

А. В. Носовский, В. Н. Васильченко,
А. А. Ключников, Б. С. Пристер



UA0801848

БЕЗОПАСНОСТЬ АТОМНЫХ СТАНЦИЙ

АВАРИЯ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС

ОПЫТ ПРЕОДОЛЕНИЯ.
ИЗВЛЕЧЕННЫЕ УРОКИ

А. В. Носовский, В. Н. Васильченко,
А. А. Ключников, Б. С. Пристер

БЕЗОПАСНОСТЬ АТОМНЫХ СТАНЦИЙ

АВАРИЯ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС

ОПЫТ ПРЕОДОЛЕНИЯ.
ИЗВЛЕЧЕННЫЕ УРОКИ

Под редакцией доктора технических наук
профессора А. В. Носовского

Київ
"Техніка"
2006

ББК 68.9
А84
УДК 614.8(075.8)

Випущено на замовлення Державного комітету
телебачення і радіомовлення України
за програмою "Українська книга"

Рекомендовано до друку: вченою радою Інституту проблем безпеки атомних електростанцій, протокол № 10 від 24.11.2005 р.; науково-технічною радою Державного науково-технічного центру з ядерної та радіаційної безпеки, протокол № 05-7 від 13.12.2005 р.

Рецензенти:

В. Г. Бар'яхтар, директор Інституту магнетизму НАН України, академік НАН України, д-р фіз.-мат. наук, проф.; *Б. С. Стогній*, академік-секретар відділення фізико-технічних проблем енергетики НАН України, академік НАН України, д-р техн. наук, проф.

У книзі, присвяченій 20-річчю аварії на четвертому енергоблоці Чорнобильської АЕС, подані історія будівництва станції, причини аварії, її наслідки, заходи щодо ліквідації їх. Описано сучасний стан справ зі зняття з експлуатації енергоблоків Чорнобильської АЕС, перетворення об'єкта «Укриття» на екологічно безпечну систему. Розглянуто майбутнє площадки та зони відчуження Чорнобильської АЕС.

Для спеціалістів атомних електричних станцій, наукових та інженерно-технічних працівників, служб протипаварійного реагування та надзвичайних ситуацій, а також широкого кола читачів.

Авария на Чернобыльской АЭС: Опыт преодоления. Извлеченные уроки /
А84 А. В. Носовский, В. Н. Васильченко, А. А. Ключников, Б. С. Пристер; Под ред.
А. В. Носовского. – К.: Техніка, 2006. – 264 с. + цв. вкл. на 32 с. – (Безопасность
атомных станций).

ISBN 966-575-113-1

В книге посвященной 20-летию аварии на четвертом энергоблоке Чернобыльской АЭС, представлены история строительства станции, причины аварии, ее последствия, мероприятия по их ликвидации. Описано современное состояние дел по снятию с эксплуатации энергоблоков Чернобыльской АЭС, преобразованию объекта «Укрытие» в экологически безопасную систему. Обсуждено будущее площадки и зоны отчуждения Чернобыльской АЭС.

Для специалистов атомных электрических станций, научных и инженерно-технических работников, служб протипаварійного реагування и чрезвычайных ситуаций, а также широкого круга читателей.

ББК 68.9

ISBN 966-575-113-1

© А. В. Носовский. 2006

Оглавление

Предисловие	5
Перечень сокращений	7
Введение	8
 Часть I. ИСТОРИЧЕСКАЯ	
Глава 1. Авария на четвертом энергоблоке Чернобыльской атомной электростанции	12
1.1. История строительства Чернобыльской атомной электростанции	12
1.2. Причины аварии	18
1.3. Последствия аварии	24
1.4. Ликвидация аварии	27
1.5. Ликвидация последствий аварии	31
1.6. Последствия для окружающей среды	36
 Глава 2. Создание объекта «Укрытие»	43
2.1. Проектные решения	43
2.2. Организация работ и этапы их выполнения	45
2.3. Обеспечение радиационной защиты	51
2.4. Эксплуатация объекта	58
2.5. Влияние объекта на окружающую среду	68
 Глава 3. Эксплуатация Чернобыльской АЭС в послеаварийный период	71
3.1. Послеаварийный пуск трех энергоблоков	71
3.2. Повышение безопасности	74
3.3. Эксплуатационный персонал станции	78
3.4. Строительство города Славутича	81
3.5. Авария на втором энергоблоке Чернобыльской атомной электростанции	89
 Глава 4. Дозы и последствия облучения	93
4.1. Дозы облучения персонала и населения	93
4.2. Медицинские последствия облучения	98
4.3. Мифические последствия облучения	107
4.4. Социальные последствия облучения	111

Часть II. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ

Глава 5. Снятие с эксплуатации	116
5.1. Политические и технические аспекты	116
5.2. Планирование деятельности	118
5.3. Комплексные инженерные и радиационные обследования	129
5.4. Создание инфраструктуры	135
5.5. Обращение с отработавшим ядерным топливом	140
5.6. Обращение с радиоактивными отходами	144
Глава 6. Преобразование объекта «Укрытие» в экологически безопасную систему	149
6.1. Факторы опасности и современное состояние объекта	149
6.2. Возможные пути преобразования объекта «Укрытие»	158
6.3. План осуществления мероприятий по преобразованию объекта «Укрытие»	161
6.4. Управление проектом по преобразованию объекта «Укрытие»	163

Часть III. ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Глава 7. Уроки аварии	172
7.1. Международные аспекты	172
7.2. Нормирование облучения	174
7.3. Противоаварийное реагирование	181
7.4. Экономичность и безопасность	190
7.5. Культура безопасности	195
7.6. Работа с общественностью	201
Глава 8. Видение будущего Чернобыльской атомной электростанции	206
8.1. Промышленная площадка	206
8.2. Зона отчуждения	208
8.3. Город Славутич	212
Глава 9. Будущее атомной энергетики	220
9.1. Мировые тенденции развития атомной энергетики	220
9.2. Ядерные реакторы ближайшей и отдаленной перспективы	225
9.3. Атомная энергетика Украины	238
9.4. Экологические аспекты	245
Вместо эпилога	253
Список использованной литературы	255

Предисловие

Безопасность ядерной энергетики приобрела особую актуальность после аварии на Чернобыльской АЭС, поставившей под сомнение перспективы развития этой отрасли. Для полноценной оценки таковых необходимо обладать достаточной информацией обо всех сопутствующих ядерной энергетике факторах – технологических, научных, экологических, экономических, политических, правовых, психологических; саккумулировать точки зрения специалистов, работающих в области использования ядерной энергии, ученых, инженеров, медицинских работников, юристов, политиков; соотнести положительные аспекты использования ядерной энергии с отрицательными. Большую ценность в свете сказанного представляет анализ последствий аварии на четвертом энергоблоке Чернобыльской АЭС в 1986 г. и мероприятий по их ликвидации. Именно эту задачу и преследует настоящая монография, подготовленная группой авторов, проработавших длительное время на площадке Чернобыльской АЭС, в 30-километровой зоне отчуждения, участвовавших в работах по ликвидации как самой аварии, так и ее последствий, обеспечивавших проведение широкого круга научных исследований.

Настоящая книга подытоживает взгляд на проблемы, связанные с аварией на Чернобыльской АЭС. В ней читатель знакомится с фактами и событиями, связанными со строительством станции, особенностями реакторов РБМК, причинами и последствиями аварии, аспектами безопасности реакторных установок, мероприятиями по повышению безопасности, внедренными на энергоблоках АЭС после чернобыльской аварии, и основанными на извлеченных из нее

уроках. Здесь представлены технические, экологические, экономические, медицинские и политические оценки текущего состояния чернобыльской площадки, перспективы ее реабилитации и возврата в хозяйственную деятельность. Рассмотрены пути преобразования объекта «Укрытие» в экологически безопасную систему, технические, организационные и правовые стороны деятельности по снятию с эксплуатации энергоблоков Чернобыльской АЭС, вопросы безопасности персонала и населения. Особое внимание уделяется психологическим, политическим, социальным и экономическим моментам ликвидации аварии в Чернобыле, оказанию международной помощи на площадке Чернобыльской АЭС.

В связи с потерей доверия общественности к атомной энергетике от специалистов и ученых требуется терпеливое разъяснение реального положения дел. Сегодня можно сказать, что опыт борьбы с последствиями катастрофы в Чернобыле позволил значительно усовершенствовать систему радиационной защиты персонала и населения, обеспечить готовность к чрезвычайным ситуациям. Проведены многочисленные исследования по влиянию последствий аварии на здоровье человека.

Чернобыльская АЭС успешно прошла фазу ликвидации аварии и в течение длительного времени после нее вносила весомый вклад в производство электроэнергии в Украине. Этого удалось достичь благодаря внедрению мероприятий по повышению безопасности и самоотверженному труду коллектива станции.

Особое место в книге уделяется проблемам развития города Славутича, построенного после

аварии на территории, подвергшейся радиоактивному загрязнению. В Славутиче проживает персонал станции и члены их семей, выполнены крупномасштабные дезактивационные и реабилитационные мероприятия. Не все из них доведены до конца, не все успешны. Тем не менее, город живет и является одним из экологически благополучных в Украине. Авторы, принимавшие непосредственное участие в описываемых событиях, полагают, что история Славутича, проблемы, с которыми столкнулись его жители, близки и понятны жителям многих других населенных пунктов Украины, Беларуси и России, пострадавших от радиоактивного загрязнения, а опыт решения этих проблем будет полезен для всех, кто имеет отношение к принятию решений и оценке радиационных последствий.

Ущерб – моральный, физический, материальный, нанесенный процессом массового переселения людей с радиоактивно загрязненных территорий как каждому лицу в отдельности, так и в рамках всего государства, трудно выразить какими-либо цифрами. Какие бы ни создавались на новых местах проживания условия, они сопровождались разрушением жизненного и социального уклада. Пределы радиационных величин, использованные для переселения, были гораздо ниже реальных доз облучения во многих регионах мира. Массовое переселение вызвало радиофобию с психосоматическими последствиями у большинства населения страны. В книге показано, как люди, заинтересованные не на словах, а на деле в ликвидации последствий чернобыльской аварии, сделали место своего проживания экологически чистым и безопасным.

При подготовке этого издания авторы пытались учесть последние данные и публикации по проблемам Чернобыля. Поскольку охватить полный круг вопросов, связанных с аварией и пре-

одолением ее последствий, в одной книге крайне сложно, акцент сделан на наиболее актуальных в настоящее время. Использованные статьи, книги, интервью, отчеты о научных работах, данные официальной статистики и другие источники приведены в списке литературы. Некоторые положения и материалы, освещаемые в данной книге, могут носить спорный или неоднозначный характер. Объективные предложения и обоснованные замечания будут с признательностью восприняты. Просьба направлять их по адресу: Государственный научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности, ул. Василя Стуса, 35/37, Киев, 03142.

Авторы выражают признательность сотрудникам Государственного специализированного предприятия «Чернобыльская АЭС» Сейде В. А., Шеферу К. Л. и Штейну С. М., специалистам Государственного научно-технического центра по ядерной и радиационной безопасности Государственного комитета ядерного регулирования Украины Богораду В. И., Двоеглазову А. М., Кондратьеву С. Н., вице-президенту Украинского ядерного общества Барбашеву С. В. за предоставленные информационные и фотографические материалы, а также Толкачу Е. П. за техническую помощь в подготовке книги.

В книге использованы фотографии специального корреспондента АПН Костина И. Ф. из фотоальбома «Чернобыль: Сповідь репортера». (К.: Мистецтво, 2002).

Авторы благодарят рецензентов – академика НАН Украины, проф. Барьяхтара В. Г. и академика-секретаря отделения физико-технических проблем энергетики НАН Украины, академика НАН Украины, проф. Стогния Б. С. за ценные замечания по рукописи книги, которые учтены при подготовке ее окончательной редакции.

Перечень сокращений

- АЭС – атомная электрическая станция
- ВВЭР – водо-водяной энергетический реактор
- ВОЗ – Всемирная организация здравоохранения
- ГСП ЧАЭС – Государственное специализированное предприятие «Чернобыльская атомная электростанция»
- ГУП – группа управления проектом
- ЕБРР – Европейский банк реконструкции и развития
- МАГАТЭ – Международное агентство по атомной энергии
- МКРЗ – Международная комиссия по радиационной защите
- НМКРЗ – Национальный комитет по радиационной защите
- ОЯТ – отработавшее ядерное топливо
- РАО – радиоактивные отходы
- РБМК – реактор большой мощности канальный
- ХОЯТ – хранилище отработавшего ядерного топлива
- ХЖТО – хранилище жидких и твердых радиоактивных отходов
- ХЖО – хранилище жидких отходов
- ХТО – хранилище твердых отходов
- INPRO – Innovative Nuclear Reactors and Fuel Cycles Programme (Международная программа по инновационным ядерным реакторам и топливным циклам)
- SIP – Shelter Implementation Plan (план реализации мероприятий на объекте «Укрытие»)

Введение

Авария, произошедшая 26 апреля 1986 г. на четвертом энергоблоке Чернобыльской АЭС, классифицируется по международной шкале ядерных инцидентов как тяжёлая авария самого высокого, седьмого уровня. В ее результате полностью разрушена активная зона реакторной установки и выброшено в окружающую природную среду огромное количество радиоактивных веществ. Многие сотрудники из числа эксплуатационного персонала и пожарной охраны атомной станции получили значительные дозы облучения. Из районов Украины, Беларуси и России, подвергшихся радиоактивному загрязнению, эвакуировано около 300 тысяч человек. Радиоактивные выпадения были зарегистрированы во всех европейских странах северного полушария, в Канаде, Японии и США.

Авария на энергоблоке № 4 Чернобыльской АЭС в 1986 г. стала препятствием продвижению ядерных энергетических технологий на мировом энергетическом рынке и заставила критически переоценить уровень безопасности всех действующих и строящихся АЭС во всем мире. Реакция общественности на последствия этой аварии вынудила некоторые страны принять моратории на дальнейшее развитие ядерной энергетики.

После аварии на Чернобыльской АЭС на всех действующих энергоблоках советской конструкции были осуществлены технические мероприятия, существенно повышающие уровень их безопасности: ужесточены требования к эксплуатационному персоналу; проведено дополнительное обучение операторов; пересмотрены требования регламентов эксплуатации. Энергоблоки АЭС оснащены усовершенствованными системами безопасности, диагностическими

системами контроля состояния металла, трубопроводов и оборудования, оперативными системами диагностики и системами поддержки операторов, позволяющими предвидеть возможные аварийные ситуации и своевременно принимать меры по их предотвращению.

Авария привела к человеческим жертвам, тяжким экологическим, экономическим, медицинским и социальным последствиям. И хотя радиационное воздействие на население было в целом незначительным, человечество стало острее осознавать угрозу, связанную с использованием ядерной энергии.

С момента аварии Чернобыльская АЭС находится под пристальным вниманием общественности, средств массовой информации, инженерных и научных кругов, правительства Украины и других государств. Прошло уже двадцать лет после аварии на Чернобыльской АЭС – срок, достаточный для реалистической оценки последствий как самой аварии, так и тех мероприятий, которые осуществлялись при ее ликвидации. Изучением последствий в Чернобыле занималось огромное количество научных организаций, выполнено множество международных программ; результаты проведенных исследований представлены в научных публикациях, докладах на конференциях и семинарах. Тем не менее, наряду с объективными данными распространяются и заведомо ложные (о многочисленных жертвах, радиоактивных монстрах, мутантах). В публикациях, выступлениях представителей различных общественных движений и партий дается не всегда объективная оценка состоянию дел и проблем, связанных с Чернобыльской АЭС. Необоснованные заявления о нане-

сении жителям территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению, огромного вреда их здоровью привели к росту числа психических и других заболеваний, не имеющих отношения к облучению. Без должного обоснования миллионы людей стали рассматриваться как жертвы аварии, которым, в соответствии с принятым законодательством, положены материальные льготы и компенсации.

В последние годы человеческий страх эксплуатируют многие, преследуя различные цели и сея в людских душах ужас перед озоновой дырой, геомагнитными бурями, солнечной активностью, пагубным влиянием Чернобыля. Порой обсуждение научных проблем переходит в плоскость наукообразных. Например, звучат утверждения, что проблема «Саркофага» Чернобыльской АЭС может быть решена достаточно «просто»: нужно переместить опасный объект в космос с помощью сил некоего специального поля, а поскольку космос еще не готов принять это «порождение дьявола», требуются дополнительные исследования и, естественно, их финансирование.

Противники развития атомной энергетики и других ядерных технологий распространяют слухи об их чрезвычайной опасности для человечества, обвиняя власти в сокрытии тяжких последствий чернобыльской аварии в виде увеличения показателей смертности, заболеваемости, числа ослабленных и больных новорожденных, генетических нарушений и врожденных пороков развития, психических и раковых заболеваний, нарушений умственного развития и т. п. По некоторым материалам, у части населения, проживающего на загрязненных территориях, наблюдались обусловленные непосредственно радиационным фактором выпадение волос и зубов, предрасположенность к кровотечениям, прибавление в весе и т. п. Знакомому только с азами радиобиологии и радиационной медицины очевидно, насколько такие данные противоречат данным мировой науки. Фотография бычка с шестью ногами обошла практиче-

ски все средства массовой информации: Источниками подобных сенсаций часто оказывались известные, наделенные степенями и званиями авторитеты от науки и политики, благодаря чему исходящая из их уст информация приобретала особую достоверность. При этом авторы забывали упомянуть, что аномалии в развитии живого организма, включая человека, имели место и до начала эры использования ядерных технологий, а возможно, не знали о существовании экспонатов, собранных еще в петровские времена и выставленных в знаменитой кунсткамере в Санкт-Петербурге.

Во время процедуры закрытия Чернобыльской АЭС украинское телевидение сообщило о 300 тысячах больных острой лучевой болезнью, тогда как такой диагноз был поставлен только 134 пострадавшим. Распространение подобных страхов нагнетает радиофобию в обществе. На самом деле разнообразная психосоматическая патология, которой во многих работах приписывали радиационную природу, связана с вредным влиянием множества нерадиационных факторов аварии: социальным неблагополучием, неполноценным питанием, бытовой и профессиональной неустroенностью, состоянием длительного стресса, вызванного неоправданным ожиданием массовой онкологической заболеваемости и страшных генетических последствий.

Примечательно, что среди прочих природных и техногенных катастроф люди чаще всего вспоминают не землетрясения, цунами, взрывы, выбросы ядовитых веществ, принесшие тысячи жертв, а аварии на АЭС «Three Mile Island» (США) и в Чернобыле. Одна из причин этого явления – неправильное понимание воздействия ионизирующих излучений на организм человека. Поэтому авторы в предлагаемой книге постарались в доступной форме изложить не только технические аспекты аварий на Чернобыльской АЭС, но и реальное состояние радиационной безопасности населения после аварий с учетом мероприятий по повышению уровня безопасности, выполненных на всех АЭС.

