

ГРАМОТКИН И.И., КАШТАНОВ В.А., ХАВРУСЬ В.Г., САВИН А.И., ДЕРЮГА С.Ю.
ГСП «Чернобыльская АЭС», Украина

НЕМЧИНОВ Ю.И., КРИВОШЕЕВ П.И., БАМБУРА А.Н., ХАВКИН А.К.,
МАРЬЕНКОВ Н.Г., БАБИК К.Н., КУРАШ Ю.И., ШОКАРЕВ В.С.
ГП «НИИСК», Украина

НОСЕНКО В.Ф., ЛУКИНА Л.Г., БАЙБУЗЕНКО Т.Ю., ФОМЕНКО А.Л.
Киевский «Энергопроект», Украина

SCHMIEMAN E.
«Battell», США

УДК 624.001.5: 621.039

ЧЕРНОБЫЛЬСКАЯ КАТАСТРОФА В УКРАИНЕ. ОПЫТ ПРЕОДОЛЕНИЯ ПОСЛЕДСТВІЙ АВАРИИ И ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ОБЪЕКТА «УКРЫТИЕ» В БЕЗОПАСНУЮ СИСТЕМУ

Ключевые слова: катастрофа; последствия аварий, строительные конструкции, радиоактивное загрязнение грунта.

Доповідь присвячена будівельним аспектам оцінки стану будівельних конструкцій четвертого енергоблоку Чорнобильської АЕС, зруйнованих у результаті аварії 26 квітня 1986 року, а також знову зведеніх конструкцій об'єкта «Укриття» (ОУ). Розглянуті основні заходи щодо ліквідації наслідків аварії, наведені характеристики й граници забруднення ґрунтів радіоактивними викидами зі зруйнованого реактора. Прошло вже 25 років після аварії. За цей час виконаний значний обсяг робіт по дезактивації території локальної зони й забезпечення радіаційного захисту персоналу й населення, посиленню частини нестійких конструкцій. Однак проблема безпеки об'єкта залишається досить актуальною. Наслідку ядерної аварії на четвертому енергоблоці ЧАЕС як і раніше являють довгочасну загрозу для персоналу, населення й навколишнього середовища.

Доклад посвящен строительным аспектам оценки состояния строительных конструкций четвертого энергоблока Чернобыльской АЭС, разрушенных в результате аварии 26 апреля 1986 года, а также вновь возведенных конструкций объекта «Укрытие» (ОУ). Рассмотрены основные меры по ликвидации последствий аварии, приведены характеристики и границы загрязнения грунтов радиоактивными выбросами из разрушенного реактора. Прошло уже 25 лет после аварии. За это время выполнен значительный объем работ по дезактивации территории локальной зоны и обеспечению радиационной защиты персонала и населения, усилению части неустойчивых конструкций. Однако проблема безопасности объекта остается весьма актуальной. Последствия ядерной аварии на четвертом энергоблоке ЧАЭС по-прежнему представляют долговременную угрозу для персонала, населения и окружающей среды.

Report is devoted building aspects of an estimation of a condition of building designs of the fourth power unit of the Chernobyl atomic power station, destroyed as a result of trouble on April, 26th, 1986, and also again erected designs of object "Shelter". The basic measures on liquidation of consequences of trouble are considered, characteristics and borders of pollution of priming coats by radioactive spikes from the destroyed reactor are resulted. Has passed 25 years after trouble. The considerable amount of works on deactivation of territory of a local working area and maintenance of radiating protection of the personnel and the population, strengthening of a part of unstable designs is in this time executed. However the problem of safety of object remains rather actual. Consequences of nuclear trouble on the fourth power unit CHAES still pose long-term threat for the personnel, the population and environment.

ВВЕДЕНИЕ

Уже предварительные оценки опасностей и уровней радиационного загрязнения территории после взрыва [1] показали, что внутри «Укрытия» осталось не менее 90% (около 180 т) высокоактивного топлива [6]. На площадке объекта под слоем гравия, бетона и песка находится не менее 0,6 т топлива. Опасный уровень радиоактивного загрязнения распространился на площади более 50000 км². От аварии в разной степени пострадало около 3,2 миллиона человек из разных стран. Общая радиоактивность материалов в помещениях объекта «Укрытие» в настоящее время превышает 20 МКи [2].

Большая часть строительных конструкций реакторного блока была разрушена или повреждена (рис.1). Полнотью обрушились конструкции шатра центрального зала выше отметки + 53,00, разрушены перекрытия и стены помещений барабан-сепараторов, а также перекрытия над главными циркуляционными насосами с северной и южной стороны. Верхняя плита биологической защиты (схема «Елена») массой 2750 тонн с остатками технологических каналов была подброшена и заняла положение под углом 15° к вертикали. Металлоконструкции основания реактора (схема «ОР») опустились от исходного состояния на 4,0 м. Верхние этажи деаэраторной этажерки (выше отметки +24,3 м) в осях 42-51 получили серьёзные повреждения (разрыв арматуры несущих конструкций) и отклонились от

вертикального положения в южном направлении от 0,7 до 1,5 м. Железобетонная стена западного каркаса по оси 50 имеет наклон в западном направлении 64-85 см. Северные и южные железобетонные вентиляционные шахты получили значительные ослабления в поперечном сечении стволов (рис. 1, 2).

Степень разрушения конструкций не могла быть классифицирована в соответствии с требованиями современных норм. Некоторые конструкции находились и находятся в критическом состоянии. Их несущая способность исчерпана. Последствия катастрофы в Чернобыле остаются в сфере внимания и вызывают тревогу народов Украины, России, Белоруссии, Европейских государств и международной общественности. За прошедшие годы выполнены значительные исследования и работы по повышению безопасности объекта «Укрытие».

1. СТРОИТЕЛЬСТВО САРКОФАГА. СТРУКТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОБЪЕКТА «УКРЫТИЕ» (ПЕРВАЯ ФАЗА, 1986-1991ГГ.)

Структурные исследования на четвертом энергоблоке ЧАЭС стали проводиться сразу же после аварии 1986 года специалистами различных организаций России, Украины, Белоруссии: Института атомной энергии им. И. В. Курчатова, Комплексной экспедиции института Курчатова, Радиевого института им. А. Хлопина, ВНИПИЭТ, НИКИЭТ, Института проблем электродинам-

