проектирования не реализована и с началом разработки рабочего проекта ПК-2 наметилось серьезное отставание.

На **третьем этапе** реализации проекта НБК после ввода в эксплуатацию ПК-2 начнется ранний демонтаж нестабильных конструкций объекта «Укрытие» в объемах, определенных на стадии рабочего проектирования демонтажа.

В составе ПК-1 запроектированы следующие основные сооружения и здания НБК:

основное сооружение - стальная Арка;

здание управления и контроля (ЗУК) и технологическое здание (ТЗ);  
техническая зона.

На рис. 9.7 изображена схема Арки вместе с ЗУК и ТЗ [4].

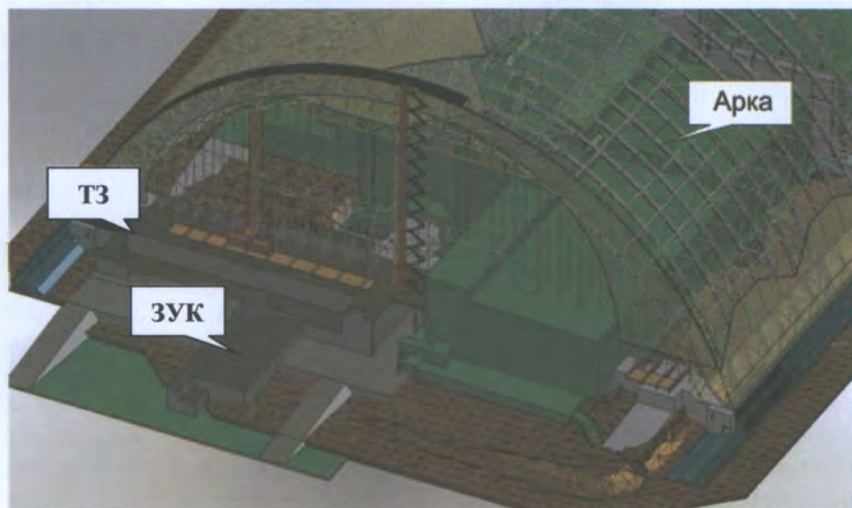


Рис. 9.7. Общий вид НБК.

Общие габариты Арки составляют около 270 м шириной, 164 м длиной и 110 м высотой, включая обе торцевые стены - восточную и западную.

Основная несущая конструкция Арки состоит из 16 арочных ферм, расположенных с шагом 12,5 м. Арочные фермы в проектном положении (сервисная зона) опираются на фундаменты через специальные опоры. Пролет арочных ферм достигает 257,44 м.

Арочная ферма состоит из двух поясов (верхнего и нижнего) и ортогональной решетки треугольного типа. Расстояние между поясами - 12,00 м. Пояса фермы сходятся в один узел в месте опирания на фундаменты. Пояса арочных ферм выполнены из труб диаметром 813 мм и толщиной стенки от 12,5 до 40 мм.

На верхний пояс арочных ферм опираются прогоны внешней обшивки, а к нижнему поясу крепятся элементы внутренней обшивки. Между внешней и внутренней обшивкой образуется герметичный кольцевой зазор, который защищает конструкции Арки от внешних климатических воздействий и конденсата, который может образовываться внутри НБК.

На верхних отметках к арочным фермам крепятся решетчатые балки, которые служат опорами для путей кранового оборудования.

Конструктивная схема западной стены Арки состоит из системы вертикальных решетчатых колонн и горизонтальных решетчатых ферм, а также системы связей. До надвигки Арки в сервисную зону западная стена будет полностью подвешена к Арке, а в период эксплуатации дополнительно опираться одной колонной, расположенной в центральной части стены, на фундамент.

Внутри между внутренней и внешней обшивкой западной стены находятся шахта лифта, эвакуационные лестницы и переходы. С внешней стороны западной стены подвешена вентиляционная труба диаметром 4,00 м, а также галерея для размещения вентиляционного оборудования.