Отношение общественности к атомной энергетике не всегда было сугубо негативным. В период появления первых АЭС достижения отечественной науки и техники рождали чувство гордости. По мере того, как атомная энергетика утверждала себя в качестве все более важного фактора социально-экономического развития, взгляды на нее становились неоднозначными. Аварии на АЭС вызвали серьезные опасения за неблагоприятные воздействия атомной энергетики на окружающую среду и человека. Авария в Чернобыле показала несостоятельность официальных утверждений относительно безопасности атомной энергетики. Несмотря на то, что число непосредственных жертв аварии в Чернобыле было невелико, долгосрочные последствия оказались серьезными.

В настоящее время в большинстве стран общество крайне отрицательно относится к идее развития атомной энергетики и выражает недоверие специалистам и политикам, оказывающим поддержку программам ее развития*. Распространено мнение, что длительное воздействие незначительных доз радиации, связанное с эксплуатацией АЭС, вредно для лиц, постоянно соприкасающихся с оборудованием АЭС, и для населения, проживающего в непосредственной близости от станций; что безопасных доз радиации вообще не существует, а риск малых доз радиации состоит в том, что люди, подвергшиеся ее долговременному воздействию, могут начать страдать неизлечимыми болезнями. И хотя прямые доказательства непосредственной связи между эксплуатацией АЭС и количеством раковых заболеваний в местах расположения АЭС отсутствуют, а уровень сбросов и

выбросов радиоактивных веществ в окружающую среду жестко регулируется законодательством, находится под постоянным контролем специальных государственных органов регулирования ядерной и радиационной безопасности и составляет малый процент от уровня естественного радиационного фона, идет активная борьба против развития ядерных технологий. Одним из критериев, по которому общественность судит сегодня о целесообразности и возможности использования атомной энергетики, является вероятность повышения радиационного воздействия в результате деятельности АЭС до уровня, который может угрожать здоровью человека и окружающей среде.

Неблагоприятная социальная позиция формируется неспособностью атомной отрасли окончательно решить проблему переработки и захоронения радиоактивных отходов (РАО), в частности преобразовать объект «Укрытие» в экологически безопасную систему. Чтобы изменить ее, мир должен не только услышать политические заявления, но и увидеть практические результаты интеграции научных знаний, технических и инженерных решений по предотвращению аварий на АЭС и ликвидации последствий аварий, если они все-таки произошли.

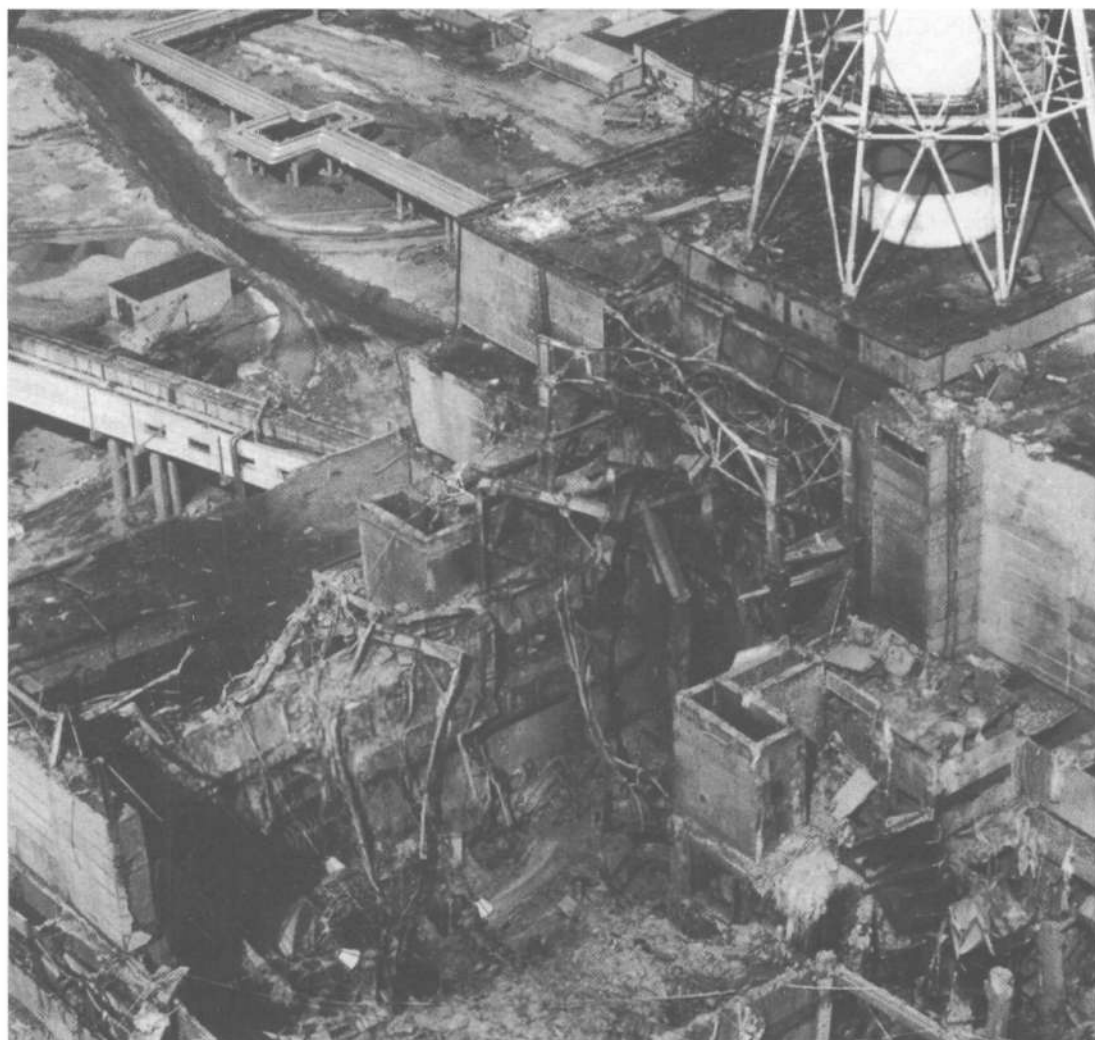
Авария на Чернобыльской АЭС и озабоченность общественности возможностью катастрофических последствий аварий на АЭС стимулировали работы по повышению безопасности существующих в мире реакторных установок, а также по созданию так называемых реакторов с внутренне присущей безопасностью, в которых безопасность использования ядерных технологий обеспечивается конструкторским решением, блокирующим активное вмешательство в работу реактора вспомогательных инженерных устройств или операторов.

Двадцатая годовщина аварии на Чернобыльской АЭС – событие, которому посвящается анализ причин как самой аварии, так и опыта ликвидации ее последствий путем обобщения накопленной за этот период информации.

* Как утверждал Гейзенберг, существуют вещи настолько серьезные, что о них можно только шутить. В свете этого процитируем «закон публичной политики» Макклаффри: «Политиков, голосующих за колоссальные финансовые расходы для смягчения остроты проблем, избирают вновь и вновь; политики, предлагающие структурные изменения для предотвращения проблем, рано уходят в отставку».

Часть I

ИСТОРИЧЕСКАЯ



Глава 1. АВАРИЯ НА ЧЕТВЕРТОМ ЭНЕРГБЛОКЕ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АТОМНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

1.1. ИСТОРИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АТОМНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Стратегическими планами Советского правительства по развитию ядерной энергетики предусматривалось к 1977 г. ввести в действие энергетические мощности в размере 11,9 млн кВт, в том числе с реакторами РБМК – 8 млн кВт. Одна из АЭС должна была компенсировать дефицит электроэнергии в Центральном энергетическом районе – самом крупном в Объединенной энергетической системе Советского Союза.

Ввод в действие 1-го энергоблока такой АЭС планировался в 1974 г., 2-го энергоблока – в 1975 г. С целью выбора пригодной и наиболее подходящей площадки для размещения АЭС в 1966 г. Киевским отделением проектного института «Теплоэлектропроект» проводится обследование 16 пунктов в Киевской, Винницкой и Житомирской областях. В начале 1967 г. принимается решение о строительстве АЭС недалеко от г. Чернобыля Киевской обл. Будущую станцию называли Чернобыльской.

Площадку выбирают в 4 км от с. Копачи Чернобыльского района, на правом берегу р. Припяти, с учетом:

- малонаселенности территории в зоне расположения АЭС;

- наличия р. Припяти как значимого источника водоснабжения;

*... Случайностей ведь нет.
Что кажется подчас лишь случаем слепым,
То рождено источником глубоким.*

Фр. ШИЛЛЕР

- малой продуктивности отчуждаемых земель;

- близости железнодорожной магистрали; развитой сети автомобильных дорог с твердым покрытием;

- благоприятных географических, климатических и других условий.

Промышленная площадка Чернобыльской АЭС расположена в восточной части региона, именуемого Белорусско-Украинским Полесьем, в 150 км северо-восточнее Киева и в 18 км северо-западнее Чернобыля.

По своему рельефу, климату, растительному покрову район однороден. Рельеф представляет собой слегка пологоволнистую равнину с обширными массивами лесов и болот, расчлененную речными долинами, с небольшими уклонами поверхности в сторону рек и их притоков. Грунты песчаные, супесчаные, в поймах рек торфяные, в сухом состоянии пылят. Толщина плодородного слоя – 10...15 см.

Географическая обстановка определяется, в основном, наличием крупных водных бассейнов: р. Днепра, р. Припяти, Киевского водохранилища. Большинство небольших рек имеют низкие берега и заболоченные поймы. Земляные работы затруднены из-за сильной обводненности грунта. Водоносный горизонт, который используется для хозяйственно-питьевого водоснабжения, находится на глубине 10–15 м относительно уровня р. Припяти. Метеорологические условия района характеризуются

преобладанием западных и северо-западных ветров со скоростью 3–5 м/с.

Чернобыльская АЭС проектируется в 1960-е годы. Проектом предусматривается возведение шести энергоблоков электрической мощностью каждого 1000 МВт с уран-графитовыми реакторами большой мощности канальными (РБМК). На первых двух энергоблоках Чернобыльской АЭС применяются реакторные установки первого поколения с небольшими усовершенствованиями по сравнению с первыми двумя энергоблоками Ленинградской АЭС – головными в серии АЭС такого типа реакторов; на третьем и последующих блоках – реакторные установки второго поколения, с более развитыми системами безопасности.

Кроме Чернобыльской АЭС, в настоящее время в мире существуют еще четыре атомных электростанции, имеющие 16 энергоблоков с реакторами типа РБМК. Три из них – в Российской Федерации:

Ленинградская АЭС – четыре энергоблока с реакторами РБМК-1000. Расположена в 60 км от Санкт-Петербурга. Использует для технологических нужд воду Финского залива Балтийского моря. Первый энергоблок принят в эксплуатацию в 1973 г.;

Курская АЭС – пять энергоблоков с реакторами РБМК-1000. Расположена в 60 км от границы Украины. Использует для технологических нужд воду из р. Сейм, впадающей в р. Десну. Первый энергоблок принят в эксплуатацию в 1976 г.;

Смоленская АЭС – три энергоблока с реакторами РБМК-1000. Расположена на расстоянии 200 км от границы Украины. Использует для технологических нужд воду из притока Днепра – р. Десны. Первый энергоблок принят в эксплуатацию в 1982 г.

Игналинская АЭС (Литва) имеет в составе два энергоблока с самыми мощными в мире ре-

акторами РБМК-1500. АЭС расположена на расстоянии 400 км от границы Украины и использует для технологических нужд воду из озера Дружский, расположенного на территории трех государств – Литвы, Латвии, Беларуси. В настоящее время первый энергоблок Игналинской АЭС остановлен и находится на этапе подготовки к снятию с эксплуатации.

Разработка проектного задания на строительство первых двух блоков Чернобыльской АЭС мощностью по 1000 МВт поручается Уральскому отделению института «Теплоэлектропроект». Проектное задание разрабатывается в трех вариантах, с применением: 1) реактора РБМК-1000; 2) газогрифового реактора; 3) водо-водяного энергетического реактора ВВЭР-1000. Согласно проектному заданию технико-экономические показатели первого из рассматриваемых вариантов самые низкие, но состояние разработок и возможность поставок оборудования наиболее благоприятные. В дальнейшем генеральным проектировщиком Чернобыльской АЭС назначается институт «Гидропроект».

Проект реакторного отделения первой очереди Чернобыльской АЭС из двух энергоблоков выполняет Всесоюзный научно-исследовательский проектный институт энергетической технологии (ВНИПИЭТ) Министерства среднего машиностроения СССР.

Как базовый для Чернобыльской АЭС принимается энергоблок с РБМК-1000 электрической мощностью 1000 МВт – гетерогенный канальный реактор на тепловых нейтронах, в котором в качестве замедлителя используется графит, а в качестве теплоносителя – вода. Чернобыльская АЭС становится третьей станцией с реакторами типа РБМК-1000 после Ленинградской и Курской АЭС.

Принципиальная особенность конструкции канальных реакторов – отсутствие специального прочного корпуса, свойственного реакторам типа ВВЭР. Серийное изготовление уникальных высокопрочных корпусов больших размеров сдерживалось в те годы отсутствием необходимых производственных мощностей. В этих условиях строительство канальных реакторов позволяло обеспечить быстрое развитие атомной энергетики (поскольку для их сооружения не требовались реакторные корпуса), достичь большую электрическую мощность одного блока 1000 кВт, а затем и 1500 МВт. Кроме того, РБМК позволяет перегружать ядерное топливо без остановки реактора, что повышает коэффициент использования его мощности. Важно и то, что максимальная мощность реакторов типа ВВЭР определялась, в первую очередь, именно размерами корпуса, способного выдерживать большие давления и, в то же время, допускавшего возможность его перевозки по железной дороге. Подготовленные к реализации на тот период проекты ВВЭР ограничивались мощностями энергоблоков 440 МВт, и только к 1980 г. достигли 1000 МВт.

При проектировании Чернобыльской АЭС применяется одноконтурная технологическая схема, построенная по блочному принципу «дубль блока»: реактор – две турбины без поперечных связей по пару и питательной воде. В соответствии с этим при сооружении первых двух энергоблоков Чернобыльской АЭС на площадке возводится главный корпус с двумя РБМК-1000 и машинным залом с четырьмя турбинами и четырьмя турбогенераторами электрической мощностью 500 МВт каждый.

Главный корпус 3-го и 4-го энергоблоков Чернобыльской АЭС состоял из ма-

шинного зала, деаэрационной этажерки, реакторных отделений энергоблоков, блока спецводоочистки, блока вспомогательных систем.

Компоновка машинного зала выполнена с продольным расположением четырех турбоагрегатов – по два турбогенератора на один энергетический блок.

В реакторных отделениях станции, кроме собственно реакторных установок с контурами многократной принудительной циркуляции, расположены технологические системы, обеспечивающие работу реакторов в нормальных и аварийных режимах работы. Все оборудование с радиоактивными средами установлено в помещениях с биологической защитой.

Контур многократной принудительной циркуляции реактора размещен в прочно-плотных боксах системы локализации аварий, рассчитанных на избыточное давление, возникающее при максимальной проектной аварии, в качестве которой был принят мгновенный поперечный разрыв напорного коллектора, отходящего от главных циркуляционных насосов. Помещения под реактором и помещения нижних водяных коммуникаций рассчитаны на избыточное давление, образующееся при разрыве раздаточного группового коллектора. Под реактором находится бассейн-барботер системы локализации аварий. Между собой они разделены мощными перекрытиями.

В деаэрационной этажерке, между машинным залом и реакторными отделениями, расположены:

деаэраторы и трубопроводы связи оборудования машинного зала и реакторных отделений;

блочные щиты управления, центральный и резервный щиты управления, щит дозиметрического контроля, распределен-

тельные устройства собственных нужд, парогенераторы и сетевые подогреватели системы теплоснабжения.

Машинный зал и деаэрационная этажерка с транспортным коридором образуют единый строительный объем – пространственную рамную систему, состоящую из плоских многоэтажных рам. Колонны машинного зала – металлические, сварные. Фундаментные плиты – монолитные, железобетонные. Наружные и внутренние стены, перекрытия нижней части здания выполнены из сборно-монолитного железобетона. Верхняя часть стен здания каркасно-панельная, за исключением центра, где расположены шахты реактора и опускных трубопроводов, а также строительных конструкций, на которые установлена металлическая вентиляционная труба, – они сборно-монолитные. Каркас деаэрационной этажерки выполнен из сборных железобетонных элементов. Стены деаэрационной этажерки играют роль биологической защиты. Кровельное покрытие изготовлено из плоских сборных керамзитобетонных плит и рулонного рубероида.

В блоке спецводоочистки, расположенном между реакторными блоками, размещены: основные и вспомогательные системы спецводоочистки, общие для двух блоков; мастерская по ремонту радиоактивно загрязненного оборудования; установки очистки воздуха, удаляемого из помещений АЭС; установки подавления активности газоаэрозольных выбросов; узлы гидробаллонов – быстродействующая часть системы аварийного охлаждения реактора; насосы охлаждения неаварийной половины реактора с баками запаса химически обессоленной воды, установленными вне здания; установки очистки бассейна-барботера, накопления и предварительной очист-

ки трапных вод; радиохимическая лаборатория и другие системы. Технологические системы блока предназначены для обеспечения работы ядерной установки как в нормальных, так и в аварийных режимах эксплуатации.

Хранилище жидких и твердых радиоактивных отходов, предназначенное для хранения и переработки отходов, соединяется с главным корпусом закрытой одноярусной транспортно-технологической надземной галереей, совмещенной с коробом спецвентиляции, присоединяемым к вентиляционной трубе высотой 150 м. В основании вентиляционной трубы помещен газгольдер выдержки.

Активная зона РБМК-1000 представляет собой цилиндрическую графитовую кладку диаметром 11,8 м и высотой 7 м, которую пронизывает 1661 вертикальный канал диаметром 80 мм из циркониевого сплава. Внутри каналов находятся органы управления реактором и тепловыделяющие сборки, содержащие 18 стержневых тепловыделяющих элементов из двуокиси урана в оболочке из циркониевого сплава.

Поступающая снизу в реактор вода проходит по каналам с ядерным топливом и нагревается до кипения. Образовавшийся пар после сепарации поступает непосредственно на турбину, а затем в конденсатор, после чего с помощью насосов конденсат возвращается в реактор. Такая схема называется одноконтурной и является типичной для реакторов с кипящим теплоносителем. Особенность канальных реакторов – индивидуальный подвод воды и отвод пароводяной смеси для каждого канала. В РБМК-1000 эти каналы сгруппированы в два независимых друг от друга контура, каждый из которых охватывает половину реактора.