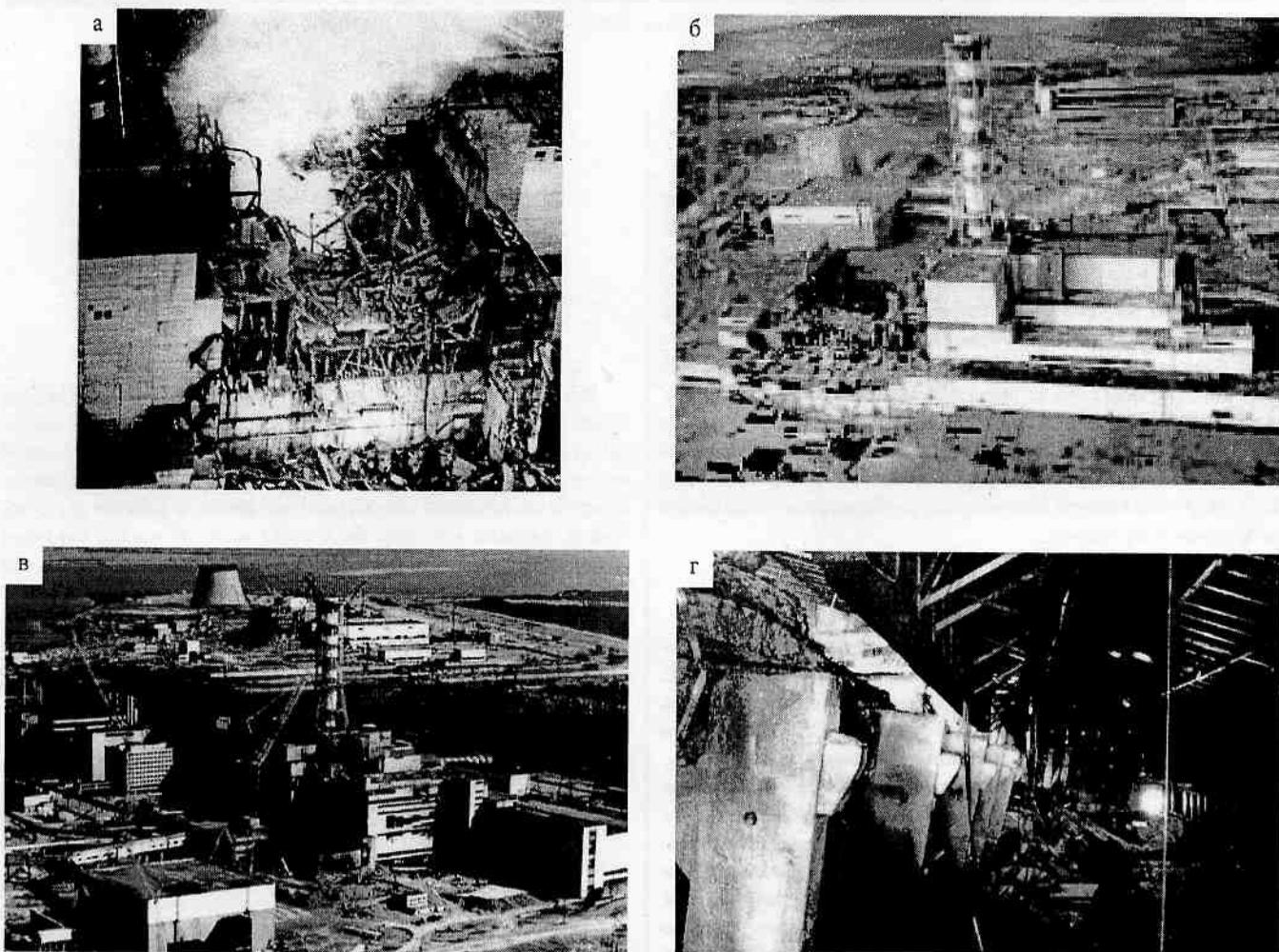


Рис. 1 Общий вид разрушенных конструкций четвертого энергоблока ЧАЭС:
а – первые дни после аварии; б, в – начало строительства; г – разрушенный каркас деаэраторной этажерки

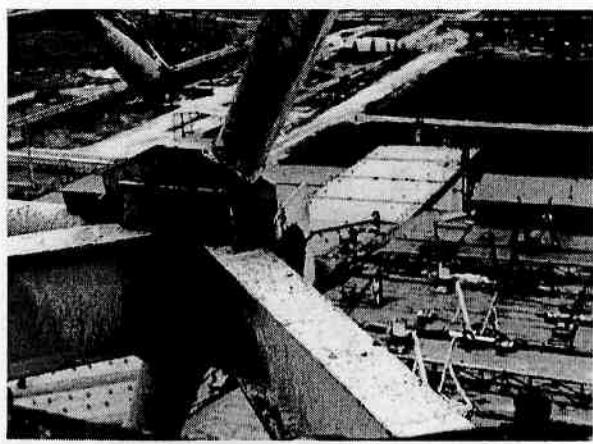
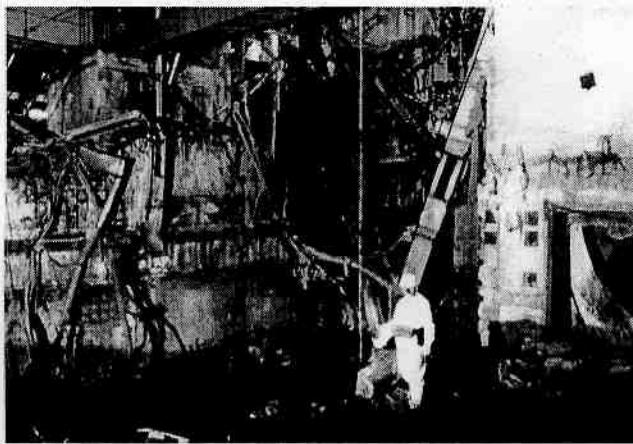


Рис. 2 Вентиляционная шахта реактора. Разрушенный узел вентиляционной трубы

мики АН Украины, Института ядерной энергетики АН Беларуси и многих других организаций.

В ноябре 1986 года вокруг разрушенных конструкций было построено защитное сооружение – «САРКОФАГ». Строительство производилось в сжатые сроки в условиях высокой радиационной обстановки с применением дистанционных методов монтажа укрупненными блоками (рис. 3). При строительстве «САРКОФАГА» было уложено 250 000 м³ бетона и смонтированы около 7000 тонн металлоконструкций. В «развал» четвёртого энергоблока в период с 27 апреля по 10 мая на активной фазе аварии было сброшено с вертолётов более 5000 т различных материалов (2400 т свинца – для охлаждения топлива; 40 т карбида бора – для предотвращения самоподдерживающейся цепной реакции; 800 т доломита, 1800 т песка и глины – для гашения горящего графита и ограничения выбросов радиоактивных продуктов в атмосферу).

Северная каскадная стена выполнена из бетона с уступами высотой до 12 м. Внутреннее пространство уступов заполнялось пространственными конструкциями, включая контейнеры с высокоактивными радиоактивными отходами.

Западная сторона разрушенного блока была закрыта металлической контрфорсной стеной высотой около 50 м. Возведены перегородки и стены, отделяющие четвертый и третий энергоблоки. В машинном зале возведена монолитная стена толщиной 2,3 м на высоту до отметки +19,0. Общий вид нового сооружения представлен на рис. 4. По

периметру сооружения выполнены «пионерные» защитные стены из железобетона высотой 6-8 м. Разрушенные конструкции четвёртого блока использовались в качестве опор вновь возводимых конструкций «Укрытия».

В 1989 году решением Госстроя СССР НИИСК был определён в качестве головной организации по созданию строительной Программы по оценке состояния и мониторинга строительных конструкций объекта «Укрытие». В 1991-1995 гг. работы по обследованию состояния объекта «Укрытие» (ОУ) выполнялись многими украинскими организациями при ведущей роли МНТЦ «Укрытие» (в настоящее время ИПБ АЭС), Национальной академии наук Украины и НИИСК Госстроя Украины.

Общая конструктивная система ОУ представляет собой (см. рис. 5):

- систему разрушенных взрывом железобетонных и металлических конструкций четвёртого энергоблока;
- систему конструкций покрытия ОУ, в которую входят возведенные в 1986 г. новые металлические конструкции;
- опорный контур, на который опирается система покрытия;
- фундаментно-подвальную часть (монолитные железобетонные фундаментные плиты и система продольных и поперечных стен до отм. +12,0 м).

Результаты предварительных натурных обследований в условиях повышенной радиационной обстановки показали, что в соответствии с требованиями нормативных документов строительные конструкции ОУ следует

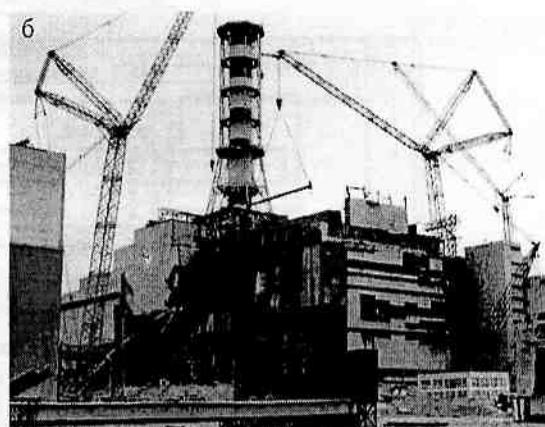


Рис. 3 Ликвидация последствий аварии, 1986 год: а - дезактивация территории с вертолетов; б - строительство западной контрфорсной стены с использованием сборных металлических блоков, заливаемых бетоном