Восточная стена Арки, как и западная стена, состоит из системы вертикальных решетчатых колонн и горизонтальных решетчатых ферм, а также систем связей. Восточная стена подвешена к Арке и не передает никаких усилий на существующие конструкции. Для того чтобы во время надвигки Арки в проектное положение пройти над выступающими существующими конструкциями объекта «Укрытие», восточная стена имеет ряд откидных панелей. Эти панели при надвигке находятся в поднятом положении и разворачиваются в проектное положение только после окончательной установки Арки в сервисной зоне.

Соединение несущих элементов Арки, в том числе западной и восточной стен, предусмотрено с использованием высокопрочных фрикционных болтов.

Общий вес металлоконструкций Арки достигает около 20 тысяч тонн.



Фундаменты Арки запроектированы трех видов:  
фундаменты в зоне сборки Арки (фундаменты монтажной зоны);  
фундаменты в зоне надвигки Арки в проектное положение (фундаменты транспортной зоны);  
фундаменты в зоне установки Арки в проектное положение (фундаменты сервисной зоны).

Фундаменты монтажной зоны запроектированы в виде монолитных железобетонных ростверков на свайной основе. Металлические забивные сваи длиной 26,00 м приняты в виде труб диаметром 1,02 м с толщиной стенки в верхней части 30 мм, а на остальной - 16 мм.

В зоне транспортировки Арки спроектированы ленточные железобетонные фундаменты мелкого заложения.

Фундаменты сервисной зоны запроектированы в виде монолитных железобетонных ростверков на свайной основе. Железобетонные сваи приняты диаметром 1,00 м и длиной 19,00 м.

Общий подход к выбору технологий строительства Арки базируется на концепции минимального выполнения работ в радиационно-опасных условиях объекта «Укрытие», предусматривающей:

изготовление элементов Арки с максимально возможными габаритами и весом в заводских условиях;

укрупнительная сборка монтажных блоков (сегментов Арки) в монтажно-сборочной зоне;

окончательная сборка Арки на монтажной площадке из сегментов Арки;

перемещение Арки в проектное положение.

Сегменты Арки собираются из элементов заводского изготовления в монтажно-сборочной зоне, расположенной на значительном отдалении от объекта «Укрытие» (около 1 км). Для этого в этой зоне смонтировано 12 специальных стендов, оснащенных сборно-разборными кондукторами и шаблонами. Готовые сегменты Арки с помощью четырех трейлеров доставляются на монтажную площадку, которая находится на расстоянии 300 м от объекта «Укрытие» (рис. 9.8).

Сборка Арки на монтажной площадке выполняется в несколько этапов (рис. 9.9). Сначала монтируется восточная часть Арки, включая восточную торцевую стену, после чего она перемещается в положение ожидания. Затем производится сборка западной части Арки вместе с западной торцевой стеной. В процессе сборки Арки также выполняется монтаж отдельных технологических систем или их элементов (в частности, подкрановых балок, лифта, вентиляции, электроснабжения, контроля и др.). На следующем этапе восточная часть Арки перемещается для соединения с западной частью Арки. Выполняется соединение обеих

частей Арки, а также монтаж системы основных кранов. На заключительном этапе проводятся пусконаладочные работы и приемка технологических систем и оборудования Арки перед надвижкой в проектное положение.