РБМК-1000 – кипящий реактор с графитовым замедлителем. Он работает на обогащенном до 2–2,5 % уране-235 – топливе, являющемся двуокисью урана, – с прямой подачей пара на турбины без промежуточного теплообменника. Вода закачивается в нижнюю часть топливных каналов и по трубам давления подает пар, который вращает две электрические турбины мощностью 500 МВт каждая. Вода служит в качестве охлаждающей жидкости и источника пара, который вращает турбины. Специально разработанный механизм замены ядерного топлива создает условия для подачи свежего топлива без остановки реактора.

Графит – замедлитель, функция которого состоит в снижении скорости нейтронов и повышении их эффективности для обеспечения расщепления ядерного топлива. Между графитовыми блоками циркулирует смесь водорода и гелия, что предотвращает окисление графита и улучшает передачу производимого тепла. Мощность реактора регулируется 211 стержнями, поглощающими нейтроны. Тепловая мощность реактора – 3200 МВт, а электрическая – 1000 МВт.

Научным руководителем проекта РБМК-1000 был назначен Институт атомной энергии им. И. В. Курчатова, а главным конструктором – Научно-исследовательский и конструкторский институт энерготехники (НИКИЭТ).

В мае 1970 г. строители приступают к подготовке котлована под первый энергоблок. В июле 1971 г. завершается строительство линии передачи электрической энергии для Чернобыльской АЭС.

15 августа 1972 г. в 11 часов утра в основание главного корпуса закладывается первый кубометр бетона, а 1 августа 1977 г.

в 20 ч 10 мин – загружается первая сборка с ядерным топливом.

26 сентября 1977 г. включается в сеть один турбогенератор 1-го блока Чернобыльской АЭС – этот день считается днем рождения атомной энергетики Украины. А уже 2 ноября этого же года включается в сеть второй турбогенератор.

21 декабря 1978 г. вводится в эксплуатацию 2-й энергоблок, 3 декабря 1981 г. осуществляется энергетический пуск 3-го энергоблока и 21 декабря 1983 г. – 4-го энергоблока Чернобыльской АЭС.

Площадка АЭС расположена в пределах санитарно-защитной зоны, ограниченной окружностью радиусом 3 км, описанной вокруг оси вентиляционной трубы. Генплан станции предусматривает рациональное расположение всех зданий и сооружений с учетом организации внутривозвратного технологического транспорта: автомобильного, железнодорожного, наземных и подземных коммуникаций. Размещение и компоновка производственных зданий и сооружений соответствуют основному санитарно-гигиеническому принципу проектирования АЭС – делению всей территории, зданий и помещений станции на зоны строгого и свободного режимов.

Зона строгого режима включает территорию, здания и помещения станции, в которых возможно воздействие на персонал радиационных факторов. Персонал допускается сюда только через специальную систему санитарных барьеров – санпропускник.

В зоне свободного режима при нормальных условиях работы оборудования воздействие радиационных факторов полностью исключено.

В зоне строгого режима все помещения разделены на обслуживаемые, полубобслу-

живаемые и необслуживаемые. В обслуживаемых помещениях влияние радиационных факторов на персонал за шестичасовой рабочий день не превышает допустимых норм. В полубслуживаемые помещения персонал допускается периодически, на время, исключающее облучение персонала выше контрольных уровней. В необслуживаемые помещения при работающем оборудовании персонал допускается по специальным разрешениям.

Склад свежего топлива и хранилище отработавшего ядерного топлива расположены в отдельных зданиях и имеют подъездные железнодорожные пути.

В дизель-генераторной станции энергоблоков № 1 и № 2, предназначенной для резервирования питания особо ответственных потребителей, установлено 8 агрегатов мощностью по 3,5 тыс. кВт каждый, а в дизель-генераторной станции энергоблоков № 3 и № 4 — 6 агрегатов по 5,5 тыс. кВт.

Для Чернобыльской АЭС принята оборотная схема технического водоснабжения с наливным *прудом-охладителем* вместимостью 98 млн м³, площадью зеркала около 22,9 км². Заполнение и подпитка пруда осуществляются из р. Припяти насосной станцией подпитки. Из пруда-охладителя вода открытым каналом подводится к двум насосным станциям технического водоснабжения, расположенным перед фасадом главного корпуса со стороны машинного зала. Вода из конденсаторов и теплообменников реакторной установки сливается в закрытый пристанционный узел, откуда по дюкеру, пересекающему подводящий канал, и далее открытым отводящим каналом сбрасывается в пруд-охладитель.

Тепловая схема блока, включающего реактор и две турбоустановки, является одноконтурной, что означает непосред-

ственное поступление в турбины пара, генерируемого в реакторе. Теплоноситель, реализующий отвод тепла от тепловыделяющих сборок и графитовой кладки реактора, — вода.

Принудительно циркулируя через технологические каналы реактора, вода нагревается до температуры насыщения и частично испаряется. От каждого технологического канала индивидуальными пароводящими коммуникациями смесь подается в барабан-сепаратор, где разделяется на две фазы: пар и воду. Пар направляется по главным паропроводам к турбинам, а отсепарированная вода опускными трубами возвращается во всасывающие коллекторы главных циркуляционных насосов, осуществляющих ее многократную принудительную циркуляцию через реактор.

Поступающий к турбинам пар последовательно проходит через блоки клапанов парораспределения и цилиндр высокого давления, откуда направляется в сепараторы-пароперегреватели, где из него удаляется влага и производится двухступенчатый паро-паровой перегрев. Далее пар поступает в цилиндры низкого давления, а затем в конденсаторы, где расширяется. Оттуда конденсат через охладители основных эжекторов, эжекторов уплотнений и систему конденсатоочистки подается в деаэраторы. Конденсат греющего пара сливается в конденсаторы турбин.

Практически одновременно со строительством Чернобыльской АЭС начинается строительство г. Припяти (4 февраля 1970 г.) для проживания в нем сотрудников станции и членов их семей. Площадка выбрана южнее с. Семиходы, определяющими факторами чего явились близость железнодорожной станции, наличие реки и автотрассы.

Возведению образовательных и спортивных учреждений уделялось особое внимание, ведь средний возраст жителей города составлял двадцать шесть лет. Ежегодно здесь рождалось более тысячи детей. В июне 1971 г. рабочая комиссия принимает первый 90-квартирный дом. В августе этого же года вступают в эксплуатацию инженерные сооружения города: пусковой комплекс водоснабжения, канализации и технического водоснабжения. В декабре 1972 г. появляется первая школа. К 1986 г. в городе сооружены Дворец культуры, кинотеатр, гостиница, четыре библиотеки, школа искусств с концертным залом, комплекс медицинских сооружений, средние общеобразовательные школы, профтехучилище, спортивный комплекс. Действует филиал Куйбышевского всесоюзного заочного энергостроительного техникума. Создана широкая сеть бытовых учреждений, столовых, кафе, магазинов, построено свыше десятка детских садов.

Строительство 5-го и 6-го энергоблоков Чернобыльской АЭС, аналогичных по своей конструкции 3-му и 4-му энергоблокам, начинается в 1981 г. Пуск 5-го энергоблока намечается на конец 1986 г., но после аварии 1986 г. строительство останавливается. Впоследствии принимается решение не возобновлять строительство 5-го и 6-го энергоблоков Чернобыльской АЭС.

1.2. ПРИЧИНЫ АВАРИИ

Энергоблок № 4 Чернобыльской АЭС было предусмотрено остановить на плановый ремонт 25 апреля 1986 г. В связи с этим принимается решение провести испытание, в ходе которого проверить способность оборудования станции выдавать не-

обходимую электроэнергию для работы системы расхолаживания активной зоны реактора и оборудования систем защиты с момента отключения основной системы энергоснабжения до момента включения резервного питания от дизельных агрегатов.

В результате нескоординированности действий и недостаточного уровня культуры безопасности сотрудников станции операторы выполняют ряд операций, не соответствовавших установленным инструкциям по безопасности и создавших потенциально опасную ситуацию. Ситуация усугубляется серьезными недостатками в конструкции реактора, что делает ядерную установку потенциально неустойчивой и может легко привести к аварии в случае ошибок операторов. Сочетание этих факторов вызывает резкое усиление энергетического поля, что приводит к практически полному разрушению реактора. Последствия этого события в дальнейшем осложняются пожаром, охватившим графитовую кладку реактора и другие материалы, который начинается в здании и порождает выброс радиоактивных материалов в окружающую среду.

Авария на энергоблоке № 4 Чернобыльской АЭС произошла 26 апреля 1986 г. в 01 ч 23 мин 40 с в ходе проведения проектных испытаний одной из систем обеспечения безопасности, входящей в состав энергоблока с РБМК-1000. Данная система безопасности предусматривала использование механической энергии вращения останавливающихся турбогенераторов для выработки электроэнергии в условиях наложения двух аварийных ситуаций. Одна из них — полная потеря электроснабжения АЭС, в том числе насосов теплоносителя и насосов системы аварийного охлаждения

реактора; другая – максимальная проектная авария, в качестве которой рассматривается разрыв трубопровода большого диаметра циркуляционного контура реактора.

По программе испытаний при отключении внешнего электропитания электроэнергия, вырабатываемая турбогенераторами за счет выбега, подается для запусков насосов системы аварийного охлаждения реактора, что обеспечивает гарантированное охлаждение реактора. Предложение об использовании выбега генератора исходило от главного конструктора РБМК и было включено в проекты строительства АЭС с реакторами такого типа. Однако энергоблок № 4 Чернобыльской АЭС, как и другие энергоблоки с РБМК, принимался в эксплуатацию без опробования этого режима, хотя такие испытания должны являться составной частью предэксплуатационных испытаний основных проектных режимов энергоблока. Ни на одной, кроме Чернобыльской, АЭС с реакторами РБМК-1000 после ввода их в эксплуатацию проектные испытания по использованию выбега генератора не проводились.

Подобные испытания на энергоблоке № 3 Чернобыльской АЭС, состоявшиеся в 1982 г., показали, что требования по характеристикам электрического тока, вырабатываемого за счет выбега турбины, в течение заданного времени не выдерживаются, и необходима доработка системы регулирования возбуждения турбогенератора. Дополнительные испытания с модернизированной системой проводились в 1984 и 1985 гг. При этом моделирование аварийной ситуации предусматривалось при отключенной ручными задвижками системе аварийного охлаждения реактора.

Испытания на 4-м энергоблоке намечались на 25 апреля 1986 г. в дневное время,

при тепловой мощности реактора 700 МВт, до остановки реактора для выполнения плановых ремонтных работ. Следует отметить, что программа испытаний соответствовала действовавшим на тот момент требованиям. Они должны были проводиться в режиме пониженной мощности, для которого характерны повышенный, по сравнению с номинальным, расход теплоносителя через реактор, незначительный недогрев теплоносителя до температуры кипения на входе в активную зону и минимальное паросодержание. Эти факторы оказали прямое влияние на масштаб аварии.

В соответствии с запланированной программой нужно было отключить аварийную систему охлаждения активной зоны реактора, которая обеспечивала подачу воды для охлаждения ядерного топлива в аварийных ситуациях. По мере продолжения процедуры отключения реактора последний работал примерно на половинной мощности, и диспетчер энергосистемы не дал разрешения на дальнейшее уменьшение мощности реактора. В соответствии с программой испытания примерно через час после этого система аварийного охлаждения активной зоны реактора была отключена, в то время как реактор продолжал работать на 50-процентном уровне мощности. Только примерно в 23.00 25 апреля диспетчер энергосистемы дал разрешение на дальнейшее уменьшение мощности реактора.

Для проведения испытания реактор должен был стабилизироваться на тепловой мощности примерно в 1000 МВт, однако из-за ошибки, которая возникла в ходе эксплуатации, мощность реактора упала до 30 МВт. Операторы попытались поднять мощность до 700–1000 МВт, отключив автоматические регуляторы и высвободив

все контрольные стержни вручную. Только примерно в час ночи 26 апреля реактор застабилизировался на уровне примерно в 200 МВт. Хотя в условиях эксплуатации ядерного реактора технологическим регламентом устанавливалось требование о наличии в его активной зоне не менее 30 регулирующих стержней, в ходе эксперимента было задействовано только 6–8 регулирующих стержней. Большинство стержней извлекли из активной зоны с целью компенсации процесса отравления реактора. Несмотря на это принимается решение продолжить программу испытаний.

В результате увеличения потока теплоносителя давление пара падает. Автоматическая система, которая отключает реактор при чрезмерно низком давлении пара, была отключена. Для сохранения мощности реактора операторы вынуждены извлечь практически все оставшиеся компенсирующие стержни, после чего реактор приобретает крайнюю нестабильность, и операторам приходится каждые несколько секунд делать корректировки, позволяющие поддерживать постоянную мощность. Примерно в это же время операторы сокращают поток теплоносителя с целью сохранения давления пара. Одновременно насосы, запитанные от останавливающейся турбины, начинают подавать меньший объем теплоносителя через реактор. Потеря теплоносителя усугубила нестабильное состояние реактора и увеличила производительность пара в каналах охлаждения, и операторы уже не смогли предотвратить всплеск энергии, которая, по подсчетам, превосходила номинальную мощность реактора в 100 раз. Неожиданное увеличение производства тепла разрушает часть ядерного топлива, а мельчайшие раскаленные топливные частицы вступают в реакцию с

водой, что приводит к паровому взрыву, уничтожившему активную зону реактора, а также к разрушению кровли здания реакторного отделения.

В 01 ч 23 мин 40 с оператор управления реактором нажимает кнопку ручной аварийной остановки реактора (причина нажатия кнопки достоверно не установлена), и спустя три секунды появляются сигналы аварийных защит по периоду разгона реактора, а также по превышению мощности. В течение приблизительно трех секунд вытеснители аварийных стержней системы управления и защиты реактора при проектной скорости движения стержней 0,4 м/с проходят расстояние 1,2 м и полностью вытесняют столбы воды, расположенные под ними. Срабатывает «эффект вытеснителей», вследствие чего, согласно выполненным расчетам, вводится положительная реактивность и начинается неуправляемый разгон реактора в его нижней части.

Вследствие взрыва происходит выброс раскаленных радиоактивных частиц и графита в атмосферу; разрушенная активная часть реактора остается без защиты. Радиоактивное облако, состоящее из дыма, радиоактивных продуктов деления и частиц ядерного топлива, поднимается в воздух на расстояние до 1 км. Более тяжелые частицы из радиоактивного облака оседают на территорию в непосредственной близости от аварийного реактора, а более легкие компоненты, включая продукты деления и практически весь набор благородных газов, явившихся продуктом аварии, относятся преобладающими ветрами в направлении к северо-западу от атомной электростанции.

На оборудовании и разрушенных конструкциях энергоблока начинается пожар, который вызывает клубы пара и пыли, при-

чем огонь охватывает также крышу турбинного зала, запасы дизельного топлива и горючих материалов. Примерно 100 членов пожарных команд, располагавшихся как на территории АЭС, так и вызванных из г. Припяти, прибыли для тушения возникших пожаров, причем именно эти люди получили наиболее высокие дозы радиоактивного облучения. Пожары потушены к 5.00 того же дня, но в это же время начинается горение графитовой кладки реактора. Интенсивное горение графита становится причиной дисперсии радиоизотопов и продуктов деления, поднявшихся высоко в атмосферу. Выброс продолжается примерно 20 дней, однако его интенсивность значительно снижается на десятый день, когда горение графита удалось, наконец, остановить.

До настоящего времени нет полностью обоснованного, внутренне непротиворечивого сценария аварии. Общепринято подразделять аварийный процесс на две фазы. Первая фаза – от момента срабатывания аварийной защиты в 01 ч 23 мин 40 с до катастрофического разгона мощности и разрушения ядерного топлива, вторая фаза – разрушение топливных элементов, взрыв и разрушение реактора. В принципе следует рассматривать и третью фазу – процессы, происходящие в ядерном топливе после взрыва с 26 апреля по 6 мая 1986 г., поскольку они обусловили суммарный выброс радионуклидов.

Специалистами Института атомной энергии им. И. В. Курчатова в 1986 г. выполняется анализ возможных версий аварии, в соответствии с которыми могла бы быстро и значительно увеличиться реактивность. Анализ строится на выявлении противоречий между ожидаемым эффектом рассматриваемой аварии и имеющими-

ся данными, зафиксированными измерительными приборами на Чернобыльской АЭС. В перечень этих версий входят:

- взрыв водорода в бассейне-барботере;
- взрыв водорода в нижнем баке контура охлаждения системы управления и защиты реактора;

- диверсия – взрыв заряда с разрушением трубопроводов контура первичного теплоносителя;

- разрыв напорного коллектора главного циркуляционного насоса или раздаточного группового коллектора;

- разрыв барабан-сепаратора или пароводяных коммуникаций;

- «эффект вытеснителей» стержней системы управления и защиты реактора;

- неисправность аварийного регулирования;

- грубая ошибка персонала при управлении реактором;

- кавитация насосов теплоносителя, приводящая к подаче пароводяной смеси в технологические каналы;

- кавитация на дроссельно-регулирующих клапанах;

- захват пара из барабан-сепараторов в опускные трубопроводы;

- пароциркониевая реакция и взрыв водорода в активной зоне;

- попадание сжатого газа из баллонов системы аварийного охлаждения реактора.

При проведении анализа было доказано, что все перечисленные версии, кроме одной – «эффекта вытеснителей» стержней системы управления и защиты реактора, – противоречат имеющимся объективным данным. Следует отметить, что уже в первой официальной версии аварии приводится один из основных конструктивных недостатков РБМК – большой положительный паровой коэффициент реактивности,

результатом которого явились катастрофические последствия аварии.

При дальнейшем изучении причин аварии и возможного влияния отдельных факторов на разгон реактора в большинстве работ обсуждаются два механизма, которые могли вызвать всплеск мощности с катастрофическими последствиями:

введение положительной реактивности стержнями управления и защиты вследствие недостатка их конструкции при предварительном состоянии реактора;

внешнее воздействие на поток теплоносителя в контуре – кратковременное открытие паровых предохранительных клапанов, резкое снижение производительности насосов теплоносителя, их кавитация и т. д.

Исследования причин аварии и моделирования процессов, приведших к аварии, позволили сделать вывод, что основные факторы, повлиявшие на ее развитие, – большой положительный коэффициент реактивности и недостатки конструкции стержневой системы управления и защиты реактора, проявившиеся в нерегламентном состоянии реактора, в которое он был приведен перед аварией. Существенную роль в развитии аварии сыграли пространственные динамические процессы.