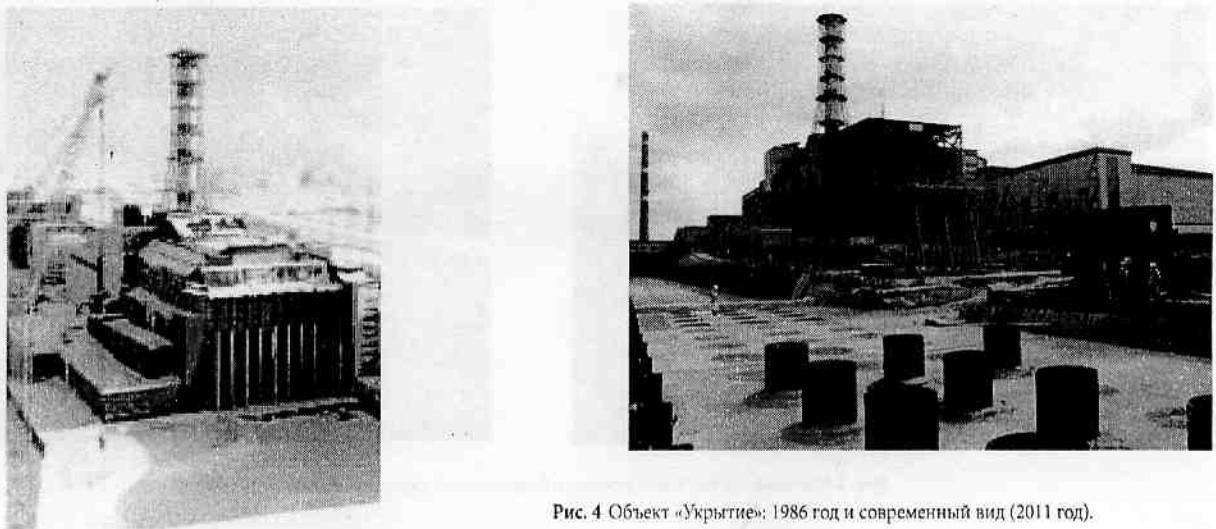


Рис. 4 Объект «Укрытие»: 1986 год и современный вид (2011 год).

считать разрушенными и находящимися в запредельной стадии деформирования. Оценку их остаточного ресурса на основе рекомендаций действующих СНиП осуществить невозможно.

2. ТЕКУЩАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ОБЪЕКТА «УКРЫТИЕ»

После предварительного изучения объекта (на его первой фазе) стало очевидным, что текущее состояние объекта характеризуется рисками, определяющими комплексное воздействие ряда факторов [6,7], среди которых: - воздействие исходных событий природного характера; состояние строительных конструкций; поведение топливосодержащих материалов (ТСМ) внутри

объекта; пожарную опасность.

К природным исходным событиям относятся: климатические условия на площадке (распределение температур воздуха, воздействие снега и ветра, циркуляция атмосферы), образование гололёда и изморози, метели и грозы, смерчи, тектонические особенности района, (проектные и максимальные расчётные землетрясения) и гидрологические факторы [3, 4, 5].

Текущее состояние строительных конструкций ОУ в процессе эксплуатации определяется поведением ряда критических зон во внешней оболочке «Укрытия», которые были выявлены на основании многочисленных натурных обследований и обобщений их результатов. В качестве критериев критичности зон принимались

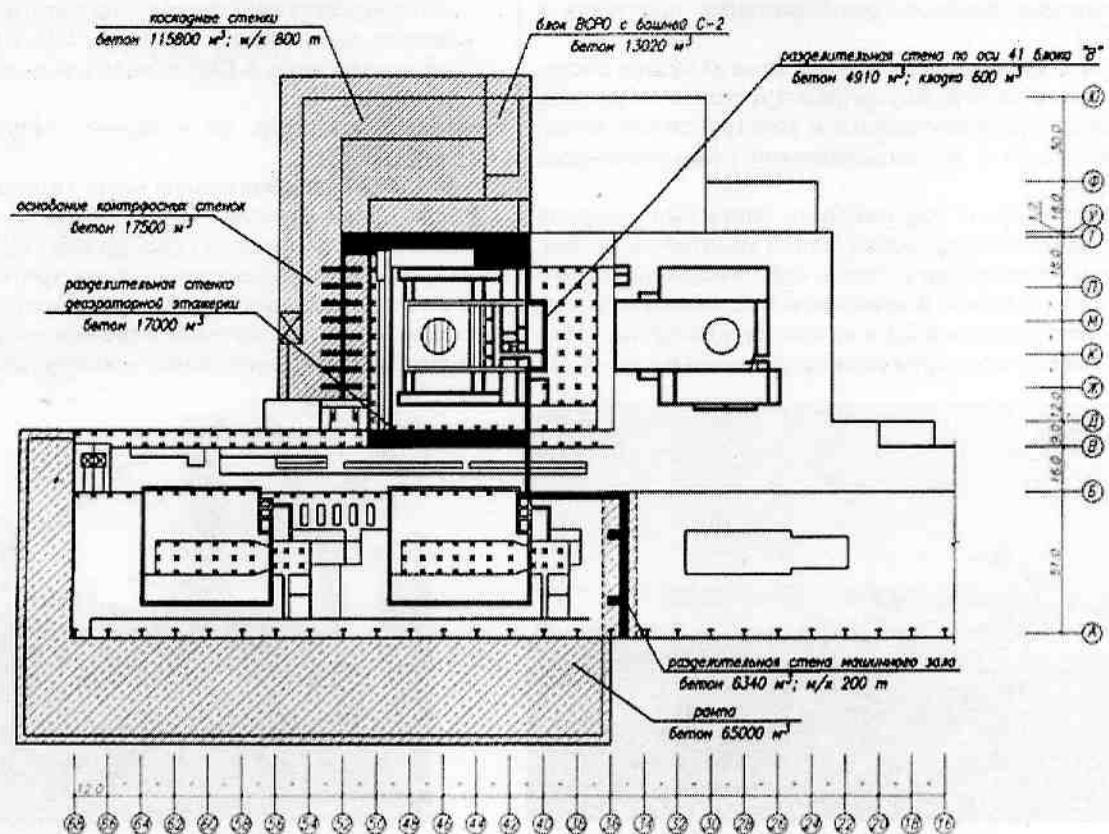


Рис. 5 План расположения защитных конструкций объекта «Укрытие»

нагрузки от воздействия проектных землетрясений, смерчей, выпадения снега и других природных событий, при которых нарушается устойчивость (стабильность) сооружения. К таким зонам были отнесены:

- вытяжная башня на блоке «В» (вентиляционная труба);
- опоры балок Б1 и Б2 по ряду «Ж»;
- каркас западной зоны «Укрытия»;
- южные щиты – «клюшки»;
- каркас деаэраторной этажерки и другие конструкции.

Анализ результатов геодезических измерений каркаса деаэраторной этажерки показывает постоянную тенденцию развития отклонений каркаса в южном направлении. Продолжается развитие процессов деградации конструкций. Коррозия металлоконструкций по данным НИИСК достигает 40-50 мкм за год эксплуатации. Общая долговечность металлоконструкций оценивается в 80 лет. Бетон подвергается попеременному увлажнению, замораживанию и оттаиванию, что приводит к разрушениям и снижению структурной прочности бетона.

Поведение ТСМ связано с изменением их свойств во времени. Силикатная матрица лавообразных масс разрушается во времени. Содержащиеся в ней связанные радионуклиды переходят в подвижные радиоактивные образования, которые могут выйти за пределы объекта «Укрытие» и представлять опасность для персонала, населения и окружающей среды. Обрушения нестабильных конструкций существенно увеличивают риск возникновения такого события.

Пожарная опасность является наименее изученным фактором. Она связана с наличием внутри объекта около 2000 тонн горючих материалов. При возникновении пожара увеличиваются риски распространение радиоактивных аэрозолей за пределы промплощадки.

3. МЕРОПРИЯТИЯ ПО УСИЛЕНИЮ (СТАБИЛИЗАЦИИ) НЕСТАБИЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

3.1. Стратегия стабилизации

Сооружение объекта «Укрытие» (ОУ) на разрушенных конструкциях 4-го энергоблока и в чрезвычайно тяжелых радиационных условиях не позволили соблюдать правила и нормы проектирования не только ядерных установок или объектов для обращения с радиоактивными отходами, а и обычных промышленных сооружений.