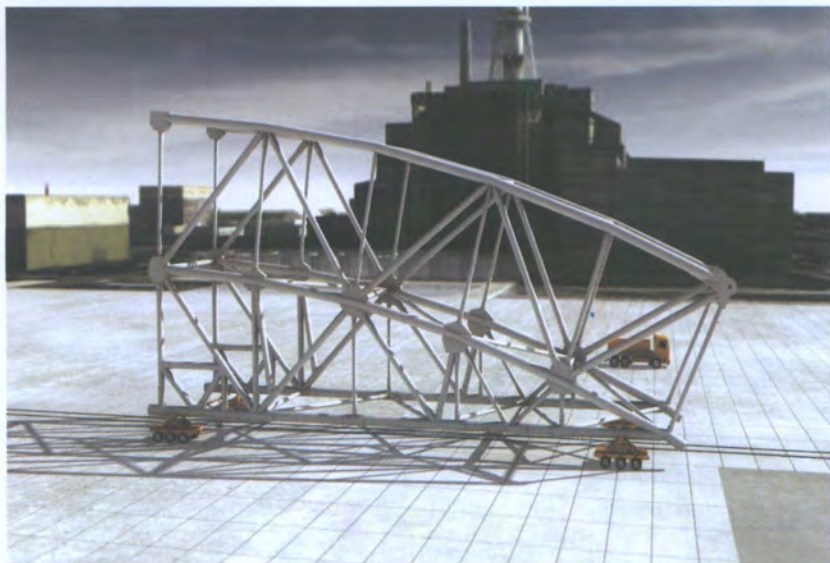


Рис. 9.8. Доставка сегмента Арки на монтажную площадку.

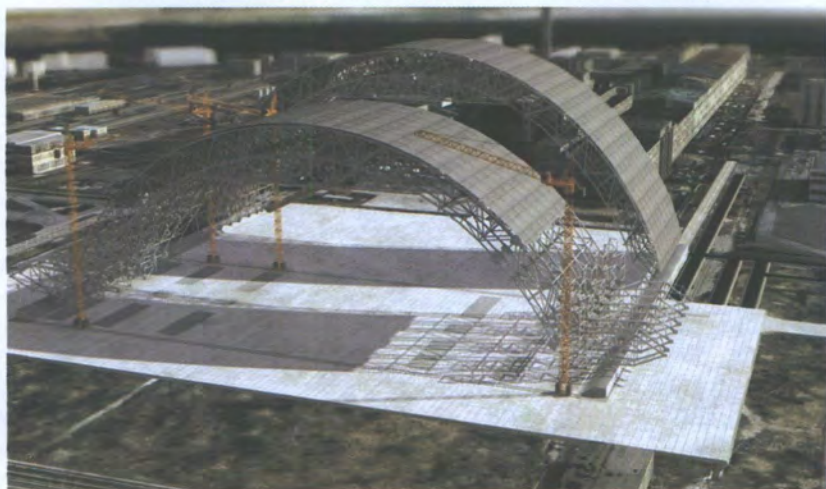


Рис. 9.9. Сборка Арки на монтажной площадке.



Для сборки Арки будет использоваться грузоподъемное оборудование, а также специальное вспомогательное монтажное оборудование, в частности, подъемные башни и балки, опорные балки, подставки, стопорные устройства, временные растяжки, домкраты, тележки, лебедки и др.

Надвижка Арки в проектное положение осуществляется с помощью системы горизонтальных домкратов. После завершения надвижки Арки в проектное положение выполняется последовательная замена временных опорных узлов, используемых при надвижке, на постоянные опоры. После этого выполняются работы по устройству прилегания Арки к технологическому зданию и к существующим конструкциям главного корпуса II-ой очереди ЧАЭС, а также присоединение технологических систем к стационарным источникам энергоснабжения.

Здание управления и контроля и технологическое здание расположены у западной торцевой стены Арки. При этом часть технологического здания находится внутри арочного пространства. Через воздушные шлюзы технологического здания, а также шлюз, находящийся с южной стороны машинного зала бывшего энергоблока № 4, будет осуществляться доступ в пространство под Аркой грузового транспорта, механизмов и персонала.

Здание управления и контроля и технологическое здание должны быть построены до надвижки Арки в проектное положение.

Технологическое здание состоит из технологического блока, дополнительного блока, северного и южного шлюзов, пристройки для размещения системы обращения с жидкими радиоактивными отходами.