Выполненные различными организациями, независимо друг от друга, исследования на основе расчетного моделирования показывают, что развитие аварийного процесса происходило следующим образом. После первоначальной фазы перераспределения нейтронного потока, обусловленной конструкцией стержневой системы управления и защиты реактора и не зависящей от теплогидравлического состояния реактора и контура первичного теплоносителя, повышение энерговыделений до определен-

ных значений вызвало большой паровой коэффициент реактивности, органически присущий конструкции данного типа реактора. С появлением и ростом парообразования зона повышенных энерговыделений саморазгонным образом возрастает, распространяясь на всю активную зону. Создавшиеся условия значительного повреждения даже ограниченного количества ядерного топлива из-за особенностей конструкции реактора могут привести к разрушению самого реактора с выводом из строя его системы аварийной защиты. Разрыв труб нескольких технологических каналов приводит к росту давления в реакторном пространстве, частичному отрыву несущей плиты реактора от кожуха и заклиниванию по этой причине всех стержней управления и защиты, к данному моменту прошедших только около половины своего пути.

Разрушение технологических каналов, которое первоначально инициировалось лишь локальным всплеском нейтронной мощности, усиливаемым образованием пара в ограниченной зоне реактора, с момента начала разрыва канальных труб вызывает 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.

Уже в 1986 г. сформировались два противоположных взгляда на непосредственные причины аварии, один из которых связывал основные причины аварии с нестабильностью реактора РБМК, несовершенством конструкции и регламента эксплуатации, второй – с нарушением регламента эксплуатации реакторной установки персоналом станции.

Версия виновности в аварии персонала станции становится официальной версией правительства СССР; все исследования, противоречившие ей, засекречиваются даже для специалистов.

В соответствии с этой версией первопричиной аварии является крайне маловероятное сочетание нарушений порядка и режима эксплуатации, допущенных персоналом энергоблока. Катастрофические размеры аварии объясняются тем, что реактор был приведен в такое нерегламентное состояние, в котором существенно усилилось влияние положительного эффекта реактивности на рост мощности. Персоналу вменяется в вину ряд наиболее опасных нарушений, приведших реактор в нерегламентное состояние.

Вместе с тем в решении научно-технического совета регулирующего органа СССР в 1990 г. 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. Возможные отклонения параметров реактора от регламентных значений не могли своевременно контролироваться в силу недостатков системы контроля реактора. В распоряжении персонала не было ни одного параметра, по значению которого он мог бы установить нерегламентность состояния реакторной установки. И проект, и технологический регламент допускали режимы, подобные имевшемуся 26 апреля 1986 г. на блоке № 4 Чернобыльской АЭС, и реализовываться они могли без какого-либо вмешательства персонала.

Проведенные исследования, анализ различных моделей и сценариев развития аварии позволили сформулировать такое заключение:

авария на реакторе типа РБМК стала неизбежной вследствие имеющихся на тот момент серьезных конструктивных недостатков, специфических ядерно-физических характеристик реакторной установки, обусловленных конструкцией его активной зоны, низкой эффективности системы управления и защиты, неверной конструкции стержней аварийной защиты реактора, низкого качества типового технологического регламента;

причиной возникновения аварии явился ввод положительной реактивности в нижнюю часть реактора при срабатывании аварийной защиты.

Результаты анализа в 1991 г. были представлены в Международное агентство по атомной энергии (МАГАТЭ), и на их основании Международная консультативная группа по ядерной безопасности (INSAG) изложила свою позицию в такой редакции: «... в настоящее время представляется, что авария явилась следствием совпадения следующих основных факторов: специфических физических характеристик 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».

INSAG-7 сыграл положительную роль и способствовал более объективному информированию широких слоев общественности об истинных причинах чернобыльской аварии.

Примечательно, что недостатки в конструкции реакторной установки РБМК были известны еще до аварии на Чернобыльской АЭС. Экспериментально их обнаружили при проведении физических пусков энергоблока № 1 Игналинской АЭС и энергоблока № 4 Чернобыльской АЭС в ноябре-декабре 1983 г., почти за 2,5 года до аварии. Тогда же предлагались некоторые мероприятия по устранению этих дефектов, но ни одно из них не было реализовано.

1.3. ПОСЛЕДСТВИЯ АВАРИИ

В результате взрыва реактора все физические барьеры, выполнявшие функции локализации радиоактивных материалов, были разрушены или повреждены. Полное разрушение активной зоны реактора, с одной стороны, привело к прекращению цепной реакции деления, а с другой – к потере технической возможности снятия остаточного тепловыделения топлива и к потере контроля над энергоблоком как источником радиоактивного выброса.

Во время взрыва верхнюю плиту разрушенного реактора массой около 2000 т взрывной волной подбросило вверх и она стала под углом 15° к вертикали. Нижняя плита опустилась на 4 м.

Ядерное топливо в количестве 190 т при взрыве активной зоны рассеялось по помещениям энергоблока и частично по кровле, вентиляционной трубе, окружающей территории. На территории, непосредственно примыкающей к разрушенному энергоблоку, лежали разбросанные фрагменты активной зоны: обломки тепловыделяющих элементов, куски графитовой кладки, радиоактивные элементы конструкций реакторной установки. Ядерное

топливо и его фрагменты были выброшены взрывом на площадки вентиляционной трубы, на крышу деаэрационной этажерки, машинного зала, кровли сооружений 3-го энергоблока.

В активной стадии аварии на территорию станции, стены и кровли зданий оседала радиоактивная пыль – топливные частицы. Вблизи энергоблока мощность дозы гамма-излучения достигала 20 Гр/ч и, главным образом, определялась излучением самого развала реактора, внутри которого измеренные значения мощности дозы достигали 500 Гр/ч.

Основную опасность представляли крайне высокие дозы радиации, полученные лицами, принимавшими участие в тушении пожара на аварийном энергоблоке. Опыт тушения графитовых материалов был весьма ограничен; кроме того, существовал реальный риск, что любая попытка остановить горение может вызвать дальнейшую дисперсию радионуклидов из-за возможного появления пара. Высказывались даже мнения, что такие попытки могут привести к возникновению критической массы в ядерном топливе реактора.

В первоначальной оценке выбросов предполагалось, что в атмосферу попало 100 % инертных радиоактивных газов, включая 10–20 % более летучих элементов йода, теллура и цезия. Общий выброс цезия-137 оценивался на уровне 70 ПБк, из которых 31 ПБк пришлось на территории Украины, Беларуси и России.

Более поздний анализ результатов исследований остатков активной зоны реактора и осажденных радиоактивных веществ внутри здания реакторной установки, по сути дела, стал независимой оценкой выброса в атмосферу. В соответствии с этими исследованиями доля выброшенного в ат-

Таблица 1.1. Текущие оценки радионуклидов, попавших в выброс в результате чернобыльской аварии

Радиоактивные вещества в активной зоне реактора на 26 апреля 1986 г.			Общий объем выброса во время аварии	
Нуклиды	Период полураспада	Активность, ПБк	Содержание радиоактивных веществ, %	Активность, ПБк
³³ Xe	5,3 дня	6500	100	6500
¹³¹ I	8,0 дней	3200	50–60	≈ 1760
¹³⁴ Cs	2,0 года	180	20–40	≈ 54
¹³⁷ Cs	30,0 лет	280	20–40	≈ 85
¹³² Te	78,0 ч	2700	25–60	≈ 1150
⁸⁹ Sr	52,0 дня	2300	4–6	≈ 115
⁹⁰ Sr	28,0 лет	200	4–6	≈ 10
¹⁴⁰ Ba	12,8 дней	4800	4–6	≈ 240
⁹⁵ Zr	1,4 ч	5600	3,5	196
⁹⁹ Mo	67,0 ч	4800	> 3,5	> 168
¹⁰³ Ru	39,6 дней	4800	> 3,5	> 168
¹⁰⁶ Ru	1,0 год	2100	> 3,5	> 73
¹⁴¹ Ce	33,0 дня	5600	3,5	196
¹⁴⁴ Ce	285,0 дней	3300	3,5	≈ 116
²³⁹ Np	2,4 дня	27 000	3,5	945
²³⁸ Pu	86,0 лет	1	3,5	0,035
²³⁹ Pu	24 400 лет	0,85	3,5	0,03
²⁴⁰ Pu	6580 лет	1,2	3,5	0,042
²⁴¹ Pu	13,2 лет	170	3,5	≈ 6
²⁴² Cm	163,0 дня	26	3,5	≈ 0,9

мосферу цезия-137 составила 20–40 % (85 ± 26 ПБк) на основе усредненной доли выброса от ядерного топлива в 47 % с последующим удержанием остатка выброса в здании реакторной установки. Что касается йода-131, то наиболее точная оценка составляла от 50 до 60 % активной зоны реактора на уровне 3200 ПБк (табл. 1.1).

Оценку выброса можно было получить двумя путями: либо регистрировать коли-

чество выбрасываемых из разрушенного реактора радионуклидов, либо подсчитывать количество радионуклидов, осевших на поверхность земли. Сделать это в сложившейся ситуации было очень тяжело: над развалом и в непосредственной близости от него существовали огромные радиационные поля, сам реактор извергал горячую струю высотой более 1200 м. Накладывались и сложные метеорологические

условия: за дни активной аварии ветер постоянно менял свое направление. С большими трудностями удавалось взять необходимые для расчета пробы и определить параметры воздушной струи, выносящей радиоактивные аэрозоли из реактора. Путем аэрогаммаразведки определялись дозовые поля гамма-излучения. Эти результаты могли быть грубо связаны с количеством выпавшего топлива. Последующие затем гамма-спектрометрические исследования почвенных проб давали возможность судить о выбросе с погрешностью 20 %.

К утру 15 мая получена первая оценка выброса из аварийного реактора, выполненная сотрудниками Института атомной энергии им. И. В. Курчатова: вне разрушенного блока находится 3–4 % топлива первоначальной загрузки. К середине июля эти данные можно было уже сравнивать с результатами независимых расчетов, проводившихся в других научных институтах. По их оценкам, выброс топлива составлял от 2 до 6 %.

Первоначальный крупный выброс объяснялся главным образом механической фрагментацией топлива во время взрыва. Он содержал в основном более летучие радиоизотопы, такие как радиоактивные благородные газы, различные соединения йода и определенное количество цезия. Второй крупный выброс, произошедший между седьмым и десятым днем после аварии, был вызван высокими температурами расплавленного ядерного топлива. Причиной резкого уменьшения выбросов через 10 дней после аварии стало быстрое охлаждение топлива по мере того, как его остатки прошли через нижний уровень защиты и вступили во взаимодействие с другими материалами реакторной установки. Выбросы происходили и после 6 мая, но они были не такими значительными.

Выброс радиоактивных веществ в атмосферу состоял из газов, аэрозолей и элементов ядерного топлива в виде микроскопических частиц. Газообразные элементы – криптон и ксенон – практически полностью оказались выброшенными в атмосферу из ядерного топлива. Помимо того, что йод встречался в газообразной форме и в форме аэрозолей, на месте аварии был также обнаружен органически связанный йод. Соотношение между различными формами проявления йода варьировалось в зависимости от временного фактора. Предположительно от 50 до 60 % содержания йода в ядерном топливе в той или иной форме попало в атмосферу. Другие летучие элементы и смеси, такие как цезий и теллур, вместе с аэрозолями также оказались в окружающей среде. Пробы воздуха показали наличие частиц этих элементов размером 0,5–1 мм.

Крупный выброс частиц топлива и длительная продолжительность этого выброса в основном обусловливались горением графитовых материалов. Элементы низкой летучести – церий, цирконий, актиноиды, в значительной степени – барий и лантан, а также стронций были связаны с частицами ядерного топлива. Более крупные частицы топлива выпали на близлежащую от места аварии территорию, а более мелкие частицы распространились на значительные расстояния.

Частые изменения метеорологических условий в течение 10 дней после аварии привели к значительным изменениям направления выброса и параметров дисперсии. Модели осаждения радиоактивных частиц зависели в большой степени от параметров дисперсии, размеров частиц и выпадения осадков. Наиболее крупные частицы – в основном частицы ядерного топ-

лива – выпадали в пределах 100 км от аварийного реактора. Мелкие частицы ветер относил дальше, и их осаждение происходило в основном через выпадение осадков.

Часть выбросов, которая состояла из радиоизотопов, и их последующее выпадение на землю также значительно варьировались в ходе аварии в связи с колебаниями температуры и изменением других параметров в ходе выброса.

В результате чернобыльской аварии образовалось три основных очага загрязнения: Центральный, Брянско-Белорусский, а также очаг в районе Калуги, Тулы и Орла. Центральный очаг возник в ходе первоначального активного этапа выброса в основном направлении запада и северо-запада. Выпадение цезия-137 на землю в объеме, превышающем 40 кБк/м², охватило значительные территории северной части Украины и южной части Беларуси. Наиболее пострадала 30-километровая зона вокруг Чернобыльской АЭС, где выпадения цезия-137 на землю в целом превышали 1500 кБк/м².

Около двух месяцев после аварии одним из основных источников радиационной опасности для населения оставались радиоактивные изотопы йода, выпавшие на местность при аварийном выбросе. В ряде населенных пунктов радиоактивный йод вызвал облучение щитовидной железы у детей, значительно превышающее допустимые уровни. В дальнейшем основную радиационную опасность стали представлять долгоживущие радионуклиды цезия, стронция и плутония, выпавшие с атмосферными осадками в активной фазе аварии и образовавшие на местности так называемые радиоактивные пятна.

29 апреля 1986 г., к исходу дня, на территории Украины дозиметрические и ра-

диометрические измерения выполняют около 15 тысяч постов радиационного наблюдения, более 700 разведывательных групп, в том числе звенья речной и железнодорожной разведки, 560 лабораторий санитарно-эпидемиологических станций, 420 ветеринарных лабораторий, 140 метеостанций. Ведение радиационной разведки на транспортных маршрутах, в населенных пунктах зоны Чернобыльской АЭС и на территории самой АЭС поручается воинским подразделениям, прибывшим в район аварии.

30-километровая зона Чернобыльской АЭС была образована в 1986 г. На этой территории плотность загрязнения почв превышала допустимые уровни: 15 Ки/км² по цезию, 3 Ки/км² по стронцию и 0,1 Ки/км² по плутонию. В ее состав вошли: 76 800 га леса (41 % всей площади загрязнений в пределах зоны); 48 400 га сельскохозяйственных земель (27 %); 52 400 га водоемов, болот (28 %) и 8000 га территории населенных пунктов (4 %).

На территорию зоны в виде частиц топливной матрицы и частиц конденсационного происхождения выпало приблизительно 30 МКи радиоактивных веществ. Более половины активности аварийного выброса сосредоточено в пределах пятикилометровой зоны – ближней зоны Чернобыльской АЭС, занимающей площадь 8000 га. Здесь средние плотности загрязнения составляли 890 Ки/км² по цезию-137, 180 Ки/км² по стронцию-90 и 0,8 Ки/км² по плутонию.

1.4. ЛИКВИДАЦИЯ АВАРИИ

В течение нескольких часов после аварии пожарным и персоналу станции удалось ликвидировать многочисленные очаги возгораний на аварийном энергоблоке, что

предотвратило угрозу распространения пожара на другие энергоблоки. Сразу после аварии останавливаются сначала 3-й энергоблок, составляющий с аварийным энергоблоком единый комплекс, а затем 1-й и 2-й энергоблоки.

Основными задачами созданной правительственной комиссии по расследованию причин аварии на Чернобыльской АЭС являются определение масштабов аварии, разработка и реализация мер по ее локализации и ликвидации последствий, охране здоровья и оказанию помощи населению, а также детальное изучение причин аварии и разработка на основе проведенного анализа оперативных и долгосрочных мер по недопущению подобных аварий в будущем.

На начальном этапе управления аварией в период с 26.04.86 по 06.05.86 г. к важнейшим задачам относятся:

- прекращение самоподдерживающейся цепной реакции;

- обеспечение охлаждения ядерного топлива;

- снижение выбросов радиоактивных продуктов в окружающую среду;

- предотвращение дальнейшего развития аварии.

С момента начала аварии предпринимаются попытки снизить температуру в шахте реактора с помощью сохранившихся на АЭС технологических систем подачи воды в пространство активной зоны.

Для создания барьеров на пути выбросов из разрушенного энергоблока принимается решение о его изоляции от окружающей среды различными материалами. Поскольку радиационная опасность была связана, прежде всего, с продолжительным непрерывным выбросом активности из разрушенного реактора преимущественно вследствие горения графита, то в активной

стадии все основные технические мероприятия нацеливаются на локализацию аварии, предотвращение выброса радиоактивных веществ из реактора.

С учетом сложившейся обстановки осуществляется локализация источников выброса из аварийного блока путем принятия таких оперативных аварийных мер, как засыпка реактора с вертолетов. В развал реактора 4-го энергоблока Чернобыльской АЭС в течение первых дней после аварии сбрасывается около 5000 т различных материалов, в том числе: 2400 т свинца – для охлаждения ядерного топлива, около 40 т карбида бора – для предотвращения самоподдерживающейся цепной реакции деления, 800 т доломита – для поглощения тепла и как источник двуокиси углерода для тушения пожара; 1800 т песка и глины – для гашения горящего графита и ограничения выброса продуктов деления из активной зоны разрушенного реактора. Эти материалы покрыли центральный зал слоем толщиной от 1 до 15 м.

Общая масса сброшенных с вертолетов веществ на активной стадии ликвидации аварии в период с 26 апреля по 6 мая составила около 16 600 т. Как выяснилось впоследствии, большая их часть не попала в разрушенный реактор.

В середине 1988 г. исследователи с помощью оптических приборов и телекамер смогли обнаружить, что же содержится внутри самой шахты. Материалов засыпки там практически не было. По всей видимости, они попадали в зоны высоких температур, расплавлились и растекались по нижним помещениям реактора. И в самом деле, на нижних этажах находились большие массы застывшего, лавообразного вещества, которое содержало ядерное топливо. Индикатором того, что в состав

лавы вошли не только материалы реактора, но и сброшенные с вертолетов, мог стать свинец. Но свинца в реакторе и вокруг него не оказалось. Это же касается и других компонентов засыпки. Их количество не повлияло решающим образом на поведение выброса. Причину подобного можно объяснить тем, что верхняя плита реактора стала почти вертикально, вытянув за собой сплетение технологических труб, образовался как бы щит, отбрасывавший от развала реактора материалы, падавшие сверху. В это время рядом с шахтой реактора светилось яркое пятно, обусловленное, по всей видимости, горящим графитом. Возможно, приняв его за отверстие шахты, груз сбрасывали именно туда.