Рассматривая вопросы обеспечения безопасности объекта «Укрытие», выполнив натурные обследования неустойчивых строительных конструкций, специалисты ГП НИИСК пришли к выводу, что безопасность конструкций «Укрытия-1» можно обеспечить путем реализации последовательного усиления наиболее опасных (неустойчивых) конструкций объекта. Эта ситуация исходила из основного положения, что в процессе ее реализации следует рассматривать несколько этапов существования объекта.

Первый этап предполагает кратковременную в течение нескольких (не менее 10 лет) эксплуатацию существующего «Укрытия-1» до возведения над ним нового «Укрытия-2». На этом этапе необходима кратковременная стабилизация «Укрытия-1».

Второй этап предполагает более длительное (порядка 50 лет) существование «Укрытия-1». Обеспечение радиационной и ядерной безопасности в этом случае будет происходить под защитой усиленного «Укрытия-1». Принятие такой схемы преобразования потребует проведение усиления конструкций на более длительный период.

На протяжении всего времени работы над проблемой стабилизации строительных конструкций объекта «Укрытие» важнейшим вопросом было определение перечня конструкций, подлежащих усилению. Многолетние наблюдения за состоянием строительных конструкций и численные исследования зон ОУ и конструкций были направлены на обоснование минимального перечня мероприятий без снижения требуемого уровня надежности.

Первоначальный перечень стабилизационных мероприятий, разработанный в проекте SIP как первый этап преобразования объекта «Укрытие» в экологически безопасное состояние, насчитывал 29 мероприятий. В рамках проекта, выполненного Международным консорциумом «Чернобыль» – ICC (MK) JV в 1999-2000 годах, было проанализировано и обосновано снижение срока эксплуатации усиливаемых конструкций до 10-15 лет (на время, необходимое для строительства нового безопасного конфайнмента (НБК) и демонтажа нестабильных конструкций). Это позволило выполнить подробные расчеты неустойчивых конструкций, пересмотреть перечень стабилизационных мероприятий, сократив их количество сначала до 20, а затем до 15 мероприятий.

Однако, осуществление даже сокращенного списка мероприятий («Перечень 15») приводило к значительным дозам облучения персонала. Особенно значительные коллективные эффективные дозы требовались для выполнения работ по закреплению конструкций покрытия, которые находятся в неустойчивом положении при воздействии смерча, когда возможны значительное раскрытие внешнего покрытия и радиационные выбросы. Поэтому, в процессе дальнейшей работы над проектом была выполнена оценка расчетных характеристик смерчей при различных вероятностных критериях и определена возможность сократить «Перечень 15» до 9 первоочередных мероприятий, представленных выше.

Реализованные стабилизационные мероприятия отвечают проектным критериям, согласованным Государственным комитетом ядерного регулирования, и обеспечивают приемлемый уровень безопасности ОУ, исходя из пятнадцатилетнего срока эксплуатации стабилизованных конструкций с учетом завершения строительства нового безопасного конфайнмента в указанный период.

В 1997 г. был разработан Перечень 29-ти опасных конструкций объекта (Таблица 1). Группировка стабилизационных мероприятий производилась по зонам объекта (северная, восточная, южная и западная).

Оценка указанных 29-ти мероприятий была выполнена с учётом требований нормативных документов Украины, результатов проведенных исследований, а также повторяемости интервала нормативных нагрузок в течение 15-40 лет. Выбор временных интервалов стабилизации определялся с учётом общей стратегии преобразования ОУ в экологически безопасную систему [8], которая предполагала, что новый безопасный конфайнмент («Укрытие -2») будет возведен в указанные сроки.

3.2 Оценки надёжности мер стабилизации

На основании последовательного анализа «уязвимых зон» определен набор срочных стабилизационных мероприятий и произведена оценка надёжности предлагаемых мероприятий, которые представлены в таблице 2.

Определение показателей надежности конструкций сводится к сопоставлению показателей нагрузки (внутренних усилий) (Q) и прочности конструкций (N), которые характеризуются дифференциальными функциями

АВАРИЙ ТА КАТАСТРОФИ

Таблица 1. Перечень конструкций, подлежащих демонтажу /усилению

№№	Наименование	Ряд, ось	Краткая характеристика состояния
1	Железобетонная монолитная стена	50/Д-С	Предусмотрено ограничения перемещений стены в западном направлении.
2	Завал ДЭ на отм. 38.6 м	40-51/Б-В	Стабилизация на 15 лет не предусмотрена
3	Плиты перекрытия на отм. 38.6 м	40-51/Б-В	Стабилизация на 15 лет не предусмотрена.
4	Южные "щиты-ключки"	40-52/Б-В	Стабилизация предусмотрена на 15 лет.
5	Южные щиты	40-50/Б-Ж	Стабилизация на 15 лет. не требуется.
6	Балка "Мамонт"	40-51/В	Необходима стабилизация опор.
7	Балка «Осьминог»	39-52/Б	Стабилизация не предусмотрена.
8	Западные «щиты-ключки» на отм. 49.0 м	50-51'/С-Д	Стабилизацией на 15 лет предусмотрено ограничение падения конструкций на запад.
9	Завал над помещением 805/3	43-49	Стабилизация не предусмотрена.
10	Колонны	51'/Д-С	Стабилизацией предусмотрено ограничение падения колонн на запад.
11	Северные "щиты-ключки"	41-50/П-С	Стабилизация предусмотрена на 15 лет.
12	Кровля над трубным накатом	43-50/Ж-П	Стабилизация на 15 лет. не требуется.
13	Трубный накат	43-50/Ж-П	Стабилизация на 15 лет. не требуется.
14	Блоки балок Б1	41-50/Ж,П	Стабилизация предусмотрена.
15	Блоки балок Б2	41-50/Ж,П	Стабилизация предусмотрена.
16	Западная опора балки «Мамонт»	50/В	Стабилизация предусмотрена на 15 лет.
17	Балка Б3	41/И-М	Стабилизация не предусмотрена.
18	Балка Б5	43/И-М	Стабилизация не предусмотрена.
19	Балки К1, К2	51'/Д-С	Предусмотрено ограничение падения балок.
20	Объемный блок «Кошкин дом» на отм. 59.5 м	50-52/Е-Б	Стабилизация не предусмотрена
21	Объемный блок «Мышкин дом» на отм. 55.2 м	50-51/С	Стабилизация не предусмотрена.
22	«Щиты-ключки» покрытия на отм. 67.0-73.37 м	40-41/Н-П	Стабилизация не предусмотрена.
23	Щиты покрытия на отм. 71.27-73.37 м	40-41/Ж-И	Стабилизация не предусмотрена.
24	Пространственный блок покрытия	40-43/П-Ж	Стабилизация не предусмотрена.
25	Стены и перекрытия поддерживающие ТСМ на отм. 9.7м, 9.0м, 6.0м и 2.2м	44-49/Е-Р	Стабилизация не предусмотрена. Остаточная несущая способность не определены.
26	Завалы в центральном зале реакторного отделения	45-50/И-Н	Необходимость демонтажа и разборки не определены.
27	Схема "Е" - "Елена"	45-49/И-Н	Стабилизация на 15 лет не предусмотрена.
28	Разделительная стена и каркас блока "В"	38-40	Стабилизация на срок до 15 лет не требуется.
29	Вытяжная башня (блок В)		Стабилизация выполнена.

распределения (f_Q и f_N) и параметром отказа γ_0 :

$$\gamma_0 = \int_0^{\infty} f_Q(Q) \int_0^{Q_N} f_N(N) \cdot dN \cdot dQ = \int_0^{\infty} f_Q(Q) \cdot F_N(N) \cdot dQ. \quad (1)$$

С этой точки зрения использованы вероятностные и детерминистские методы анализа и оценки рисков разрушения (отказов) конструкций от исходных событий природного и техногенного характера.

Расчеты показывают, что вероятность отказа указанных конструкций после осуществления усиления уменьшается на два-три порядка. Определен перечень первоочередных мер повышения несущей способности конструкций.

3.3 Оценка сроков стабилизации на временном интервале.