Здание управления и контроля разделено на отдельные функциональные блоки, которые между собой и с технологическим зданием соединены технической галереей и галереей доступа персонала.

Техническая зона расположена на удалении от НБК (~ 500 м). Объекты технической зоны будут выполнять функцию постоянного инженерного обеспечения НБК электроэнергией, горячей и холодной водой, водой для систем пожаротушения и для бытовых нужд. Связь технической зоны с объектами НБК будет осуществляться с помощью специальной эстакады.

Ожидается, что в полном объеме разработка проекта НБК будет завершена к середине 2011 г. Следует отметить, что в целом работы по проектированию и строительству НБК ведутся со значительным отставанием по сравнению с первоначальным графиком ПОМ ОУ. Учитывая сложившуюся ситуацию, можно прогнозировать, что строительство и ввод в эксплуатацию НБК будет завершено не ранее 2014 г.

Другой проблемой является то, что стоимость сооружения НБК на сегодняшний день оценивается на уровне 1 млрд евро, что более чем

вдвое превышает изначальную стоимость, указанную в контракте с NOVARKA.

В настоящее время разрабатывается проектная документация только для ПК-1 НБК. Работы по проектированию ПК-2 НБК начнутся в лучшем случае в начале 2011 г. Это может привести к тому, что при разработке ПК-1 НБК не будут учтены в полном объеме потребности деятельности по демонтажу нестабильных конструкций объекта «Укрытие».

Не менее серьезной проблемой является то, что сейчас не ведутся проектные работы по созданию новых и усилению существующих конструкций II очереди ЧАЭС, которые будут интегрированы в систему ограждающего контура НБК.

В значительной степени указанные недостатки обусловлены несовершенством ПОМ ОУ, которое заключается в том, что единая проблема преобразования объекта «Укрытие» была разбита на множество задач и пакетов без обеспечения должного уровня взаимодействия при их выполнении различными Подрядчиками. Это создает определенные риски в части принятия оптимальных технических решений.

#### Список литературы к разделу 9

1. *Объект «Укрытие»: 1986 - 2006* / А.А. Ключников, В.А. Краснов, В.М. Рудько, В.Н. Щербин – Чернобыль: Ин-т проблем безопасности АЭС НАН Украины, 2006. - 168 с.
2. *Стратегия дальнейшей реализации проекта НБК*. SIP-P-PM-21-330-EXN-004-01. Ред. 2 от 23.04.2004.
3. *Документ по безопасности в рамках концепции проекта ПК-1 НБК*. SIP-N-LI-22-A500\_-CDS-001-01. Ред. 1 от 04.12.2010.
4. *Национальный доклад Украины «25 лет Чернобыльской катастрофы. Безопасность будущего»*, 2011.



## РАЗДЕЛ 10

### Стратегия дальнейшего преобразования объекта «Укрытие» в экологически безопасную систему

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

Согласно «Стратегии преобразования объекта «Укрытие»» [1] работы по извлечению ТСМ должны быть осуществлены на заключительном третьем этапе преобразования объекта «Укрытие» в экологически безопасную систему.

Сосредоточенные на объекте «Укрытие» ТСМ по своему состоянию и составу являются долгосуществующими РАО. Для некоторых недоступных скоплений ТСМ необходимо проведение дополнительных исследований вследствие их возможной ядерной опасности. Т. е. если ТСМ будут оставаться внутри объекта «Укрытие» в неконтролируемом состоянии, он вообще никогда не сможет быть освобожден от ядерного регулирования и контроля.

Следует заметить, что потенциальная опасность ТСМ со временем может расти вследствие спонтанного разрушения поверхности ЛТСМ с образованием высокоактивной пыли. Образование такой пыли на объекте «Укрытие» представляет собой радиозэкологическую опасность не только локального, но и глобального характера. Поэтому чрезвычайно актуальным является извлечение и кондиционирование ТСМ до того, как процесс их разрушения примет масштабный характер.