В настоящее время с большей вероятностью можно предположить, что окончание активной стадии аварии зависело не от сброса в реактор различных материалов, а от сложных физических и химических процессов образования, растекания и охлаждения лавы.

Оценивая мероприятия по засыпке развала реактора материалами, нужно помнить, что времени для четкого обоснования принятия такого решения, а также полной информации о состоянии реактора и ядерного топлива, которое содержалось в нем, практически не было, а громадные количества радиоактивных изотопов ежедневно выбрасывались в окружающую среду.

Материалы, содержащие бор, попав в центральный зал с находящимися в нем многочисленными фрагментами активной зоны реактора и топливной пылью, накрыли топливо и тем самым уменьшили ядерную опасность. Песок, глина, доломит во многих местах толстым слоем накрыли радиоактивные обломки и облегчили в дальнейшем работу строителей «Укры-

тия», оперативного персонала и исследователей.

Прекращение аварийного выброса в атмосферу определялось естественным протеканием процессов внутри блока: завершением выгорания графитовой кладки реактора, прекращением разогрева топлива по мере естественного спада остаточного тепловыделения и выравнивания баланса между тепловыделением топлива, теплоотводом за счет естественной конвекции потоков атмосферного воздуха. Благодаря процессу естественного остывания топлива выброс из блока через две недели снизился в миллион раз по сравнению с первоначальным и перестал быть определяющим фактором состояния глобального радионуклидного загрязнения окружающего пространства.

В числе оперативных мер по управлению аварией 06.05.86 г. с целью устранения контакта расплавленных топливных масс с водой освобождается от воды бассейн-барботер под реактором 4-го блока. И в этот же день, впервые с момента аварии, начинается резкое снижение мощности выброса. Параллельно проводятся мероприятия по охлаждению активной зоны реактора путем подачи в нее жидкого азота. К этому времени выдается заключение о невозможности самоподдерживающейся цепной реакции в разрушенном реакторе.

В соответствии с предположением о попадании части ядерного топлива на нижнюю плиту реактора, существовала тепловая опасность, или так называемый «китайский синдром»: раскаленное топливо могло постепенно прожечь нижнюю плиту реактора, а дальше – перекрытия нижних помещений реакторного отделения. Кроме того, имела угроза радиоактивного загрязнения грунтовых вод. Первые расчеты

таких процессов дали малоутешительные результаты: «китайский синдром» мог стать реальностью.

К 9 мая 1986 г. горение графитовых материалов прекратилось, и приступили к созданию укрепленной бетонной плиты со встроенной системой охлаждения, которую предполагалось подвести под реактор. Эта работа была связана с проходкой туннеля; начинавшегося под энергоблоком № 3. Ее выполняли около 400 человек, завершив за 15 дней. Бетонную плиту намечалось использовать не только для охлаждения активной зоны реактора в случае необходимости, но и в качестве барьера, предотвращающего попадание расплавленных радиоактивных материалов в грунтовые воды.

Работы по удержанию предполагаемых расплавов активной зоны на нижней защитной плите реактора, а также по созданию дополнительного специального теплообменника под фундаментной плитой реактора для гарантированного исключения попадания радиоактивных продуктов и расплавленного топлива в грунт и грунтовые воды начались 03.06.86 г. и закончились 28.06.86 г. Однако развитие процесса аварии не привело к проплавлению фундаментной плиты, и этот специальный теплообменник не был задействован.

Так как все штатные системы безопасности 4-го блока превратились в развалины, одновременно с принятием оперативных мер по управлению аварией имевшимися в наличии средствами требовалось создание дополнительных инженерно-технических средств управления аварией с целью приведения аварийного блока в контролируемое состояние. С конца мая 1986 г. начат непрерывный контроль текущего состояния 4-го блока. Объем контроля постоянно наращивался. Основными контро-

лируемыми параметрами были плотность потока нейтронов, мощность дозы гамма-излучения, температура, тепловой поток, активность аэрозолей.

Сразу же после окончания активной стадии аварии и резкого уменьшения выброса радиоактивности встал вопрос о возможности полной изоляции разрушенного реактора – открытого источника ионизирующего излучения небывалой мощности, представлявшего непосредственную опасность для персонала, работавшего на площадке Чернобыльской АЭС. Для более детальной оценки состояния аварийного реактора и обеспечения доступа к нему расчищаются проходы к поврежденному энергоблоку, убираются выброшенные взрывом обломки топливных сборок, куски графитовой кладки и элементы конструкций. Одновременно начинается сооружение экранирующей защитной стены между 3-м и 4-м энергоблоками.

С исчезновением опасности дальнейшего развития аварийных процессов в поврежденном реакторе основные усилия направляются на организацию аварийно-восстановительных и дезактивационных работ, водоохранные и противофильтрационные мероприятия, а также на изоляцию и захоронение реакторной установки вместе с разрушенными конструкциями зданий и сооружений аварийного энергоблока Чернобыльской АЭС.

Размеры и опасный характер аварии на Чернобыльской АЭС оказались непредвиденными и застали врасплох большинство государственных структур, отвечавших за состояние готовности к чрезвычайным ситуациям. Никаких специальных инструкций на случай такого крупномасштабного инцидента разработано не было. Хотя отдельные организации, занимающиеся радиационной

защитой, подготовили критерии для оказания помощи в случае аварии, последние часто не были совершенными и служили лишь незначительным практическим подспорьем в сложившихся обстоятельствах. К тому же люди, принимающие решения, в начале аварии имели ограниченный поток информации и испытывали давление со стороны правительственных и политических органов власти. Поэтому предпринимаемые меры реагирования не были достаточно полными и эффективными.

Один из первых вопросов, возникших перед правительственной комиссией, – судьба жителей г. Припяти, расположенного на расстоянии 3 км от площадки Чернобыльской АЭС. К полудню 26 апреля в городе устанавливается постоянный контроль за радиационной обстановкой. К концу дня, после того, как началось горение графита, принимается решение об эвакуации жителей из города. определяются районы и населенные пункты для размещения эвакуируемых, порядок их приема и расселения, формируются специальные группы для решения возникающих вопросов. В ночь с 26 на 27 апреля из Киева и других близлежащих городов прибывают 1200 автобусов и три специальных железнодорожных состава.

Объявление об эвакуации прозвучало в 11 ч следующего дня. Эвакуация начинается в 14 ч, и примерно за два с половиной часа население г. Припяти вывозится на другие территории (около 45 тыс. человек). В первые дни после аварии эвакуируется население из ближней 10-километровой зоны Чернобыльской АЭС. 2 мая принимается решение об эвакуации населения из 30-километровой зоны Чернобыльской АЭС и ряда населенных пунктов за ее пределами.

Специальным правительственным постановлением по вопросам трудового и

бытового устройства населения, эвакуированного из опасных зон, определяются конкретные меры по расселению семей работников Чернобыльской АЭС в Киеве и других населенных пунктах, строительству жилых домов и хозяйственных построек для переселенцев из сельской местности, трудоустройству и условиям оплаты труда эвакуированных людей. В частности, в Киеве на указанные цели было выделено 7500 квартир, в Чернигове – 500.

1.5. ЛИКВИДАЦИЯ ПОСЛЕДСТВИЙ АВАРИИ

В конце мая 1986 г. правительственными структурами принимаются неотложные меры по дезактивации промплощадки, зданий и сооружений Чернобыльской АЭС, а также по возобновлению эксплуатации энергоблоков:

- дезактивация промплощадки, населенных пунктов и дорог;

- устройство пунктов дезактивации, специальной обработки транспорта и персонала, участвующего в ликвидации аварии;

- сбор и удаление радиоактивных отходов (РАО);

- строительство временных мест хранения РАО;

- устройство временных автодорог;

- подвод временных инженерных сетей и энергоснабжение промплощадки;

- возведение новой строительной базы;

- строительство временного жилого поселка для персонала станции;

- устройство специальной защитной стены в грунте для предотвращения попадания радиоактивности в грунтовые воды;

- устройство защитных сооружений и дренажей водных объектов;

строительство очистных сооружений для очистки дренажных и канализационных вод;

консервация аварийного энергоблока;

бетонирование территории;

устройство разделительной стены между 3-м и 4-м блоками;

подготовка 1-го и 2-го энергоблоков к пуску.

Авария на Чернобыльской АЭС повлекла за собой крупномасштабное радиоактивное загрязнение местности, зданий, сооружений, дорог и других объектов внешней среды не только в районе расположения атомной станции, но и далеко за его пределами. Радиоактивное загрязнение представляло серьезную опасность для населения, а также для лиц, привлеченных к ликвидации последствий аварии, негативно влияло на экологическое состояние территорий, загрязненных радионуклидами.

Для исключения переоблучения людей и переноса радиоактивных веществ за пределы 30-километровой зоны уже с первых дней после аварии организуются дезактивационные работы на промплощадке Чернобыльской АЭС и прилегающей территории, включая: дезактивацию территории, зданий, сооружений АЭС, населенных пунктов, транспорта и другой техники; сбор, удаление, максимальное обезвреживание и захоронение радиоактивных отходов; санитарную обработку людей, дезактивацию одежды и средств индивидуальной защиты; дезактивацию дорог и пылеподавление.

Первая карта радиоактивного загрязнения получена 3 мая 1986 г., после того, как стало возможным разделить эффекты газоаэрозольных выбросов и загрязнения местности.

Особая сложность выполнения дезактивационных работ заключалась в небывалых

ранее объемах работ. Кроме того, значительная часть радиоактивных частиц обладала малой дисперсностью и высокой адгезией на поверхности зданий, сооружений, автомобильного и железнодорожного транспорта. Поэтому, с первых же дней, наряду с решением практических задач по ликвидации последствий радиоактивного загрязнения, осуществляется поиск путей повышения эффективности дезактивационных работ, разрабатываются новые технические средства, рецептуры, способы и методы дезактивации. К этим работам привлекаются десятки научно-исследовательских учреждений и организаций.

Самый сложный этап дезактивации территории АЭС начался 30 апреля. Действовать приходилось в условиях высоких уровней радиации, продолжающихся выбросов радионуклидов из аварийного реактора и отсутствия опыта работы в сложившейся обстановке.

Планомерные работы по дезактивации территории, зданий и сооружений АЭС и г. Припяти начались 6 мая 1986 г. силами развернутых частей и подразделений химических, инженерных войск, специалистов гражданской обороны.

Первоочередной задачей являлись очистка территории вблизи разрушенного блока от высокоактивных частей активной зоны, выброшенных из реактора, их сбор, транспортировка и размещение в местах временного хранения. Работы по очистке территории велись круглосуточно сменными командами общей численностью до 6 тысяч человек, из которых к сентябрю 1986 г. около 2 тысяч было заменено в связи с получением предельно допустимой дозы 25 сЗв.

Уже к 10 мая 1986 г. на территории промплощадки, благодаря удалению наи-

более активных фрагментов, уровни мощности дозы гамма-излучения удалось снизить в 10–20 раз и подготовить фронт работ. В процессе выполнения дезактивационных работ насыпается верхний слой грунта, а для снижения уровня радиоактивного загрязнения почвы собираются фрагменты ядерного топлива, на территории промплощадки снимается слой загрязненного грунта, она засыпается щебнем и бетонируется.

Засыпка щебнем и бетонирование производятся практически по всей территории северной части промплощадки, примыкающей к зданию 4-го и 3-го энергоблоков, вдоль западной части и вдоль южной стороны машинного зала. Толщина покрытия составляет 0,5 м, а в отдельных местах — до 8 м. Территорию, вплотную прилегающую к 4-му энергоблоку, засыпают щебнем, песком, сухой бетонной смесью, выставляют объемные опалубочные блоки. Вокруг аварийного блока для обеспечения работы механизмов возводят специальные пандусы, ограничив их стенками из бетонных фундаментных блоков.

После расчистки площадки, основными методами подавления высоких уровней радиоактивности на территории становятся бетонирование и укладка железобетонных плит. К 15 июня 1986 г. на основных коммуникациях Чернобыльской АЭС мощность дозы радиоактивных излучений снижается до 10 сГр/ч, что позволяет обеспечить дополнительный фронт работ и развернуть пусковые работы на 1-м и 2-м энергоблоках.

По состоянию на 10 августа 1986 г. дезактивировано 862 тыс. м² внутренних помещений главного корпуса станции, обработано свыше 500 тыс. м² других зданий на площадке, вывезено 25 тыс. м³ грунта,

территория площадью 187 тыс. м² покрыта железобетонными плитами.

В октябре 1986 г. в целях обеспечения единого руководства работами, проводимыми в 30-километровой зоне Чернобыльской АЭС, а также выполнения государственного плана по производству электрической энергии, реализации мероприятий по повышению надежности и безопасности эксплуатации энергоблоков, осуществления функций заказчика при сооружении объектов производственного и непроизводственного назначения создается производственное объединение «Комбинат». На него возлагаются следующие функции:

- выполнение заданий по производству электроэнергии на энергоблоках Чернобыльской АЭС;

- координация работ по ликвидации последствий аварии;

- выполнение функций заказчика по строительству г. Славутича;

- эксплуатация объектов гг. Чернобыля, Славутича, вахтового поселка Зеленый Мыс;

- сохранность объектов г. Припяти и эксплуатация объектов инженерного обеспечения;

- дезактивация оборудования, техники, материалов, зданий и сооружений;

- организация захоронения РАО;

- строительство пунктов захоронения РАО и их эксплуатация;

- контроль за радиационной обстановкой и выполнение мер по ее улучшению;

- дозиметрический контроль персонала, принятие мер по снижению дозовых нагрузок;

- эксплуатация разрушенного энергоблока;

- защита от радиоактивного загрязнения Днепровского бассейна.

Организационные структуры производственного объединения «Комбинат» совместно с подрядными организациями, оперативной группой войск Гражданской обороны, строительными организациями Министерства среднего машиностроения СССР решили комплекс задач по ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС. В течение 1986–1989 гг. ими выполнены следующие работы:

- возведение над разрушенным реактором 4-го энергоблока защитной оболочки, получившей название объект «Укрытие», или «Саркофаг»;

- реконструкция и пуск в 1986 г. 1-го и 2-го энергоблоков;

- строительство водоохранных сооружений;

- восстановление, реконструкция и пуск в 1987 г. 3-го энергоблока;

- строительство вахтового поселка Зеленый Мыс;

- строительство и реконструкция объектов 30-километровой зоны;

- дезактивация территории на площади 1658 га;

- дезактивация зданий и сооружений общей площадью 2546 тыс. м²;

- дезактивация транспортных магистралей длиной 490 км, в т. ч. 120 км железнодорожных путей;

- ликвидация источников радиационного излучения с высокими уровнями радиоактивности;

- дезактивация 145,5 тыс. единиц транспортных средств на пунктах спецобработки;

- дезактивация спецодежды массой 605 т;

- дезактивация с целью дальнейшего использования 43,5 тыс. т оборудования, 654 км кабельной продукции, 265 км труб и 530 т проката;

- нанесение химических покрытий для предотвращения выноса активности и пылящих почв на площади 1437 га;

- посадка леса на территории 496 га;

- локализация РАО объемом 657 тыс. м³;

- монтаж и эксплуатация автоматизированной системы контроля радиационной обстановки;

- поддержание эксплуатации водоохранных сооружений;

- осуществление постоянного контроля состояния грунтовых вод через сеть наблюдательных скважин.

В зоне ликвидации последствий аварии были сооружены и эксплуатировались стационарные пункты захоронения РАО: «Буряковка» (проектная мощность 450 тыс. м³, 30 траншей по 15 тыс. м³ РАО с мощностью дозы менее 1 Р/ч) и «Подлесный» (проектная мощность 50 тыс. м³, 8 модулей; захоронено 12 тыс. м³ твердых РАО с мощностью дозы до 5 Р/ч).

На территории зоны отчуждения Чернобыльской АЭС сооружены, законсервированы и находятся под наблюдением могильники «Комплексный», «Савичи», «Чистоголовка».

Для наблюдения за стихийно образованными сразу после аварии временными пунктами захоронения РАО (800 шт.) была построена сеть наблюдательных скважин.

В 1989 г., с переходом эксплуатационного персонала Чернобыльской АЭС на безвахтовый метод работы, основной этап ликвидации последствий аварии завершился. Определяющими целями следующего этапа ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС были:

- предотвращение распространения радионуклидов из зоны радиоактивного загрязнения;

- перезахоронение твердых РАО;

создание на загрязненных территориях условий для безопасной в радиационном отношении жизнедеятельности населения;

подготовка зоны отчуждения и отселенных территорий к возврату в хозяйственную деятельность.

Сложность этого этапа обуславливалась практическим отсутствием достаточно экономических технологий и технических средств по удалению радиоактивных веществ с больших территорий, оборудования, а также металла, древесины и других материалов. Требовались новые технологии и новые мобильные технические средства для дезактивации лесных массивов, сельскохозяйственных угодий, водоемов, транспортных магистралей и населенных пунктов, создание производств по переработке РАО с целью их надежного захоронения, новые подходы к организации производства работ в зоне отчуждения. Поэтому на базе производственного объединения «Комбинат»^{*} создается научно-производственное объединение «Припять» с возложением на него задач по дальнейшей ликвидации последствий аварии в 30-километровой зоне Чернобыльской АЭС.

Перечислим основные из них:

проведение и координация научно-исследовательских работ по разработке новых технологий по дезактивации, обращению с РАО, радиационному и экологическому мониторингу территорий, медицинским аспектам, ликвидации радиологических последствий и внедрению новых разработок в производство;

разработка и реализация мер, предотвращающих распространение радиоактив-

ного загрязнения, проведение дезактивации территории, оборудования и материалов с целью постепенного вовлечения земель в хозяйственную деятельность, а также материалов, оборудования для дальнейшего использования и улучшения радиационной обстановки в зоне отселения;

организация на территории зоны отчуждения полигона для проведения научных исследований и экспериментов, испытаний и отработки технологий и технических средств;

организация и выполнение работ по захоронению РАО;

обеспечение содержания законсервированных объектов г. Припяти и недостроенных сооружений 5-го и 6-го энергоблоков Чернобыльской АЭС;

обеспечение эксплуатации промышленных объектов и сооружений, инженерных сетей, необходимых для хозяйственной деятельности зоны отчуждения.

В ближней зоне Чернобыльской АЭС в 1986–1987 гг. часть хвойных лесов погибла вследствие высокой плотности радиоактивных выпадений. Образовалось значительное количество горючих твердых РАО – хронический и потенциально опасный источник вторичного загрязнения воздуха. В случае его возгорания радиационная обстановка могла бы существенно осложниться далеко за пределами 30-километровой зоны. Например, при выгорании за сутки 1 га загрязненного леса в районе Чернобыльской АЭС концентрация всех радионуклидов в воздухе на расстоянии 100 км составила бы $5 \cdot 10^{-12}$ Ки/л, превысив допустимую в 500 раз. Поэтому в 1987 г. принимается решение о захоронении погибшего леса в кратчайшие сроки по месту его нахождения.