Анализ взаимосвязи стабилизационных мероприятий и начала строительства нового конфайнмента во време-

ни показал, что:

- стабилизация целесообразна. Срочное начало строительства нового безопасного конфайнмента (НБК) приводит к большим коллективным дозам облучения персонала;
- пауза между стабилизацией и строительством НБК возможна, но не более 10-15 лет. При паузе более 20 лет увеличиваются коллективные дозы либо на стабилизацию, либо на ликвидацию последствий возможной аварии строительных конструкций ОУ

3.4 Краткосрочные меры стабилизации

В качестве краткосрочных мер определены 9 мероприятий, охватывающих упомянутые выше зоны Объекта «Укрытие» (см. Таблица 3 и рис. 6). Проектная документация на стабилизационные мероприятия разработана Украинским консорциумом «КСК» (КиЭП, НИИСК, ИПБ АС). Расчеты выполнены с применением программного комплекса «Лира-Windows» (НИИАСС Госстроя

Таблица. 2. Вероятности отказа конструкций ОУ до и после стабилизации

Конструкции или зоны	Вероятность отказа, γ_0	
	До стабилизации	После стабилизации
• Зоны опирания балок Б1, Б2 по оси 50		
- на вертикальную нагрузку	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$
- на горизонтальную нагрузку	$2,0 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-4}$
• Стены по оси 50 с прилегающим каркасом	$1,3 \cdot 10^{-1}$	$2 \cdot 10^{-3}$
• Деаэраторная этажерка	$1,3 \cdot 10^{-1}$	$1 \cdot 10^{-3}$
• Опорные зоны балки "Мамонт"		
- на вертикальную нагрузку*	$1,0 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$
- на горизонтальную нагрузку	$1,3 \cdot 10^{-1}$	$1 \cdot 10^{-3}$
• Северные щиты-ключки	$1,4 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-4}$
• Южные щиты*	$1,0 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-4}$
• Южные щиты-ключки	$1,4 \cdot 10^{-2}$	$4 \cdot 10^{-4}$
• Западная контрфорсная стена	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$
• Покрытие между западной контрфорсной стеной и стеной по оси 50	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$
• Западные ключки	$1,4 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-4}$

Таблица. 3. Перечень первоочередных мер стабилизации

№ мероприятия	Название мероприятия
2	Западная зона Усиление западного фрагмента объекта «Укрытие
3	Южная зона Стабилизация каркаса деаэраторной этажерки
4	Восточная и северная зоны Локальные усиления вентиляционных шахт
5	Бетонирование верхней части северной контрфорсной стены
8	Покрытие Соединение южных «щитов-ключек» с южными щитами
11	Соединение северных «щитов - ключек» с контрфорсной стеной с помощью анкеров-фиксаторов
14	Усиление западной опоры балки «Мамонт»
14а	Усиление восточной опоры балки «Мамонт»
б/н	Ремонт легкой кровли

Смотри рисунок 6 на стр. 2 обложки

України).

Требования по надежности стабилизационных мероприятий формулировались из условий отказа отдельных частей сооружения после реализации стабилизационных мероприятий с вероятностью не более $10^{-3} - 10^{-4}$. После выполнения стабилизационных мероприятий уточнены вероятности отказов строительных конструкций (Таблица 4).

На рис. 7 показано усиление западного фрагмента ОУ – наиболее сложного и трудоёмкого стабилизационного мероприятия № 2, завершенного в 2008 году.

4. СТРАТЕГІЯ ПРЕОБРАЗОВАННЯ ОБ'ЄКТА «УКРЫТИЕ»

Работы по преобразованию объекта «Укрытие» в безопасную систему проводились в рамках Международного Плана осуществления мероприятий (ПОМ) на объекте «Укрытие» (План SIP), который предусматривал несколько

другими радиоактивными отходами.

Цель 1 – Снижение вероятности обрушения – усиление строительных конструкций

Усиление строительных конструкций значительно снизило вероятность их обрушения. Завершение в 2008 году мероприятий по стабилизации неустойчивых конструкций 4-го блока обеспечило значительное снижение вероятности обрушения ОУ в период строительства НБК и гарантировало целостность конструкций на последующие 10-15 лет, в течение которых должен быть сооружен Новый безопасный конфайнмент (НБК).

Цель 2 – Уменьшение последствий аварийного обрушения

Последствия обрушения ОУ уменьшены. В основном этого удалось достичь посредством выполнения модернизации системы пылеподавления для создания защитной пленки на поверхностях во внутреннем пространстве под кровлей ОУ и путем разработки эффективных мероприятий аварийного планирования для ЧАЭС, включая ОУ.

Цель 3 – Повышение ядерной безопасности

Три задачи были

определенны как необходимые для достижения цели. Было достигнуто понимание риска критичности ТСМ. Другие намеченные задачи по характеризации ТСМ были выполнены частично. Принято решение, что полная характеристика ТСМ должна быть отнесена к долгосрочным мерам безопасности после завершения ПОМ. Также необходимо выполнить по обращению с водой, находящейся внутри ОУ.

Цель 4 – Повышение безопасности персонала и окружающей среды

Достигнуто улучшение проблемы обеспечения безопасности персонала. Задачи 15 и 18 выполнены. Остальные задачи – в стадии реализации, включая работы по модернизации системы физической защиты.

Цель 5 – Долгосрочная стратегия и исследование для преобразования в экологически безопасное состояние.

Задачи, обеспечивающие достижение Цели 5, либо выполнены, либо отложены, а стратегия преобразования ОУ в экологически безопасную систему еще уточняется. Стратегия извлечения ТСМ и обращения с отходами будет принята после завершения программы ПОМ с учетом результатов мониторинга ТСМ. Задача 20 по разработке технологии извлечения ТСМ была отложена. Работа по Задаче 21 по разработке стратегии безопасного конфайнмента была выполнена. Результаты работ по созданию «Концептуального проекта НБК» согласованы Регулирующими органами и Проект утвержден Кабинетом Министров Украины в 2004 году.

Проблема проектирования и строительства НБК, а также ранний демонтаж нестабильных конструкций ОУ остаются незавершенным элементом работы ПОМ. В настоящее время ведутся работы по очистке территории и начались строительные работы на площадке.

4.2 Мероприятия по стабилизации (9 мероприятий)

Стабилизация разрушенных элементов каркаса деаэра-

Таблица 4. Вероятности отказов конструкций после осуществления стабилизации

Зоны стабилизации	До стабилизации	После стабилизации
Западная зона	$1,6 \cdot 10^{-1}$	$1,0 \cdot 10^{-4} \div 3,0 \cdot 10^{-5}$
Южная зона	$1,3 \cdot 10^{-1}$	$1,0 \cdot 10^{-2} \div 2,0 \cdot 10^{-3}$
Северная зона	$4,0 \cdot 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-2} \div 2,0 \cdot 10^{-3}$

стратегически важных этапов преобразования.

4.1 Цели и задачи ПОМ

Основные цели ПОМ были определены в совместном отчете, подготовленном представителями Украины, Министерства энергетики США и Европейского Союза, «Чернобыльский блок №4. План осуществления мероприятий» от 31 мая 1997 года. Там обозначены следующие пять основных целей (рис.8):

- Цель 1 – Снижение вероятности обрушения – усиление строительных конструкций;
- Цель 2 – Уменьшение последствий аварийного обрушения;
- Цель 3 – Повышение ядерной безопасности;
- Цель 4 – Повышение безопасности персонала и окружающей среды;
- Цель 5 – Долгосрочная стратегия и исследование для преобразования в экологически безопасное состояние.

В состав ПОМ вошли десять программных этапов, которые определили объемы работ и сроки принятия важных (ключевых) решений:

Основная цель ПОМ заключалась в снижении рисков для персонала, населения и окружающей среды, а также в подготовке площадки и осуществление преобразования ОУ в экологически безопасное состояние на последующие 100 лет. Создание НБК является основным средством достижения данной цели. НБК обеспечит защиту ОУ от продолжающихся процессов деградации конструкций и топливосодержащих материалов, а также защитит окружающую среду от выброса радиоактивной пыли, в том числе и от пыли, которая может быть поднята в результате аварийного обрушения конструкции ОУ. НБК обеспечивает безопасные условия для выполнения раннего демонтажа кровли ОУ и других нестабильных конструкций, а также для работ по долгосрочному обращению с топливо содержащими материалами (ТСМ) и

Смотри рисунки 7,8 на стр. 2 обложки

торной этажерки предусматривала монтаж дополнительных металлических наклонных элементов (подкосов), которые соединяют верхнюю часть колонн и имеют значительное отклонение от вертикали в сторону машинного зала с конструкциями перекрытия, находящихся ниже и не имеющих существенных повреждений [9,10] (рис. 9).