Часть ранее выполненных работ, посвященных вопросу извлечения ТСМ из объекта «Укрытие», базировалась на подходах, которые не предусматривали сооружение нового локализирующего сооружения («Укрытие-2»). Такой подход, учитывая проблему обеспечения безопасности персонала и окружающей среды, не может считаться приемлемым.

В других разработках, в частности выполненных в ИПБ АЭС и КБ «Южное», технологические решения предусматривали осуществление операций по извлечению ТСМ с использованием различных вариантов НБК (проекты «Старт» [2], «ДОК-КЕССОН» [3] и др.). Однако учитывая то, что сейчас уже принято окончательное решение относительно варианта НБК в виде арочной конструкции и осуществляется проектирование и подготовительные работы по его сооружению, то необходимо про-

рабатывать технологические решения по извлечению ТСМ, исходя из реальной ситуации.

В рамках ПОМ ОУ пути решения проблемы извлечения ТСМ и дальнейшего обращения с ними рассматривались в задаче 19 «Изучение и разработка стратегии извлечения ТСМ и обращения с РАО» и задаче 20 «Разработка технологии извлечения ТСМ». По результатам выполнения этих задач в декабре 2000 г. было принято программное решение П7 [4], в котором была определена предварительная стратегия извлечения ТСМ и обращения с РАО. Основные положения этой стратегии следующие:

ТСМ должны быть извлечены в течение срока службы НБК;

продолжительность извлечения 40 - 50 лет;

приоритетным является перемещение ТСМ и других долговсуществующих РАО непосредственно в хранилище для окончательного захоронения в стабильных геологических формациях;

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

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

При этом решение П7 рассматривалось как предварительное, которое должно быть подтверждено ключевым решением П8 по результатам проведения демонстрационного эксперимента по извлечению ТСМ на площадке объекта «Укрытие». Необходимость проведения демонстрационного эксперимента по извлечению ТСМ была зафиксирована в программном решении П9 [5], принятом в июне 2001 г.

Однако уже в принятом в 2005 г. документе «Стратегия обращения с ТСМ и радиоактивными отходами объекта «Укрытие». План дальнейших действий» [6], который согласован Госатомрегулированием Украины, утверждается что:

на текущий момент отсутствуют какие-либо новые данные, касающиеся применения новых технологий для извлечения ТСМ, на основе которых возможно на концептуальном уровне пересмотреть предварительную стратегию извлечения ТСМ, изложенную в П7, для принятия П8. Поэтому продолжение работ по концептуальному исследованию стратегии и технологий извлечения ТСМ не является целесообразным;

на данном этапе реализации ПОМ ОУ не получено дополнительной информации по ТСМ, которая бы позволила принять решение о необходимости их раннего извлечения. Существующая информация о долгосрочном поведении ТСМ указывает на необходимость разработки программы мониторинга и контроля состояния ТСМ до и в ходе работ по их извлечению;



считается нецелесообразным, с учетом стоимости и графика, проведение детального проектирования и демонстрации прототипа технологии извлечения ТСМ.

Вместе с тем в документе [6] программа действий для достижения ключевого решения П8 определена следующим образом:

на период до принятия ключевого программного решения П8 в ходе реализации строительных работ по стабилизации строительных конструкций объекта «Укрытие», сооружению НБК и осуществлению раннего демонтажа нестабильных конструкций объекта «Укрытие», обращение с РАО, включая ТСМ, будет решаться в рамках «Интегрированной программы обращения с радиоактивными отходами на этапе прекращения эксплуатации Чернобыльской АЭС и преобразования объекта «Укрытие» в экологически безопасную систему»;

задача 14 ПОМ ОУ предоставит исходные данные для разработки и установки системы контроля поведения ТСМ и для создания систем, обеспечивающих поддержание оптимальных температуры и влажности для хранения ТСМ внутри объекта «Укрытие». Это позволит получать оперативную информацию о негативных тенденциях поведения ТСМ;

прогнозная модель поведения ТСМ, а также данные, полученные с помощью системы контроля поведения ТСМ и системы контроля ядерной безопасности, позволят своевременно реализовать превентивные меры, направленные на снижение риска неблагоприятных последствий ухудшения состояния ТСМ, а также принять решение о необходимости раннего извлечения ТСМ. На основе прогнозной модели и результатов контроля ТСМ стратегия извлечения ТСМ и обращения с РАО, изложенная в П7, будет доработана и утверждена решением П8.