Пункт временной локализации РАО «Рыжий лес» оборудован в 1987 г. Это тер-

^{*} С 1 января 1990 г. из состава объединения Чернобыльская АЭС выделена в самостоятельное производственное объединение.

ритория площадью более 30 га, где бульдозером на ширину ножа вырыты семь траншей глубиной до 1,5 м. Сверху поваленные деревья и лесная подстилка закрыты слоем песка толщиной до 1 м.

Для изучения влияния хронических малых доз радиации на биологические системы водных и наземных животных разновозрастных групп, определения коэффициентов перехода радионуклидов по трофическим цепочкам на берегу пруда-охладителя Чернобыльской АЭС организуется опытная биологическая станция. Здесь исследуется маточное поголовье рыб (белого и пестрого толстолобика, сазана и др.), получивших суммарную дозу 8–12 Гр. Построен лабораторный корпус. На опытном зверохозяйстве используются корма, выращенные в зоне отчуждения.

В 1987 г. Министерство среднего машиностроения СССР образует Комплексную экспедицию Института атомной энергии им. И. В. Курчатова для обеспечения научного и проектного сопровождения объекта «Укрытие», проведения и координации научно-исследовательских работ, выполняемых научными организациями в зоне отчуждения Чернобыльской АЭС. Функциями Комплексной экспедиции были:

- проведение научно-исследовательских работ по обеспечению безопасного состояния объекта «Укрытие» и подготовка рекомендаций по совершенствованию систем контроля;

- создание банка данных по объекту «Укрытие» и радиационной обстановке в контролируемой зоне;

- выполнение конструкторских и проектных работ для обеспечения программ исследований;

- организация проведения строительно-монтажных работ для обеспечения науч-

ных исследований, возложенных на экспедицию.

Работы, проводимые Комплексной экспедицией, позволили выяснить основной характер внутреннего состояния объекта «Укрытие», геометрию разрушений, состояние большинства строительных конструкций, основные места скопления топливных масс и их физико-химические параметры.

1.6. ПОСЛЕДСТВИЯ ДЛЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Леса представляют собой крайне разнообразные экосистемы, в которых флора и фауна находятся в сложных отношениях друг с другом, равно как и с климатом, почвенными характеристиками и топографией. Они могут служить не только зонами отдыха, но и местом работы, а дичь, ягоды и грибы – источником питания. Круглый лес и древесные продукты представляют собой важный экономический ресурс.

Ввиду сильных фильтрующих свойств деревьев осаждение радионуклидов в лесах зачастую выше, чем в сельскохозяйственных районах. При загрязнении специфические экологические свойства лесов часто приводят к сильному удержанию загрязняющих радионуклидов. Высокое содержание органических веществ в лесной почве и ее стабильность увеличивают передачу радионуклидов из почвы растениям (в результате чего в лишайниках, мхах и грибах часто обнаруживаются высокие концентрации радионуклидов); а от них – диким животным.

Те, кто потребляет дичь как один из основных продуктов питания, могут подвергнуться неприемлемому облучению (так случилось в Скандинавии, где пришлось

контролировать употребление мяса северных оленей).

Для борьбы с радиоактивным загрязнением лесов разработаны различные стратегии. Наиболее эффективные включают ограничение доступа в них и предотвращение лесных пожаров.

Радиационная чувствительность различных деревьев к внешнему гамма- и бета-излучению колеблется в довольно широком диапазоне. Для разных пород она может отличаться в 100 раз, но даже в пределах одной породы определяется возрастом дерева, вегетационным периодом и другими факторами, действующими в момент облучения. Наиболее чувствительные деревья – сосны. Они росли вблизи аварийного блока и, получив общую дозу порядка 100 Гр, погибли.

Эффекты облучения деревьев начинают проявляться не сразу, а примерно через 14 дней после поглощения дозы. Исследования показывают, что летальные дозы для сосны составляют примерно 6 Гр.

Радиация буквально сожгла хвою деревьев; они погибли, не подготовившись к нормальному ее опадению. Мертвая хвоя держалась так же, как и здоровая. Главной проблемой «рыжего» леса была пожарная опасность, в частности опасность верхового пожара, который может перемещаться по лесу со скоростью ветра. Он мог бы поднять тепловым потоком вверх радионуклиды, лежащие внизу. Поэтому принимается решение о захоронении «рыжего» леса.

Лес – активный регулятор чистоты атмосферы, способный аккумулировать огромное количество пылевых аэрозолей, в том числе радиоактивных. В районе Чернобыльской АЭС он сыграл роль буфера, способствовал локализации массового аварийного выброса радионуклидов. На близ-

ких расстояниях от источника выброса, где радиоактивное облако двигалось горизонтально к поверхности земли, лес задерживал перемещение радиоактивных аэрозолей. Особенно это касается опушек, расположенных с наветренной стороны по ходу движения облака. Именно по ним пришелся основной удар, и именно здесь наблюдалось повышенное осаждение радиоактивных веществ. Кроме того, лес выполнил определенную защитную функцию по отношению к безлесным участкам, примыкающим к лесным массивам с обратной стороны и расположенным на небольшом расстоянии от опушек, примерно в 200 м от них. Эти эффекты проявлялись в основном вблизи аварийного реактора.

Отметим, что существенного различия в количестве радиоактивных веществ, выпавших на лесные массивы на больших расстояниях от источника выброса, не наблюдалось. Это объясняется тем, что радиоактивные частицы поднялись на большую высоту, а в этом случае характер поверхностного покрова существенно не влияет на интенсивность радиоактивных выпадений. Уже через два месяца подавляющая часть радиоактивных веществ переходит под полог леса, т. е. перемещается из крон на поверхность лесной подстилки. А поскольку ветра нет и водный сток очень ограничен, то лес препятствует переносу радиоактивности на прилегающие территории.

Лес еще и один из наиболее радиочувствительных природных объектов флоры. Леса зоны отчуждения на 80 % представлены сосновыми породами деревьев в возрасте 30–50 лет. Кроны сосен достаточно плотные и являются эффективным фильтром. Они захватили значительное количество радиоактивных аэрозолей, которые выпали на лес. Следует также помнить, что

сосны не сбрасывают свою хвою в течение двух-трех лет, поэтому дезактивация их крон проходила медленнее, чем крон опадающих лиственных пород. Сочетанием этих двух причин и было обусловлено сильное повреждение хвойных пород. Площадь полного поражения сосны составила приблизительно 400 га, а частичного – 1000 га.

Вначале исследователи считали сильно поврежденные деревья погибшими. Но многие деревья уцелели за счет пробуждения спящих почек, которые в какой-то мере защищены от облучения корой и покровными чешуйками. С 1987 г. возобновился прирост, началось восстановление крон. Такие деревья через несколько лет полностью возродились.

Негативное радиационное воздействие на природные экологические системы может проявиться лишь в условиях такой крупной аварии, как чернобыльская, однако относительно кратковременно. Спустя два-три года после аварии начинается бурное восстановление экосистем. Более того, уход человека с загрязненной территории, прекращение хозяйственной деятельности и снятие связанного с этим антропологического пресса на природу благоприятствуют стремительному оздоровлению природной обстановки для растительного и животного мира. Тут появляются редкие и исчезающие виды растений и животных, их видовой состав обогащается, природные экологические системы улучшаются в целом. Что же касается проживания на таких территориях человека, то оно невозможно на протяжении, по крайней мере, еще нескольких десятилетий.

В «рыжем» лесу произошла, по существу, экологическая катастрофа. Рухнула трофическая пирамида – кто потреблял в пищу живую сосну (вредители хвон, насе-

комые, сосущие сок из побегов), погиб. Потеряли свой корм и птицы. Пострадали даже такие радиоустойчивые насекомые, как муравьи: оказалось, что им нечем питаться – в поверхностном слое подстилки сосредоточилась значительная радиоактивность, которая уничтожила беспозвоночных животных (маленьких клещей, бескрылых насекомых). Но через год-два, когда уровни радиации спали, их популяции восстановились вследствие миграции извне. И если в ближней зоне сразу после аварии наблюдалось уменьшение плодовитости грызунов, то уже через год туда набегали новые мыши. О том, что они пришли со стороны, свидетельствовало малое внутреннее накопление ими радионуклидов.

На остальной, менее загрязненной территории зоны произошли тоже довольно любопытные изменения. Ушел человек, вывезен домашний скот; в значительной степени отстреляны из-за опасений, что заболеют бешенством, домашние собаки и кошки. На корню оставлен урожай. Правда, сорняки его подавили, но рожь выстояла, кое-где сохранились кукуруза, кормовая свекла, на огородах – картошка. В домах брошены какие-то продукты и всякий пищевой сор. Несмотря на радиацию, как в ближней зоне, так и на относительно чистых участках мышей расплодилось очень большое количество. В свою очередь, это повлекло за собой другие явления – на мышей налетели хищные птицы.

Чтобы задерживать смыл радионуклидов по мелиоративным каналам, были сооружены сотни небольших дамб. Сразу луга залило водой, и туда устремились для размножения утки и другие водоплавающие птицы.

После ухода человека в зоне постепенно увеличивается количество лосей, кабанов,

куниц, волков. В условиях явного заповедника зоны начали оседать и гнездиться птицы, занесенные в Красную книгу, – орлан белохвостый, белый лебедь, черный аист.

Осенний перелет через Чернобыльскую зону отчуждения по руслу р. Припяти совершает более 100 млн птиц – в десятки раз больше, чем их живет в зоне. На неделю или две птицы задерживаются здесь. При грубом допущении считается, что они загрязняются до уровня местных птиц, а в 1 кг массы птицы набирается столько цезия, сколько его лежит на площади 50 см². Исходя из этого интегральная оценка выноса составляет несколько кюри и она не вносит существенного изменения радиационной обстановки вследствие разноса радионуклидов птицами. Но охотники имеют шанс подстрелить птицу, загрязненную выше допустимых уровней.

К наиболее загрязненной пищевой продукции относятся грибы. Это связано с тем, что они питаются из верхних горизонтов почвы, где сосредоточена основная часть радионуклидов. Разные виды грибов загрязнены, впрочем, по-разному. И ничего удивительного в этом нет: грибница разных видов формируется в разных горизонтах почвы. Наиболее почитаемые виды – белый гриб, подосиновик, подберезовик, опенок, лисичка, черный груздь – накапливают сравнительно незначительное количество радиоактивного цезия; свинушки, сыроежки, шампиньоны лесные, горькуша – больше. Различия между отдельными видами могут достигать стократных значений.

В 1987 г. в районе зоны отчуждения Чернобыльской АЭС площадью примерно 375 га принимаются меры по сокращению большого загрязнения земли и воспрепятствованию распространению радионуклидов в результате лесных пожаров: снима-

ется поверхностный слой почвы на глубину 10–15 см, мертвые деревья спиливаются. Отходы (примерно 100 тыс. м³) помещаются в траншеи и засыпаются слоем песка. Эти меры в сочетании с другими способами предотвращения пожаров значительно уменьшили вероятность распространения радионуклидов в результате лесных пожаров.

Изменения в системе управления и пользования лесами также могут способствовать сокращению дозы. Запрет или ограничения на сбор лесных растений, грибов и ягод, контроль над охотой могут оградить от вредного воздействия радиации тех, кто обычно потребляет эти продукты в больших количествах. Меры, препятствующие образованию пыли, – насаждение молодых лесов и многолетних трав – предотвращают распространение имеющегося загрязнения почв.

Для ведения лесного хозяйства, лесозаготовок и побочной деятельности в лесах в новых условиях, к середине 1986 г. создается сеть дозиметрических постов. В июне 1986 г. проведена первая съемка в лесах Киевской и Житомирской областей, по итогам которой составлены карты мощности дозы гамма-излучения и определены зоны наибольшей загрязненности.

Выброшенные при аварии радионуклиды загрязнили леса площадью свыше 1,5 млн га. Больше всего пострадали лесные массивы Украинского Полесья – Житомирской, Киевской, Черниговской и Ровенской областей. В этой зоне вели лесное хозяйство 35 лесхозов с персоналом 26,5 тыс. человек, которые производили 48 % общего объема лесной продукции Украины. Ограничения, которые пришлось ввести на некоторые виды деятельности в связи с чернобыльской аварией, нанесли ущерб в раз-
мере около 100 млн долларов.

При ядерной аварии загрязнение *водоемов* радионуклидами происходит не только путем прямого осаждения из воздуха и выброса в жидком виде, но и их вымыванием в бассейне водосбора. В больших водоемах радионуклиды быстро перераспределяются и обычно накапливаются в придонных отложениях, бентосе, водяных растениях и рыбах. Люди потенциально могут подвергнуться облучению либо непосредственно, используя загрязненную питьевую воду, либо косвенно, используя такую воду для целей ирригации или потребляя в пищу загрязненную рыбу. Поскольку радионуклиды обычно быстро исчезают из воды, то опасность облучения существует либо на первом этапе выпадения радиоактивных осадков, либо на очень позднем этапе, когда радиоактивные вещества вымываются из района водосбора и достигают источников питьевой воды.

На раннем этапе чернобыльской аварии водный компонент индивидуальной и коллективной доз облучения не превышал 12 % суммарного значения. В зоне отчуждения самым загрязненным водоемом был и остается пруд-охладитель Чернобыльской АЭС.

Сразу после аварии отмечалось радиоактивное загрязнение речных экосистем. Общая радиоактивность воды в начале мая 1986 г. составляла 10 кБк/л в р. Припяти, 5 кБк/л – в р. Уж и 4 кБк/л – в Днепре. В это время она определялась в основном короткоживущими радионуклидами, такими как йод-131. По мере того, как вода из речных экосистем поступала сначала в Киевское, а затем в Каневское и Кременчугское водохранилища, значительно сократилась загрязненность водных отложений, водорослей, моллюсков и рыбы.

В 1989 г. содержание цезия-137 в Киевском водохранилище составляло 0,4 Бк/л,

Каневском – 0,2 Бк/л, Кременчугском – 0,05 Бк/л. В течение последних лет загрязнение водных систем не представляет опасности для здоровья людей. Однако продолжать мониторинг необходимо, чтобы избежать загрязнения питьевой воды в результате вымывания радиоактивных веществ, которые в значительных количествах хранятся в бассейне водосбора.

Согласно оценкам, содержащимся в гидрогеологическом исследовании загрязнения грунтовых вод 30-километровой зоны, на протяжении 100 лет стронций-90 будет заражать питьевую воду выше допустимых норм.

На территориях других государств прямое и косвенное загрязнение озер вызывало много проблем, поскольку рыба в них накопила такое количество радиоактивных веществ, которое делает ее неприемлемой для употребления в пищу. Например, в Швеции в 1987 г. примерно в 14 тыс. озер (т. е. 15 % их общего количества) концентрация радиоцезия в рыбе превышала предел 1500 Бк/кг, установленный там для продажи озерной рыбы. В странах Европейского Союза регулярно отбирались пробы на содержание цезия-137 в питьевой воде, и в результате было определено, что с 1987 по 1990 гг. его уровень не превышал 0,1 Бк/л, т. е. не представлял опасности для здоровья. За 20 лет, прошедших после аварии, концентрация радиоактивности в воде значительно сократилась, главным образом, за счет закрепления радиоцезия в отложениях.

Всего в результате аварии на Чернобыльской АЭС радиоактивному загрязнению цезием-137 с плотностью более 1 Ки/км² подверглось 1,1 млн га *сельскохозяйственных угодий*. Наибольшие плотности и площади загрязнений в Украине выявлены в Киевской, Житомирской, Ровенской, Чер-

касской, Черниговской, Винницкой и Волынской областях.

Анализ результатов хозяйственной деятельности позволил разработать рекомендации по дальнейшему функционированию агропромышленного комплекса на загрязненных территориях. Эти материалы использованы при разработке принятой в 1991 г. концепции, которая содержит основные принципы организации сельскохозяйственного производства на территории Украины, загрязненной радиоактивными веществами, и является составной частью правил проживания на этих территориях.

Концепция определяет, что ведение сельского хозяйства разумно только в том случае, если радиационная обстановка допускает безопасное для здоровья выполнение работ и производство в личных подсобных хозяйствах продукции, пригодной для неограниченного использования в качестве продуктов питания. На территориях, где ведение агропромышленного производства не соответствует этим принципам, прекращаются все виды сельскохозяйственной деятельности. Концепцией предусматривается, что на землях с минимальным уровнем загрязнения и высоким плодородием целесообразно производить корма для молочного стада и для заключительного откорма животных.

Все земли, используемые где бы то ни было в сельском хозяйстве, в той или иной степени содержат радиоизотопы. Обычные почвы содержат, например, около 300 кБк/м³ калия-40 на глубину до 20 см. Этот и другие радионуклиды затем поглощаются сельскохозяйственными культурами и передаются в последующие звенья пищевой цепи, концентрируясь в пищевых продуктах и кормах в размере от 50 до 150 Бк/кг. Попадая в организм с пищей, радионукли-

ды накапливаются; к этому добавляется облучение, которое получает человеческий организм из естественных и искусственных внешних источников. Чрезмерное загрязнение сельскохозяйственных земель в случае серьезной ядерной аварии может привести к тому, что уровень содержания радионуклидов в продуктах питания станет неприемлемым.

В сельском хозяйстве наибольшее значение имеют те радионуклиды, которые в сравнительно высокой степени поглощаются сельскохозяйственными культурами и имеют высокие коэффициенты переноса в продукты животного происхождения, (такие как молоко и мясо), а также со сравнительно долгим периодом радиологического полураспада. Экологическое поведение радионуклидов является сложным, оно зависит не только от физических и химических характеристик самих радионуклидов, но и от типа почвы, системы выращивания сельскохозяйственных культур (включая методы возделывания почвы), климата, времени года и периода биологического полураспада в организме животного. Основными радионуклидами, которые вызывают беспокойство в сельском хозяйстве в результате крупной аварии реактора, являются йод-131, цезий-137, цезий-134 и стронций-90.

Поскольку изотопы цезия и стронция-90 относительно неподвижны в почве, то их поглощение корнями играет меньшую роль, чем прямое осаждение на растения. Однако такие факторы, как тип почвы, практика возделывания и климат, воздействуют на их способность перемещаться и попадать в грунтовые воды. Те же факторы влияют на доступ радионуклидов к растениям и определяют их концентрацию в почвенном растворе. Кроме того, степень поглощения растениями цезия и стронция

зависит от наличия соответственно калия и кальция. Так, повышенное внесение калийных удобрений может сократить поглощение цезия, а известкование – стронция.