Стабилизация предусматривала усиление вертикальных крестообразных связок путем увеличением их сечения за счет приварки дополнительных элементов (рис. 10).

Стабилизация была выполнена путем заполнения бетоном пустот, имевших место в основании опоры (рис. 11)

Реализация стабилизационных мероприятий предусматривала объединение двух задач:

- 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 было выполнено путем установки и закрепления в опорных частях "щитов-ключек" анкеров-фиксаторов, их размещение в незаполненном бетоном внутреннем пространстве стены с последующим бетонированием этого пространства (рис. 12)

Ремонт легкой кровли предусматривал:

- устройство нового покрытия из профилированного настила на 40% площади кровли;
- замену нащельников между блоками кровли;
- установку крышек и люков для модернизированной системы пылеподавления (рис. 13).

5. ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СТРОИТЕЛЬСТВО НОВОГО БЕЗОПАСНОГО КОНФАЙНМЕНТА (НБК)

Ключевой этап разработки ТЭО «Укрытия-2» закончился в июле 1995 г. С учетом представленных украинской стороной замечаний международный «Альянс» разработал окончательные решения и передал их Чернобыльской АЭС в виде многотомного труда. Презентация второго этапа ТЭО состоялась в Киеве 11-12 июля 1995 г. Основные решения и стратегия сооружения «Укрытия-2» изложены в «Оперативном резюме».

5.1 Новый «САРКОФАГ» - АРКА- Предложение консорциума «Альянс» (Франция)

Арочная форма Укрытия, по мнению разработчиков проектных решений позволит наиболее гармонично распределить расход материалов, обеспечить последующую разборку объекта «Укрытие» и повысить безопасность «Укрытия-1». Возвведение конструкций «Укрытия-2» в форме АРКИ осуществляется на монтажной площадке к западу от существующего Укрытия и по мере готовности производится его «надвижка» в восточном направлении (рис. 14).

Общие затраты по преобразованию объекта «Укрытие» по оценке «Альянса» составят от 1,2 до 1,5 млрд. \$ США. Эти затраты не полностью отвечают техническому заданию, так как в них не указаны два важных элемента преобразования «Укрытия-1»: обращение с РАО и разборка конструкций «Укрытия-1» после возведения «Укрытия-2».

5.2. Новый безопасный конфайнмент

5.2.1 Предварительная исходная информация

В рамках ПОМ были выделены первоочередные пакеты, которые на сегодняшний день завершены. Целью этих пакетов было проведение предварительных иссле-

дований, которые должны обеспечить основу для последующих конкретных разработок, по проблемам: оценка нестабильных конструкций и путей дальнейших действий, направлений разработок по новому конфайнменту, концептуальных вопросов извлечения РАО и ТСМ и других.

Для выбора концепции безопасного конфайнмента проведен анализ имеющихся отчетов и предложений по конструкциям конфайнмента.

Все существующие концепции были разделены на группы, основывающиеся на сходстве признаков, а именно:

- концепции, предусматривающие создание новой локализующей оболочки, с тем, чтобы использовать часть/части существующего ОУ путем стабилизации или ремонта существующих строительных конструкций;
- концепции, предусматривающие создание новой локализующей оболочки, с тем чтобы обеспечить условия для демонтажа нестабильных конструкций и раннего (начало в течение 15 лет и завершение не позднее 100 лет) извлечения ТСМ и обращения с РАО;
- концепции, предусматривающие отложенное (более чем на 100 лет) извлечение ТСМ и обращение с РАО.

С целью проверки и оценки соответствия каждой концепции функциональным требованиям была разработана матрица требований и критериев и каждая концепция БК была оценена с использованием данных критериев. На основании проведенного анализа из 12 концепций отобраны три концепции безопасного конфайнмента, которые наилучшим образом соответствуют определенным критериям.

К таким концепциям относятся три следующие варианта:

- Малогабаритный конфайнмент («РАМА»);
- «АРКА» («СВОД»);
- Док-Кессон (КОНСОЛЬ).

Правильность принятых решений была подтверждена посредством проведения анализа этих трех вариантов БК. Последующие анализы и оценки трёх концепций БК выполнялись с использованием качественных дополнительных критериев. Рассмотрение стратегии безопасного конфайнмента выполнено в работе независимых украинских экспертов, которая, в основном, одобрена Ученым советом Академии строительства Украины. Международная консультативная группа экспертов (МКГ) также рассмотрела различные варианты БК и

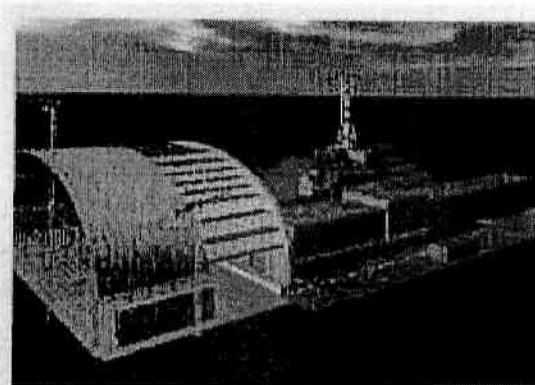


Рис. 14 Последовательность сборки арочного покрытия на монтажной площадке

Смотри рисунки 9-13 на стр. 2 обложки

пришла к выводу, что на сегодняшний день не существует достаточно доступной информации для того, чтобы выбрать один вариант БК для дальнейшей проработки на следующем этапе проектирования. По мнению МКГ все три варианта БК реализуемы, при этом концепция конфайнмента типа СВОД лучше всего удовлетворяет ключевым функциональным требованиям.

На рисунке 15 представлены общие виды разработанных Консорциумом ICC (МК) JV трёх упомянутых выше вариантов Безопасного конфайнмента.

Конструкция конфайнмента типа «РАМА» (рис. 15, а) представляет собой пространственную решётку с габаритными размерами 210x99 м и высотой 89,5 м. Несущие конструкции укрытия состоят из двух главных балок, расположенных в направлении «север - юг», на которые опираются фермы покрытия, размещённые в направлении «восток - запад».

БК «КОНСОЛЬ» (рис. 15, б) состоит из двух блоков, которые имеют различное назначение – производственный блок и крановый блок. Номинальные габариты (в осях несущих конструкций) конфайнмента имеют размеры 114x246x97 м.

Конфайнмент арочного типа даёт возможность накрыть существующий объект «Укрытие» и часть машинного зала. Конфайнмент состоит из трёх различных компонентов: собственно арочной конструкции, торцевых стен и фундаментов. Арочная конструкция образуется из четырёх сегментов длиной по 36 м, пролётом в осях 257 м и высотой 108 м (рисунок 15, в).

Разработка Концептуального проекта (ТЭО) безопасного конфайнмента по заказу Чернобыльской АЭС осуществлялась объединённой командой двух консорциумов, - американо - французского «BISI»: Bechtel (ведущая компания), Battel (США) и EDF (Франция) и украинского консорциума «КСК»: КиЭП (ведущая организация), НИИСК (ведущая на первом этапе) и МНТЦ «Укрытие».

Постановлением Кабинета Министров Украины № 421 от 31.03.2003г. [12] установлен порядок реализации Плана осуществления мероприятий на объекте "Укрытие". В соответствии с данным Постановлением определены процедуры проектирования нового безопасного конфайнмента, учитывающие требования украинского ДБН А.2.2-3-2004:

- проектирование НБК осуществляется в три стадии (ТЭО, проект, рабочая документация) - в соответствии с терминологией ДБН Украины и в две стадии (концептуальный проект и детальный проект) - в соответствии с западной терминологией. При этом детальный проект включает реализацию двух стадий (проект и рабочая документация). Сочетание национального и западного подхода является необходимым, учитывая условия реализации всей деятельности - за счёт средств ЕБРР;
- комплексной государственной экспертизе под-

лежат технико-экономическое обоснование (концептуальный проект) НБК и проект (первая стадия детального проекта). Учитывая изложенное выше, из проектной документации НБК, подлежащей Комплексной государственной экспертизе и соответствующему утверждению, исключается сметная документация. Исходя из результатов всей предшествующей деятельности, и учитывая решения, принятые на государственном уровне, отсутствует необходимость дополнительного обоснования целесообразности и экономической эффективности создания НБК в составе ТЭО.