Учитывая, что работы по разработке и внедрению системы контроля поведения ТСМ пока не выполняются, то принятие ключевого решения П8 в ближайшее время не является реальным.

Таким образом, проектирование НБК осуществляется в условиях, когда отсутствует четкая стратегия будущего извлечения ТСМ и обращения с РАО. Единственным требованием к НБК в рамках проектирования ПК-1 НБК является резервирование необходимого технологического пространства для дальнейшего размещения и использования технологий извлечения ТСМ и других РАО. Это создает определенные риски, связанные с тем, что извлечение ТСМ при помощи созданных систем НБК может быть затруднено или даже невозможно для отдельных скоплений ТСМ. Кроме того, создание технологий и инфраструктуры обращения с ТСМ займет много времени, а вся деятельность, связанная с извлечением ТСМ, должна завершиться до того, как технологические системы НБК морально и физически устареют. В процессе извлечения

ТСМ могут существенно измениться радиационные параметры НБК, что необходимо учитывать при разработке и обосновании комплекса дополнительных мер по радиационной защите.

Следует заметить, что обязательным условием безопасного хранения отработавшего ядерного топлива является создание нескольких герметичных барьеров для предотвращения воздействия на окружающую среду. НБК не является герметичным сооружением, поэтому риски воздействия остатков ядерного топлива 4-го энергоблока на окружающую среду будут сохраняться до тех пор, пока они не будут извлечены из объекта «Укрытие».

Поэтому чрезвычайно актуальной является разработка принципиальных технологических решений по извлечению ТСМ с использованием систем НБК и обоснование безопасности в процессе их реализации, которая должна выполняться параллельно с проектированием и сооружением НБК, что позволит максимально возможно учесть потребности будущей деятельности по извлечению ТСМ при создании НБК. Такая работа в настоящее время выполняется ИПБ АЭС НАН Украины.

Для успешной реализации заключительного этапа "Стратегии преобразования объекта «Укрытие»" необходимо создание в рамках общенациональной программы геологического хранилища для захоронения ТСМ и других долгосуществующих РАО. На сегодняшний день в рамках «Общегосударственной целевой экологической программы обращения с радиоактивными отходами» [7] предусмотрено выполнение комплекса поисковых, оценочных, научно-методических, исследовательских и проектных работ с целью выбора площадок, потенциально пригодных для размещения геологического хранилища. Завершение этих работ запланировано на 2017 г.

Ввиду сложившихся обстоятельств работы по массовому извлечению ТСМ из объекта «Укрытие» даже по самым оптимистичным прогнозам начнутся не ранее 2030 г. Важно, чтобы эти работы были закончены к окончанию срока службы НБК.

Объект «Укрытие» не имеет аналогов в мировой практике, поэтому проблема его преобразования в экологически безопасную систему является уникальной задачей, для решения которой необходимы усилия, как Украины, так и мирового сообщества.

#### Список литературы к разделу 10

1. *Стратегия преобразования объекта «Укрытие»*. Утверждена решением межведомственной комиссии по комплексному решению проблем Чернобыльской АЭС. Протокол № 2 от 12 марта 2001 г.