В чернобыльском аварийном выбросе уровень содержания радиоцезия свыше 37 кБк/м^2 был зафиксирован в Беларуси, Украине и России на территории 125 тыс. км^2 , а уровень содержания радиоактивного стронция свыше 10 кБк/м^2 – на 30 тыс. км^2 . Из них около 52 тыс. км^2 использовались в сельском хозяйстве; остальные площади находились под лесами, водоемами и населенными пунктами. Хотя скорость движения цезия в почве, особенно лесной и торфяной, малая, она сильно зависит от типа почвы, водородного показателя, количества осадков и сельскохозяйственного возделывания. Радионуклиды обычно содержатся в частицах с матрицей двуокиси урана, графита, железо-керамических сплавов, силикатно-редкоземельных и силикатных сочетаниях этих материалов. Поэтому движение радионуклидов в почве зависит также от химического распада этих комплексов через окисление с выпуском более подвижных форм. Основная масса продуктов распада распределяется между органоминеральной и минеральной частями почвы, главным образом в гумусовых сочетаниях. В 30-километровой зоне ситуация значительно улучшилась отчасти вследствие естественных процессов, а отчасти – в результате проведенных мер по дезактивации.

На ранней стадии аварии меры, призванные оградить людей от воздействия радиации, носят ограничительный характер и, зачастую, должны предприниматься

немедленно, даже прежде, чем будут измерены и определены уровни загрязнения. Это – прекращение полевых работ, потребления свежих овощей, выпаса скота и птицы, а также завоз незагрязненных кормов. К сожалению, они остались нерезультативными. Вместо этого в Украине забил 15 000 коров независимо от уровня загрязнения, причем, получи они чистые корма, поглощение радиоцезия минимизировалось бы. В то же время применение калийных удобрений сократило поглощение радиоцезия в 2–14 раз, а также повысило урожайность.

В ряде подзолистых почв известкование их в сочетании с навозом и минеральными удобрениями может сократить накопление радиоцезия в некоторых зерновых и овощах в 30 раз. В торфяных почвах внесение песка и глины уменьшает передачу радиоцезия растениям благодаря его более прочному закреплению в почве. Содержание радиоцезия в мясе скота, предназначенного для потребления людьми, сводится к минимуму поэтапным введением чистых кормов за десять недель до забоя. С точки зрения здравого смысла эффективна политика сосредоточения производства основных видов продовольствия в наименее загрязненных областях.

Общее содержание основных радиоактивных загрязняющих веществ в 30-километровой зоне составляло: цезия-137 – 4,4 ПБк, стронция-90 – 4 ПБк, плутония-239 и плутония-240 – 32 ТБк. Поскольку предсказать скорость понижения этих уровней невозможно, до сих пор использование земель в наиболее загрязненных районах Беларуси, Украины и России ограничено.

Глава 2. СОЗДАНИЕ ОБЪЕКТА «УКРЫТИЕ»

Чтобы сделать в мире что-нибудь достойное, нельзя стоять на берегу, дрожа и думая о холодной воде и опасностях, подстерегающих пловцов. Надо прыгать в воду и выплывать как получится.

С. СМИТ

2.1. ПРОЕКТНЫЕ РЕШЕНИЯ

Первоочередная цель аварийных работ на 4-м блоке Чернобыльской АЭС, впоследствии зафиксированная в основных принципах обеспечения безопасности атомных электростанций как цель управления запроектной аварией, заключалась в восстановлении контроля над обстановкой и возвращении аварийного блока в безопасное состояние.

В середине мая 1986 г. принимается решение о долговременной консервации разрушенного 4-го энергоблока – переводе его в режим длительной выдержки подобно тому, как это предусмотрено технологической последовательностью снятия блока с эксплуатации. Но с весьма существенным отличием: если на этапе снятия с эксплуатации обязательна длительная выдержка энергоблока в безопасном состоянии после удаления ядерного топлива, то на разрушенном запроектной аварией 4-м блоке это условие не соблюдено. До тех пор, пока не найдены технические средства для обращения с разрушенным ядерным топливом и удаления его из блока, нахождение топлива в аварийном, неуправляемом состоянии внутри блока не позволяет говорить о переходе к этапу снятия блока с эксплуатации. При данном обстоятельстве нельзя считать завершенным процесс управления аварией и ее последствиями до тех пор, пока ядерные материалы не переведены в без-

опасное состояние и не поставлены на контролируемое хранение.

С окончанием активной стадии аварии на 4-м блоке управление запроектной аварией направляется на ослабление ее последствий, для чего необходимо создание дополнительных барьеров с целью уменьшения воздействия проникающей радиации на персонал и предотвращения дальнейшего распространения радионуклидов в окружающую среду, а также возможно скорейшего обеспечения контроля состояния топлива, оставшегося внутри блока.

Управление запроектной аварией – часть стратегии ослабления аварии и ее последствий – должно было обеспечить максимально возможную долговременную изоляцию блока как от воздействия внешней среды на него, так и от воздействия аварийного блока на окружающую среду и персонал соседних энергоблоков. Исходя из этого очевидно, что все разрушения следовало укрыть или бетоном, или грунтом, или выполнить какие-либо глухие экраны из тяжелых материалов, исключающие влияние излучения из аварийного блока.

Работы по захоронению 4-го энергоблока Чернобыльской АЭС и относящихся к нему сооружений были поручены Министерству среднего машиностроения СССР. Защитное сооружение, возведенное над разрушенным энергоблоком, впоследствии получает название объект «Укрытие». В конце мая 1986 г. для проведения строительных

работ в составе Министерства среднего машиностроения СССР формируется специальное Управление строительства (УС-605), состоящее из нескольких строительных и монтажных подразделений, бетонных заводов, управлений механизации, автотранспорта, энергоснабжения и т. д.

Из всего перечня первоочередных задач ликвидации последствий аварии задача захоронения аварийного энергоблока имела важнейшее, ключевое значение. Предшествующий мировой опыт ликвидации последствий аварий на радиационно опасных объектах оказался малоприменим при строительстве объекта «Укрытие», что связано как с масштабами аварии, так и с особенностями радиационной обстановки, характеризующейся чрезвычайно высокими полями гамма-излучения, неопределенностью в пространственном распределении источников излучения, опасностью внутреннего облучения за счет ингаляционного поступления радиоактивных аэрозолей.

Разрушенный энергоблок представлял собой мощный открытый источник ионизирующего излучения и аэрозольного радиоактивного загрязнения. Сооружение объекта «Укрытие» позволяло сразу решить несколько основных проблем:

- предотвращение выхода в окружающую среду радиоактивных веществ из поврежденного реактора;

- защиту эксплуатационного персонала станции от проникающего излучения;

- долговременную консервацию аварийного блока.

На стадии концептуального проектирования было рассмотрено 18 вариантов защитного сооружения, которые можно условно разделить на две группы. К первой группе относились проекты, в которых закладывалось возведение над аварийным

блоком самостоятельного сооружения типа арки; ко второй группе – проекты, максимально использующие имеющиеся строительные конструкции разрушенного энергоблока. Проведенные оценки показали, что реализация первой группы потребует 1,5–2 года и значительных капитальных затрат, а второй – нескольких месяцев. Поэтому остановились на более краткосрочном варианте, завершив его за 6 месяцев.

Из всего количества предложенных вариантов консервации разрушенного энергоблока за основу приняли эскизный проект, который был разработан специалистами ВНИПИЭТ под руководством проф. В. А. Курносова, поэтому ВНИПИЭТ и был назначен Генеральным проектировщиком объекта «Укрытие». Проектные работы удалось осуществить в течение трех месяцев – в период с 20 мая по 20 августа 1986 г. Документация по мере готовности передавалась строителям и при необходимости уточнялась или дополнялась бригадой авторского надзора. Научное руководство работами было возложено на Институт атомной энергии им. И. В. Курчатова.

Сложность строительства защитного сооружения заключалась в том, что отсутствовала достоверная информация о степени разрушения и состоянии конструкций 4-го блока, не было норм или каких-либо аналогов технических решений по захоронению таких объектов в мировой практике.

До проведения качественной радиационной разведки доминировало мнение о том, что основным источником излучения является разрушенный реактор, и в первую очередь нужно возвести защитные стены из бетона вокруг аварийного блока. Результаты радиационной разведки показали, что источник облучения персонала – загрязненная территория. После засыпки ее слоем

щебня и заливки бетоном уровни мощности экспозиционной дозы удалось снизить в среднем в 10 раз, а в отдельных местах – до 30 раз.

На начальном этапе строительства объекта «Укрытие» были определены наиболее безопасные маршруты для доставки персонала и грузов к рабочим местам с установленной в местах прострелов гамма-излучения теневой защитой.

При сооружении объекта «Укрытие» схема минимизации ущерба, конкретизирующая концепцию оптимального активного воздействия на радиационную обстановку, выполнялась в следующей последовательности:

- определение структуры формирования дозовых полей на рабочих местах и выявление источников излучения, которые должны быть подавлены в ходе ликвидации последствий аварии;

- планирование предстоящих строительно-восстановительных работ по этапам проведения, уровням облучения персонала, численности персонала и очередности выполнения. Очередность выполнения работ должна была обеспечивать наиболее быстрое снижение уровней радиационных полей на рабочих местах при осуществлении последующих этапов. Строительство каждого элемента «Укрытия» начинали с наиболее опасных направлений так, чтобы последующие работы шли под защитой этого элемента;

- разработка стратегии выполнения работ, включая уровень технической вооруженности, противорадиационные защитные мероприятия, контроль мощности доз от основных источников излучения, визуальные наблюдения и т. п.;

- определение регламента проведения строительных работ и действий оператив-

ного дозиметрического персонала по обеспечению радиационной безопасности бригад строителей на каждом участке работ.

2.2. ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТ И ЭТАПЫ ИХ ВЫПОЛНЕНИЯ

При строительстве объекта «Укрытие» можно выделить три этапа. Первый этап – с 20.05.86 по 15.07.86 г. – характеризовался наличием высоких уровней мощности экспозиционной дозы и неопределенностью структуры радиационных полей. Основные работы, выполняемые в этот период, заключались в изготовлении конструкций и элементов «Укрытия», защищающих рабочие места от основных источников излучения и в удалении или дезактивации этих источников (т. е. в освоении пространства для развертывания основных строительных работ), строительстве бетонного завода, транспортных коммуникаций, расширении железнодорожного узла, создании социально-бытовой инфраструктуры, изготовлении крупногабаритных конструкций и т. п.

На втором этапе – с 16.07.86 по 15.09.86 г. – был выполнен основной объем строительных работ, которые обеспечивали достижение необходимых прочностных и противорадиационно защитных характеристик объекта «Укрытие». Трудозатраты строителей здесь максимальны, а относительные дозы облучения на порядок меньше, чем на первом этапе.

Третий этап – с 16.09.86 по 01.12.86 г. – этап окончания строительно-монтажных работ.

В соответствии с принятым принципом поэтапного освоения территории – от периферии к центру – разработанная последовательность выполнения работ позволи-

ла проводить последующие операции под радиационной защитой ранее возведенных конструкций.

Основной задачей на первом этапе строительства объекта «Укрытие» являлось подавление мощных локальных источников на территории площадки (обломки топливных элементов, графитовой кладки и других конструкционных материалов разрушенного реактора). При очистке территории использовались военные инженерные машины разграждения с грейферным захватом, оборудованные специальной защитой, ослабляющей излучение в 1000 раз, телевидением и приборами для обнаружения локальных источников. Загрязненный грунт собирался защищенной специальной техникой в контейнеры. Заливку грунта слоем бетона вели с помощью автомобилей с оцинкованными снизу кабинами. В результате проведенных мероприятий уровни мощности доз на территории уменьшались от 5 до 30 раз.

Строительные работы велись круглосуточно, вахтами, численность которых достигала 10 тыс. человек. С учетом особо сложной радиационной обстановки был разработан специальный комплекс защитных мер.

В первую очередь возвели перегородки, отделившие поврежденный 4-й энергоблок от 3-го, а также пионерные защитные стены по периметру 4-го энергоблока из железобетона высотой 6 м с северной и 8 м – с южной и западной сторон энергоблока, обеспечивающие безопасность при производстве строительно-монтажных работ. Северная защитная стена выполнена из бетона в виде уступов (каскадов) высотой до 12 м. Каждый последующий уступ как можно больше приближался к разрушенному блоку. Внутри уступов укладывались изношенные и поврежденные металлокон-

струкции. Сохранившую западную стену снаружи закрыли стеной с контрфорсами высотой до 50 м.

В машинном зале между энергоблоками возвели монолитную стену. В деаэрационной этажерке разделительные стены толщиной 1 м сделаны из монолитного железобетона. В реакторном блоке для создания разделительной стены использовали транспортный коридор, заполнив его бетоном, а в некоторых местах – существующие стены и перегородки с соответствующей заделкой всех имеющихся проемов, отверстий, щелей и т. п.

Осторожный подход к аварийному реактору начали осуществлять со стороны машинного зала. Благодаря наличию рядом железнодорожных путей под стену машинного зала доставили 26 железнодорожных платформ, которые дистанционно залили бетоном для создания первого защитного щита и захоронения в полученном пространстве радиоактивных материалов. В результате этой операции соорудили защитную стену высотой до 2,5 м.

Затем дистанционно с помощью бетононасосов с максимальным вылетом стрелы подачи бетона 52 м стену довели до отметки 8,4 м. За стеной были размещены обломки строительных конструкций, контейнеры с загрязненным грунтом, которые засыпали смесью щебня и песка и забетонировали. В районе трансформаторной подстанции у машинного зала захоронили 1150 контейнеров с высокоактивными отходами. В результате образовалась монтажная площадка, куда поместили подъемный кран грузоподъемностью 70 т при вылете стрелы 72 м для монтажа перекрытий. Завершение этого этапа способствовало резкому снижению уровней ионизирующего излучения в районе проведения работ.

Аналогично выполнена торцевая стена. Предварительно удалили грунт на глубину до 0,5 м, засыпали щебнем и забетонировали прилегающую территорию, проложили железнодорожное полотно, обработали дезактивационными растворами примыкающие стены и кровли, на которых адсорбировались радиоактивные вещества. Для наружной контрфорсной стены использовали десять металлических секций высотой 45 м.

Следующий этап сооружения объекта «Укрытие» – возведение в северной части аварийного блока каскадной стены как основной опоры конструкции перекрытия. Сооружение каскада началось со стенок, собранных из платформ трейлеров силами Министерства обороны СССР. Но высота их не обеспечивала той минимальной теневой защиты, за которой можно было проводить дальнейшие работы по бетонированию. Все попытки забетонировать завал с дальнего расстояния результата не дали, поэтому применили тактику бетонирования от себя: постепенное бетонирование дистанционно достижимого пространства. Это дало возможность продвижения вперед с ослаблением дозовых нагрузок на персонал. Так, после бетонирования первой ступени дозовые нагрузки на рабочих местах снизились в десятки раз.

Вторая стена каскада легла на выровненное основание первой ступени. Образовалась первая надежная теневая защита, что дало возможность устроить там временный пункт управления аварийно-восстановительными работами. Бетонирование ступеней проводилось с использованием дистанционных методов, при этом объем бетона достигал 4 тыс. м³ в смену. Для отвода тепла из завала, где скопилось большое количество топливных материа-

лов, использовались объемные каркасы, обтянутые сеткой, что создавало при бетонировании естественные воздухопроводы.

Третью стену каскада устанавливали подъемным краном, причем до бетонирования основания стена удерживалась на весу и служила в качестве защиты. Перед возведением четвертой стены каскада внутри развала установили вспомогательную стену из полых каркасов, обтянутых сеткой, для защиты реакторного пространства от заливки бетоном. На этом этапе строители впервые выходили в зону застенного пространства для крепления стенки. Пятая объемная стена каркаса была выставлена на двутавровых балках с опорой на две предыдущие стены.

При сооружении объекта «Укрытие» применялась технология, используемая для возведения высокопрочных монолитных бетонных и бетонно-блочных конструкций в труднодоступных местах:

дистанционная закатка в металлическую опалубку бетона с его уплотнением;

подача бетона особой консистенции со специальными вяжущими добавками и с пониженным содержанием крупнодисперсных наполнителей (т. е. с мелким щебнем и с крупным песком) струей под высоким давлением.

Эта технология была единственной приемлемой для сооружения верхних ярусов внутренних разделительных стен высотой около 20 м между 3-м и 4-м энергоблоками, где мощность дозы достигала 30 сГр/ч.

Мощное ионизирующее излучение от разрушенного реактора исключало возможность оценить несущую способность сохранившихся строительных конструкций. В подобных условиях возникает необходимость максимально снизить массу перекрытия, поэтому использовался проект об-

легченного перекрытия из стальных труб диаметром 1200 мм. Трубы укладывались на две мощные стальные балки длиной 38 м, связанные между собой на земле для сохранения параллельности и установленные с помощью подъемного оборудования.

Для монтажа новых несущих конструкций перекрытия над центральным залом разрушенного реактора и деаэрационной этажеркой по результатам исследований строительных элементов, сохранившихся после взрыва реактора, в качестве опор были приняты: по западной стороне – сохранившаяся монолитная стена; по северной – вновь возведенная каскадная стена; по восточной – две сохранившиеся вентиляционные шахты; по южной стороне деаэрационной этажерки – металлическая балка пролетом 70 м, высотой около 6 м, шириной 2,4 м.

Поскольку определить состояние строительных конструкций непосредственным обследованием в 1986 г. не представлялось возможным, источником информации служили фотографии, полученные с вертолета. С помощью фотографий и осмотров с вертолета установили, что вентиляционные железобетонные шахты после взрыва не получили видимых разрушений. На существующие балки укладываются 27 металлических труб диаметром 1220 мм, длиной 34,5 м, а над трубами устраивается кровля из профилированного настила в виде шести пространственных блоков.

Опорой для стальных щитов по южной стороне служит стальная балка «Мамонт», установленная, в свою очередь, на бетонные опоры, выполненные на завале из разрушенных железобетонных конструкций перекрытий двух верхних этажей, обломков оборудования и трубопроводов. Для обеспечения большей надежности основания опор завал заполняется бетоном.

В связи с отсутствием возможности качественного производства работ и его контроля из-за недоступности и высоких радиационных полей осуществляется дистанционная программа испытания опор.

В 1986 г. монтируется первоначальный вариант перекрытия над машинным залом с опиранием несущих ферм на колонны деаэрационной этажерки и стальные решетчатые колонны, установленные снаружи машинного зала. Ввиду ненадежности этого покрытия, что обусловлено передачей значительной нагрузки на поврежденные колонны, оно было демонтировано.