Кроме того, принятymi ранее решениями однозначно определена конструкция НБК в виде «Арки» с организацией ее сборки в непосредственной близости от ОУ и «надвижкой» в проектное положение.

5.2.2 Общая характеристика НБК

В соответствии с целями создания и выполняемыми функциями в рамках КП (ТЭО) НБК включает следующие основные объекты: основное сооружение, включая конструкцию арки, фундаменты, западную и восточную торцевые стены, вспомогательные системы, в том числе обеспечивающие демонтаж/усиление нестабильных конструкций; технологический корпус; вспомогательные здания и сооружения (КНС, здание для системы пожаротушения и др.). Общий вид НБК представлен на рисунке 16.

В КП (ТЭО) НБК было рассмотрено восемь вариантов конфигурации Арочного покрытия круговых и параболических очертаний. Арочный свод образуется в направлении «восток-запад» 13-ю арочными конструкциями, которые располагаются на расстоянии 12,5 м друг от друга. Длина арочного свода – 150 м. Выбор конфигурации обуславливается рекомендациями пакета «A» плана SIP с учетом обеспечения достаточной высоты размещения балок крана 80 м и обеспечения необходимой рабочей зоны крана для разборки нестабильных конструкций ОУ. Общий план размещения фундаментов для надвижки арочного свода и фундаментов проектного расположения опорных частей НБК представлен на рисунке 17.

5.2.3 Арочная конструкция

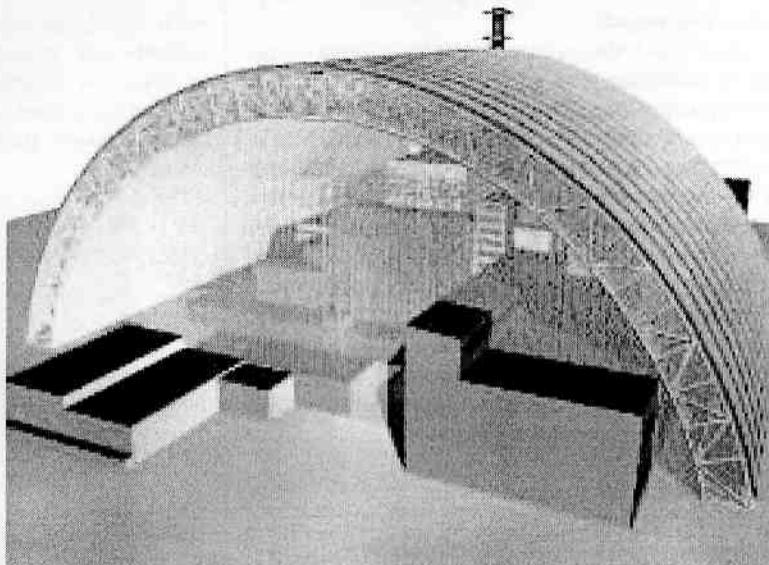


Рис. 16 Общий вид Нового безопасного конфайнмента (НБК)

Смотри рисунок 15 на стр. 3 обложки

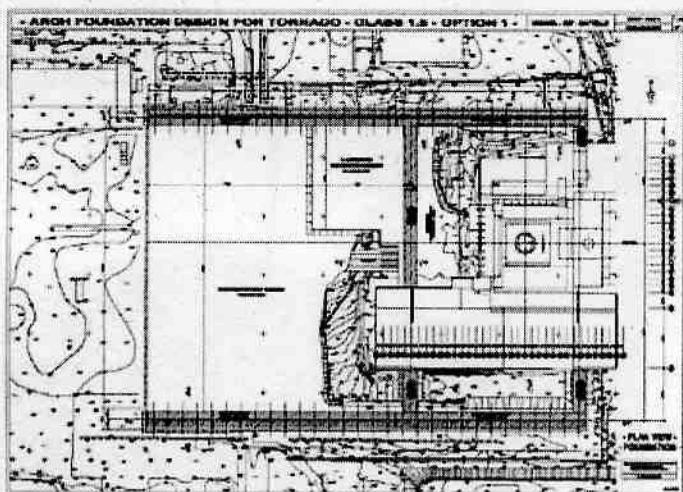


Рис. 17 План фундаментов для надвижки и проектного расположения элементов арочного свода

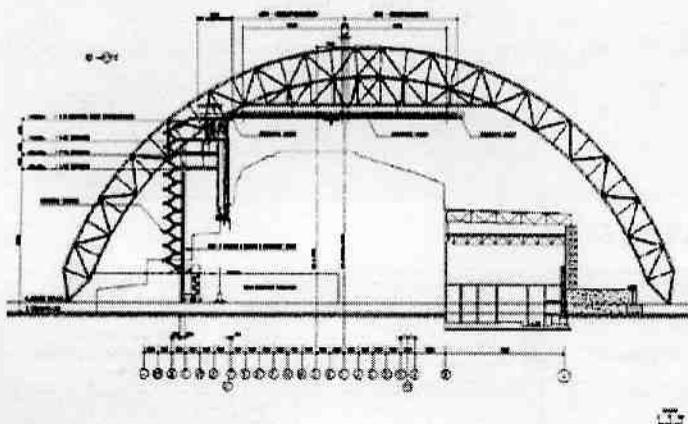


Рис. 18 Основной кран и платформа технического обслуживания НБК в составе Концептуального проекта.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРИ

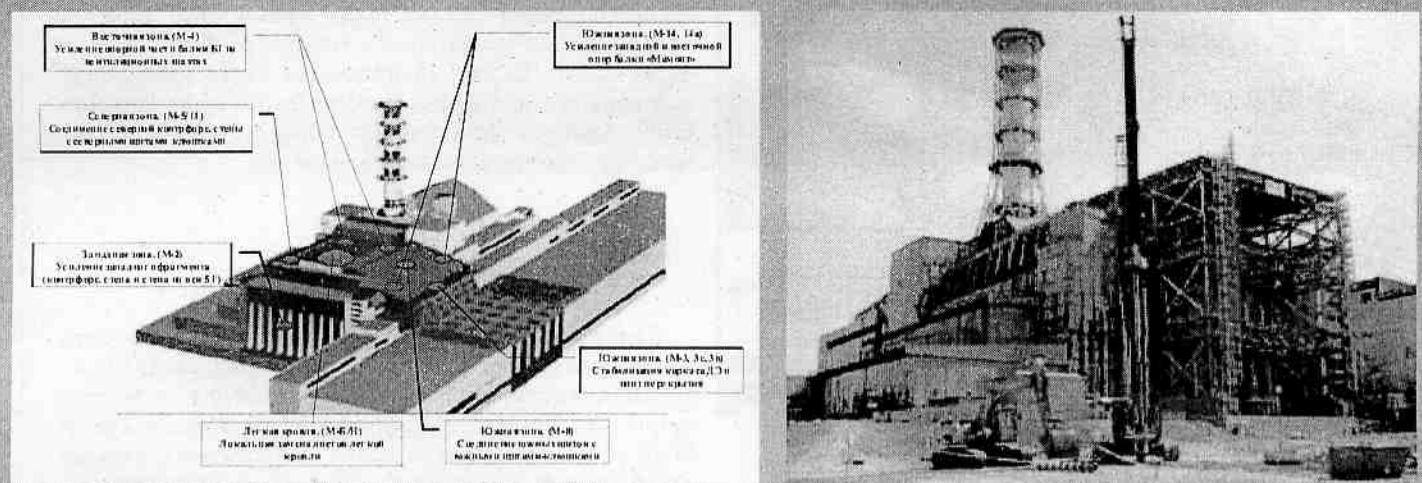
1. Чернобыль. Пять трудных лет. – Сб. материалов о работах по ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС в 1986-1990 гг. – М.: ИздАТ, 1992. – 381 с.
2. Описание объекта «Укрытие» и требования к его преобразованию/ МинЧернобыль, Академия наук Украины. – Киев: «Наукова думка», 1992. – 50с.
3. Клімат України /Український науково-дослідний Гідрометеорологічний Інститут. За ред. В.М.Ліпінського, В.А.Дячука, В.М.Бабіченко. - Київ, вид. Раевского, 2003 - 343 с.
4. Основные нормативные требования и расчётные характеристики смерчей для площадки Чернобыльской АЭС/ Приказ Госстроя Украины №64 от 21.10.2002г. Инф. Бюллетень Гостроя Украины, №10, 2002, с.6-8.
5. Основные нормативные требования и расчётные характеристики землетрясений для промплощадки Чернобыльской АЭС/ Письмо Госстроя Украины №3/19-19 от 8 июля 2005г. - 7с.
6. Боровой А.А., Ключников А.А., Щербин В.Н. Проблемы безопасности объекта «Укрытие». – В кн.: «Объект «Укрытие» - 10 лет. Основные результаты научных исследований»/ МНТЦ «Укрытие» НАНУ, Чернобыль, 1996, с.7-22.
7. Купный В.И. Объект «Укрытие». Вчера, сегодня, завтра. – В кн.: «Объект «Укрытие» - 10 лет. Основные результаты научных исследований»/ МНТЦ «Укрытие» НАНУ, Чернобыль, 1996, с.57-77.
8. Стратегія перетворення об'єкту «Укриття»/ Національна Академія наук України, Міністерство палива та енергетики України. – Ухвалено рішенням Міжвідомчої комісії з комплексного вирішення проблем Чорнобильської АЕС. Протокол Звіт від 12 березня 2001 р. – 18с.
9. От Укрытия до Конфайнмента четвертого блока Чернобыльской АЭС. Строительные аспекты/ Ю.И.Немчинов, П.И.Кривошеев, М.В.Сидоренко и др.; под ред. П.И.Кривошеева и др. – Киев: Логос, 2006. – 463 с.: ил. – библиогр.
10. Объект «Укрытие»: 1986 – 2011. На пути к преобразованию: монография/ А.А. Ключников, В.А. Краснов, В.М. Рудько, В.Н. Щербин. – НАН Украины, Институт проблем безопасности АЭС, 2011. – 288 с.
11. ДБН А.2.2-3-2004. Состав, порядок разработки, согласования и утверждения проектной документации для строительства/ Госстрой Украины, Киев, 2004. – 36с.
12. Порядок выполнения Плана осуществления мер на объекте «Укрытие»/Утв. Постановлением Кабинета Министров Украины от 31 марта 2003 г., № 421, ЗІНАІ, № 18, 2003, ст.329, с.100-107.

Арочная конструкция представляет собой металлическую пространственную конструкцию пролетом 257 м, шириной 150 м и высотой 108 м и состоит из 12 секций шириной 12,5 м, а также восточной и западной торцевых стен (расстоянием между поясами арочных ферм 12 м). На рис. 18 приведена схема расположения кранов и платформы технического обслуживания НБК. Арочная конструкции оборудуется необходимым технологическим оборудованием.

ВЫВОДЫ:

Дальнейший этап преобразования объекта «Укрытие» связан с разработкой детального (рабочего) Проекта строительства НБК, который в настоящее время выполняется Международным консорциумом НОВАРКА с участием украинских проектных, научно-исследовательских и производственных организаций. ГП НИИСК и ИПБ АЭС выполняет в этом проекте функции Инженера Клиента Чернобыльской АЭС. Основная цель их деятельности заключается в осуществлении оценки разрабатываемых проектных и строительных решений требованиям украинских нормативных документов.

**РИСУНКИ К СТАТЬЕ ГРАМОТКИН И.И., КАШТАНОВ В.А., ХАВРУСЬ В.Г., и др.
«ЧЕРНОБЫЛЬСКАЯ КАТАСТРОФА В УКРАИНЕ. ОПЫТ ПРЕОДОЛЕНИЯ ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИИ
И ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ОБЪЕКТА «УКРЫТИЕ» В БЕЗОПАСНУЮ СИСТЕМУ»**



**Рис. 6. Зоны стабилизации объекта «Укрытие», выполненные в 2004 – 2008 гг.
украинско-российским консорциумом «Стабилизация»**

Рис. 7. Зона стабилизации западного фрагмента (мероприятие № 2)

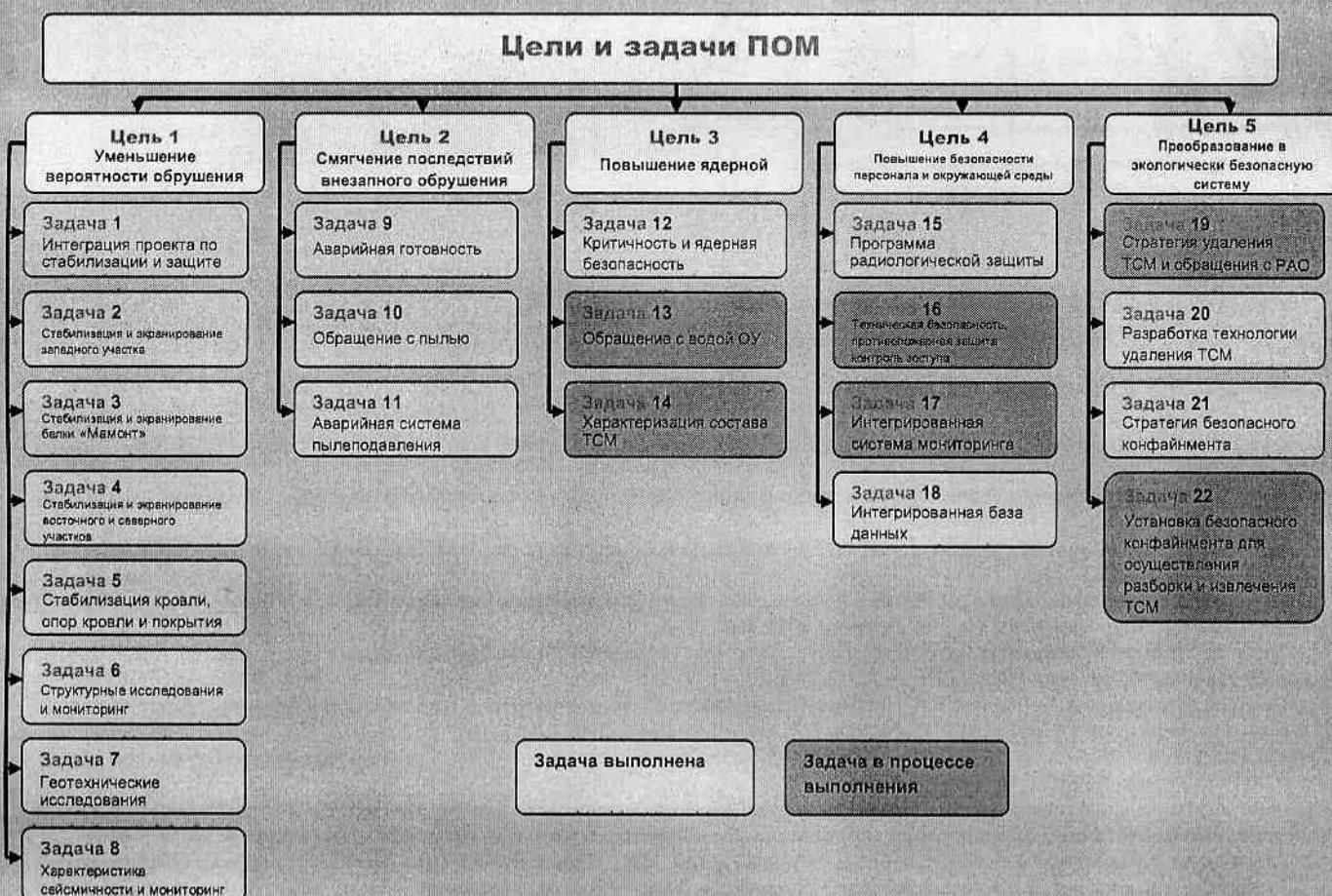


Рис. 8. Схема целей и задач плана осуществления мероприятий (ПОМ)