2. *Ключников А.А., Щербин В.Н., Рудько В.М. и др.* Концептуальный проект извлечения топливосодержащих материалов и обращения с радиоактивными отходами объекта «Укрытие» (проект «СТАРТ») // Проблемы Чернобиля. - 1998. - Вип. 2. - С. 11 - 23.
3. *Конюхов С., Кокоулин Э., Козин С., Куренной В.* Преобразование четвертого энергоблока Чернобыльской атомной электростанции в экологически безопасную систему технологическим комплексом «Док-Кессон» // Междунар. конф. «Укрытие-98», 25 - 27 ноября 1998 г., Славутич, Украина: Тез. докл. – С. 56 - 59.
4. *Стратегия извлечения ТСМ и обращения с РАО.* П7. НАЭК «Энергоатом», 2000 г.
5. *Решение по прототипу извлечения ТСМ.* П9 / НАЭК «Энергоатом», 2001.
6. *SIP-P-DI-19-120-STG-083-02.* Стратегия обращения с ТСМ и радиоактивными отходами объекта «Укрытие». План дальнейших действий. - 2005.
7. *Общегосударственная целевая экологическая программа обращения с радиоактивными отходами.* Утверждена Законом Украины от 17.09.2008 г. № 516-VI.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Перечень сокращений.....	3
Введение.....	5
<b>Раздел 1. История создания объекта «Укрытие».....</b>	<b>7</b>
1.1. Авария на 4-м энергоблоке ЧАЭС.....	7
1.2. Первоочередные меры по ограничению выбросов радиоактивных веществ в окружающую среду.....	24
1.3. Строительство объекта «Укрытие».....	27
Список литературы к разделу 1.....	34
<b>Раздел 2. Ядерно-опасные материалы внутри объекта «Укрытие».....</b>	<b>38</b>
2.1. Ядерное топливо, находившееся внутри 4-го блока перед аварией.....	38
2.2. Топливосодержащие материалы.....	39
2.3. Исследовательские скважины в объекте «Укрытие».....	59
2.4. Ядерная безопасность ТСМ объекта «Укрытие».....	69
2.4.1. Состояние ядерной безопасности объекта «Укрытие». История вопроса.....	69
2.4.2. Ядерно-опасные скопления ТСМ объекта «Укрытие».....	72
2.4.3. Локализация размещения ядерно-опасных скоплений ТСМ.....	73
2.4.4. Критический инцидент 1990 г.....	77
2.4.5. Нейтронно-физические характеристики скопления ТСМ.....	79
2.4.6. Процесс образования и структура скопления ТСМ.....	82
Список литературы к разделу 2.....	85
<b>Раздел 3. Контроль выбросов и сбросов радиоактивных веществ из объекта «Укрытие».....</b>	<b>88</b>
3.1. Контроль выбросов радиоактивных аэрозолей из объекта «Укрытие».....	88
3.2. Контроль радиоактивных аэрозолей в приземном воздухе локальной зоны объекта «Укрытие».....	93
3.3. Жидкие радиоактивные отходы объекта «Укрытие».....	96
3.4. Грунтовые воды вокруг объекта «Укрытие».....	110
Список литературы к разделу 3.....	114



<b>Раздел 4. Радиационные параметры объекта «Укрытие»</b> .....	116
Список литературы к разделу 4.....	119
<b>Раздел 5. Дистанционные технологии и агрегаты для работ на объекте «Укрытие»</b> .....	120
Список литературы к разделу 5.....	127
<b>Раздел 6. Модернизированная система подавления радиоактивных аэрозолей объекта «Укрытие»</b> .....	128
6.1. Опытнo-промышленная и промышленная эксплуатация МСПП.....	130
6.2. Оценка эффективности работы МСПП.....	133
Список литературы к разделу 6.....	136
<b>Раздел 7. Стратегия преобразования объекта «Укрытие»</b> .....	137
Список литературы к разделу 7.....	146
<b>Раздел 8. Стабилизация строительных конструкций объекта «Укрытие»</b> .....	147
8.1. Общая характеристика состояния строительных конструкций до реализации стабилизационных мероприятий.....	147
8.2. Объем стабилизационных мероприятий.....	155
8.3. Классификация строительных конструкций по степени влияния на радиационную и ядерную безопасность.....	158
8.4. Основные конструктивные решения стабилизационных мероприятий.....	160
8.4.1. Стабилизация опор балки «Мамонт».....	160
8.4.2. Стабилизация плит перекрытия.....	167
8.4.3. Стабилизация каркаса деаэрационной этажерки.....	169
8.4.4. Стабилизация северной части объекта «Укрытие».....	169
8.4.5. Стабилизация южной части объекта «Укрытие».....	170
8.4.6. Стабилизация западного фрагмента объекта «Укрытие».....	171
8.4.7. Ремонт легкой кровли.....	172
8.5. Соответствие строительных конструкций техническим критериям и требованиям безопасности.....	173
8.6. Организация безопасного выполнения строительномонтажных работ.....	189
8.6.1. Комплекс подготовительных работ на строительной площадке.....	196
8.6.2. Мероприятия № 14 и № 14а.....	199

8.6.3. Мероприятия № 3с и № 3в.....	202
8.6.4. Мероприятия № 5 и № 11.....	203
8.6.5. Мероприятие № 8.....	204
8.6.6. Мероприятие № 2.....	205
8.6.7. Мероприятия б/н.....	210
8.7. Обеспечение радиационной безопасности.....	212
8.7.1. Дополнительные исследования радиационной обстановки.....	213
8.7.2. Мероприятия по радиационной защите.....	231
8.7.3. Итоги реализации мероприятий по радиационной защите.....	247
8.8. Охрана окружающей среды.....	248
8.9. Обращение с РАО.....	250
8.9.1. Обращение с ТРО.....	250
8.9.2. Обращение с ЖРО.....	256
Список литературы к разделу 8.....	257
<b>Раздел 9. Создание нового безопасного конфайнмента.....</b>	<b>262</b>
Список литературы к разделу 9.....	278
<b>Раздел 10. Стратегия дальнейшего преобразования объекта «Укрытие» в экологически безопасную систему.....</b>	<b>279</b>
Список литературы к разделу 10.....	282



У монографії представлено причини та наслідки аварії на 4-му енергоблоці ЧАЕС, особливості будівництва об'єкта «Укриття», результати досліджень із визначення розташування та кількості паливовмісних матеріалів та їхню потенційну небезпеку. Розглянуто характеристики радіоактивних аерозолів, механізми утворення та шляхи міграції рідких радіоактивних відходів. Описано реалізацію проекту стабілізації будівельних конструкцій, підготовку та реалізацію інших проектів, що виконуються в рамках плану здійснення заходів на об'єкті «Укриття» (SIP), включаючи створення нового безпечного конфайнмента, а також стратегію подальшого перетворення об'єкта «Укриття» на екологічно безпечну систему.

Призначена для фахівців, які займаються проблемами перетворення об'єкта «Укриття», поводження з радіоактивними відходами, а також ядерної і радіаційної безпеки.

Наукове видання

**Ключников Олександр Олександрович, Краснов Віктор Олександрович,  
Рудько Володимир Михайлович, Щербін Володимир Миколайович**

## **ОБ'ЄКТ «УКРИТТЯ»: 1986 - 2011 НА ШЛЯХУ ДО ПЕРЕТВОРЕННЯ**

Монографія

(Російською мовою)

Підп. до друку 30.03.2011. Формат 60×84/16.  
Папір офсет. Гарнітура Таймс. Друк офсет.  
Ум. друк. арк. 16,7. Тираж 500. Зам. № 1-26.

Інститут проблем безпеки АЕС НАН України  
Київська обл., 07270, м. Чорнобиль, вул. Кірова, 36-а  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 2114 від 25.02.2005 р.

ЗАТ «Книга»  
04053, Київ-53, вул. Артема, 25.

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру виготівників ДК № 2325 від 25.10.2005 р.

## Для заметок