В 1989 г. возводится новая конструкция перекрытия, существующая до настоящего времени.

Особенность нового перекрытия заключается в том, что оно не нагружает каркас, поскольку опирается на специально возведенные поперечные стены в машинном зале, и в то же время выполняет функцию горизонтального упора, предотвращающего смещение каркаса.

При сооружении объекта «Укрытие» происходило существенное воздействие на ядерное топливо, находящееся в развале реактора: внутрь помещений попадал бетон, могли произойти дополнительные перемещения разрушившихся конструкций реактора и строительных элементов, изменялся режим естественного охлаждения и т. п. Поэтому все время, пока сооружался объект «Укрытие», вне и внутри 4-го энергоблока велись интенсивные диагностические работы.

Созданию систем контроля разрушенного энергоблока предшествовала интенсивная работа многих научных организаций по диагностике состояния топливных масс, начавшаяся после аварии. Исключительно высокие мощности дозы гамма-из-

лучения затрудняли доставку измерительных приборов как можно ближе к выброшенному топливу.

В течение 1986 г. проектируется, изготавливается и укомплектовывается радиометрической и теплофизической аппаратурой серия специальных измерительных буюв, предназначенных для установки в различные точки разрушенного реактора. Буй оснащается комплектом датчиков и аппаратуры, позволяющим измерять и контролировать следующие параметры: мощность дозы гамма-излучения; температуру воздуха; температуру контакта датчика с поверхностью конструкций; плотность теплового потока с поверхностей; скорость движения воздуха.

Измерительный буй представлял собой диагностическое устройство с оболочкой в виде усеченного конуса, которое с помощью вертолетов, а позднее – строительных кранов, устанавливалось на поверхность развала реактора и в центральный зал. Каждый из буюв имел 25-метровый кабель, свободный конец которого крепили к вертолету или крану, после чего буй транспортировали в заданную точку, устанавливали на поверхность развала реактора, а затем через кабель подключали к измерительной сети. В каждом буюе (всего их, с разными детекторами, было 15) монтировались два преобразователя теплового потока для одновременного измерения температуры и плотности теплового потока на поверхность развала. В нижней плоскости укреплялись термометры для измерения температуры воздуха, примерно посредине буюа – детектор мощности дозы гамма-излучения, на верхнем конце – шесть анемометров.

Первый пробный измерительный буй устанавливается 5 августа 1986 г. С этого момента начинается непрерывный опера-

тивный контроль тепловых и радиационных параметров на поверхности развала реактора. Эксплуатация основной части буюв продолжается до конца сентября 1986 г.; к этому времени, по условиям ведения строительных работ, кабели, связывающие их с центральным пультом, выведены из строя. В дальнейшем, вплоть до ноября 1986 г., оперативный контроль развала проводится с помощью детекторов температуры и гамма-излучения единственного действовавшего буюа.

Результаты обработки показаний буюв свидетельствовали: мощность дозы над развалом уменьшается примерно в 2 раза за 60 суток, что хорошо соответствует расчетам; такое же снижение наблюдается по тепловым параметрам – значит, опасные тенденции в поведении топлива отсутствуют. Кроме того, результаты измерений позволили оценить интегральную сумму остаточного тепловыделения продуктов деления, а отсюда и массу топлива, оставшегося в помещениях блока.

Реализованный подход к сооружению объекта «Укрытие» давал многократный выигрыш в стоимости и сроках строительства. Действительно, от момента принятия решения о возведении объекта до его сдачи прошло полгода – для сооружения объекта таких масштабов и такой сложности случай беспрецедентный. Однако платой за выигрыш стала не только огромная коллективная доза, полученная строителями и монтажниками, но и принципиальные недостатки самого объекта. Возведение новых конструкций в непосредственной близости от разрушенного блока в сильных радиационных полях заставляло применять дистанционную технику. Для соединения многих ответственных конструкций невозможно было использовать сварку, а дистан-

ционный монтаж не позволял подгонять точно друг к другу большие металлические конструкции. Все это явилось причиной первого из крупных недостатков «Укрытия» – негерметичности, большого количества щелей. Их общая площадь, по последующим подсчетам, составляла 1000 м².

Радиационные поля и завалы не дали возможности по всем правилам оценить прочность многих из опор – старых конструкций, подвергшихся действию взрыва и пожара, а на них опирались главные несущие балки возводимого сооружения. Применение дистанционных методов бетонирования привело к тому, что большие массы бетона не попали в назначенное место. Они протекли в разрушенное здание, затруднили или сделали вообще невозможным проход во многие помещения и их разведку. Неопределенная прочность опор, поддерживающих основные несущие балки, – второй крупный недостаток.

Что касается вновь возводимых конструкций – несущих балок, трубного наката над центральным залом, стальных щитов кровли и др., то они проектировались и выполнялись в соответствии со строительными нормами и правилами, поэтому их прочность сомнений не вызывает, но долговечность ограничена отсутствием возможности периодического осмотра и восстановления антикоррозионного покрытия. Поэтому в заключении о надежности и долговечности конструкций кровли было отмечено, что, учитывая низкую скорость коррозии в условиях работы конструкций, срок службы конструкций из труб можно считать обеспеченным на 30–40 лет, а из балок – на 30. К сожалению, впоследствии эти цифры как бы узаконились на срок службы всего объекта, и 30 лет стали на-

зывать гарантированным временем безопасного состояния объекта «Укрытие». Но еще в 1986 г. отмечалось, что из-за возведения объекта «Укрытие» на разрушенных конструкциях и в условиях высокой радиационной обстановки, сложности установки конструкций и контроля их положения нельзя получить достоверные данные об их несущей способности.

Строительство объекта «Укрытие» завершилось в ноябре 1986 г.; 30 ноября 1986 г. Государственная комиссия приняла на техническое обслуживание законсервированный энергоблок № 4 Чернобыльской АЭС.

Конечным результатом работ по консервации аварийного блока стало создание инженерно-технических средств управления ходом и последствиями запроектной аварии, необходимых для установления контроля над аварийным блоком и стабилизации его состояния. С завершением строительства объекта «Укрытие» и естественным затуханием аварийных процессов ситуация на аварийном блоке в целом была взята под контроль и в основных чертах характеризовалась следующими признаками контролируемого состояния:

- прекращением реакции деления атомных ядер урана;

- постоянным охлаждением ядерного топлива;

- удержанием (локализацией) радиоактивных продуктов в установленных границах.

Прекращение цепной ядерной реакции произошло вследствие изменения геометрии и состояния ядерного топлива в ходе аварийных процессов. Поддержание топливных масс в подкритическом состоянии обеспечено засыпкой их карбидом бора с вертолетов на начальном этапе управления аварией. Для предотвращения самоподдер-

живающейся цепной реакции деления объект «Укрытие» оснащен инженерно-техническими средствами управления аварией, которые осуществляют как непрерывный контроль параметров состояния 4-го блока, так и гашение цепной реакции путем ввода поглотителей нейтронов в скопления топливосодержащих масс. Установлен и постоянно наращивается объем непрерывного контроля таких параметров состояния блока, как плотность потока нейтронов, мощность дозы гамма-излучения, температура, тепловой поток, активность аэрозолей на выходе из объекта. Для повышения ядерной безопасности консервированного блока смонтирована система подачи раствора метабората калия в развал реактора.

Постоянное охлаждение ядерного топлива обеспечивается естественной конвекцией потоками атмосферного воздуха, поступающего в объект через воздухопроводы приточной вентиляции и сбрасываемого в вентиляционную трубу через байпасную линию системы вытяжной вентиляции объекта «Укрытие», а также путем отвода тепла вследствие теплопроводности материалов и элементов сохранившихся строительных конструкций блока. Ввиду практически полного остывания топлива отпала надобность в инженерно-технических средствах управления аварией, созданных для отвода остаточного тепловыделения ядерного топлива. Поэтому системы охлаждения и контроля температуры подфундаментной плиты, а также приточной вентиляции выведены из эксплуатации и находятся в режиме консервации.

Удержание (локализация) радиоактивных продуктов внутри объекта обеспечивается как отсутствием аварийных процессов, так и организационно-техническими

мерами. К инженерно-техническим средствам управления аварией, служащим этой цели, относятся строительные элементы внешней оболочки объекта «Укрытие» (стены, кровля, укрепляющие, герметизирующие и другие конструкции) и стационарная система пылеподавления. Благодаря регулярному пылеподавлению, вынос радиоактивных продуктов из объекта «Укрытие» за счет их миграции и естественных процессов, происходящих внутри топливных масс, практически не влияет на глобальное состояние радионуклидного загрязнения окружающего воздушного пространства.

Возведением объекта «Укрытие», который предотвращал выход радиоактивности в атмосферу, закончилась первая фаза управления запроектной аварией на энергоблоке № 4 Чернобыльской АЭС. Началась вторая фаза: изучение состояния объекта «Укрытие» и повышение уровня его безопасности.

Сооружение объекта «Укрытие» создало барьеры на пути распространения радионуклидов и позволило в течение всех послеаварийных лет эксплуатировать энергоблоки Чернобыльской АЭС с дозами облучения эксплуатационного персонала, не превышающими установленных правилами и нормами по безопасности.

2.3. ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ

К работам по сооружению объекта «Укрытие» Чернобыльской АЭС в необычайно сложных, экстремальных условиях, обусловленных высокими уровнями радиации, радиоактивным загрязнением территории и атмосферного воздуха, был при-

влечен большой контингент людей, не знакомых даже с элементарными требованиями радиационной безопасности. При развертывании работ по сооружению объекта «Укрытие» вопросы радиационной безопасности стали первостепенными в деятельности руководителей работ.

Радиационная обстановка в первые дни после аварии характеризовалась высокими уровнями загрязнения поверхностей радионуклидами и мощностью экспозиционной дозы на подступах к аварийному блоку, превышавшей 4 Гр/ч, причем оставались неопределенными основные радиационные параметры, например, защитные свойства конструктивных элементов здания из-за их значительного разрушения, характеристики источников излучения, их конфигурация, мощность и энергетический спектр. Поэтому практически была невозможна расчетная оценка мощности дозы излучений и парциальных вкладов в дозы от различных источников излучения. Возникшая послеаварийная обстановка осложнялась наличием нерадиационных факторов опасности, связанных в основном с вероятностью обрушения строительных конструкций и инженерных коммуникаций, а также отсутствием штатных методик и серийно выпускаемых приборов радиационной разведки применительно к аварийным ситуациям.

В таких условиях предстояло в сжатые сроки выполнить работы по ликвидации последствий аварии, произвести долговременную консервацию аварийного блока с тем, чтобы предотвратить выход в окружающую среду радиоактивных веществ из разрушенного реактора и защитить территорию АЭС от ионизирующего излучения.

С учетом сложной радиационной обстановки и необходимости соблюдения норм

и правил радиационной безопасности был установлен вахтовый метод работы персонала с двухмесячной продолжительностью вахты. Численность одной вахты достигала 10 тыс. человек; на территории Чернобыльской АЭС график работы был круглосуточным в четыре смены.

Важной составной частью УС-605 являлся *отдел дозиметрического контроля*, подчинявшийся заместителю главного инженера управления. Организация и координация деятельности этой службы была возложена на отдел охраны труда Министерства среднего машиностроения СССР. Отдел дозиметрического контроля комплектовался квалифицированными специалистами предприятий министерства; его костяк составили руководители отделов дозиметрического контроля, радиационной безопасности, инженерно-технические работники, лаборанты-дозиметристы почти всех предприятий министерства.

В задачи отдела входили проведение радиационной разведки, контроль радиационной обстановки в местах выполнения работ и в зонах проживания, контроль индивидуальных доз облучения персонала, разработка мероприятий по радиационной защите работников и контроль за их соблюдением. Отдел состоял из группы обеспечения и трех лабораторий: оперативного контроля; бытовой дозиметрии; радиометрии проб и ремонта приборов. Общая численность отдела колебалась в пределах 150–270 человек (50 % – инженерно-технические работники, 50 % – лаборанты-дозиметристы) в различные периоды деятельности.

В лабораторию оперативного контроля входили три группы: оперативной радиационной разведки, дозиметрического контроля районов строительства и индивиду-

ального дозиметрического контроля. Основными задачами этой лаборатории являлись:

проведение радиационных разведок и составление картограмм полей излучения на территории Чернобыльской АЭС и в местах производства работ при сооружении объекта «Укрытие» с целью разработки конкретных проектных решений, планов производства строительно-монтажных работ и принятия мер по радиационной защите персонала;

контроль индивидуальных доз облучения персонала, включая оперативный и суммарный (за отдельные периоды работы и за всю вахту в целом), а также обработка результатов измерений, оформление справок и отчетов о полученных дозовых нагрузках;

определение реальной эффективности принятых мер по радиационной защите персонала, по удалению и подавлению источников излучения, по дезактивации территории, помещений, техники.

Лаборатория бытовой дозиметрии состояла из групп радиационного контроля в санпропускниках, столовых и местах проживания. К ее основным задачам относился контроль уровней гамма-излучения и радиоактивного загрязнения спецодежды, обуви, средств индивидуальной защиты и кожных покровов персонала в санпропускниках, столовых, гостиницах и административно-бытовых помещениях, а также контроль поверхностей мебели и имущества, контроль загрязнения транспортных средств, оборудования и различных предметов, отправляемых за пределы 30-километровой зоны.

Лаборатория радиометрии проб и ремонта приборов состояла из двух групп: радиометрии и ремонта. Ее основными задачами являлись:

пробоотбор, радиометрический и спектрометрический анализ проб воздуха, воды, почвы, растительности и загрязненности поверхностей, взятых в местах проведения строительно-монтажных работ, в помещениях административно-бытовых, приема пищи и проживания персонала;

ремонт, проверка и градуировка дозиметрической и радиометрической аппаратуры, установка и наладка многоканальных систем дистанционного контроля радиационной обстановки на отдельных участках работ.

В обеспечении радиационной безопасности при строительстве «Укрытия» приняли участие сотни дозиметристов, специалистов радиационной безопасности предприятий Министерства среднего машиностроения СССР, т.е. практически все, кто имел соответствующие опыт и знания.

Данные радиационных разведок в конце мая 1986 г. показали, что в районе разрушенного блока основным фактором, определявшим радиационную обстановку, являлось гамма-излучение, мощность дозы которого находилась в пределах от нескольких миллigrей в час до нескольких грей в час, а в отдельных местах, где скопились обломки элементов активной зоны реактора, — до нескольких десятков грей в час. Радиоактивное загрязнение поверхностей территории и зданий АЭС составляло от $1 \cdot 10^4$ до $1 \cdot 10^8$ бета-частиц/(см² · мин) и от $1 \cdot 10^2$ до $1 \cdot 10^5$ альфа-частиц/(см² · мин), а загрязнение воздушной среды радиоактивными аэрозолями в местах проведения работ измерялись 1–10 допустимыми концентрациями для различных радионуклидов.

Положение усугублялось необходимостью определения пространственно-углового распределения гамма-излучения для обнаружения локальных источников излучения. Эти измерения проводились стандарт-

ной аппаратурой радиационного контроля с набором различных коллиматоров. В качестве простейшего коллиматора использовался бронетранспортер, на бортах которого укреплялись дозиметры. Стальной корпус бронетранспортера и дополнительная свинцовая защита обеспечивали со стороны каждой из шести граней измерение интегральной дозы от соответствующего полупространства.

Измерения показали, что 75–80 % мощности дозы излучения обусловлено радиоактивными элементами, рассредоточенными по территории, а не прострелами из развала реактора, как предполагалось первоначально. В связи с этим было предложено создать защитный экран на территории, примыкающей к разрушенному блоку, путем засыпки ее щебнем с последующей заливкой слоем бетона. Реализация этого предложения привела к снижению мощности дозы в несколько десятков раз.

Проведение радиационной разведки в опасных и труднодоступных местах потребовало некоторой доработки применявшихся приборов: наращивания до 15–20 м кабелей, соединяющих детекторы с измерительным пультом; уменьшения постоянной времени установления стрелки прибора для сокращения времени измерения в полях с высокими дозами облучения; укрепления детекторов на штангах, позволяющих выносить детекторы на 34 м и тем самым уменьшать радиационное воздействие на оператора. После доработки приборы градуировались с помощью эталонных источников.

Непрерывные измерения в помещениях машинного зала разрушенного блока показали, что при мощности дозы гамма-излучения 0,4–0,7 сГр/ч уровни нейтронного излучения составляли 0,004–0,008 сГр/ч, т. е.

вклад нейтронов в полную дозу не превышал 2 %. Поэтому при проведении индивидуального дозиметрического контроля вклад нейтронов не учитывался.

Одним из радиационных факторов при сооружении объекта «Укрытие» являлось внешнее воздействие бета-излучения. Для бета-излучения критический орган – кожный покров человека. Применявшиеся средства индивидуальной защиты экранировали тело человека по отношению к бета-излучению. В связи с этим, по сравнению с гамма-излучением, фактическая опасность бета-излучения была существенно ниже. Концентрация радионуклидов в воздухе определялась как по суммарной активности фильтров, так и по активности отдельных радионуклидов на фильтрах с использованием спектрометрических методов исследования. Пробы воздуха для анализа отбирались на территории и в помещениях Чернобыльской АЭС в специальных реперных точках. Кроме того, регулярно осуществлялся объезд на бронетранспортере по периметру станции с целью отбора проб воздуха в нескольких точках. По мере сооружения объекта «Укрытие» концентрации радионуклидов в воздухе снижались.

Анализ данных о состоянии воздушной среды в зоне работ по сооружению объекта «Укрытие» показал, что концентрация бета-активных аэрозолей в 100–1000 раз превышала концентрацию альфа-активных. В ряде помещений разрушенного блока средняя величина отношения бета-активности к альфа-активности в воздухе в июле 1986 г. составляла 600, в то время как в выброшенных из реактора продуктах на 06.05.86 г. – 1100.

Концентрации радиоактивных аэрозолей в зоне работ превышали допустимые,

как правило, не более чем на порядок. Лишь при выполнении отдельных пылеобразующих операций загрязнение воздуха достигало 100–300 значений допустимых концентраций.

Поскольку уровни гамма-излучения по мощности дозы превышали допустимую величину в пределах $1 \cdot 10^3$ – $5 \cdot 10^4$ раз, то опасность внутреннего облучения персонала была существенно меньше по сравнению с внешним и еще более снижалась применением средств индивидуальной защиты органов дыхания. Тем не менее, для контроля содержания радионуклидов в организме часть персонала, получившая дозу внешнего облучения больше 20 сЗв, направлялась для последующего обследования внутреннего облучения на счетчике излучения человека.

Реализация проектных решений при сооружении объекта «Укрытие» в сложной радиационной обстановке потребовала выполнения комплекса организационно-технических мероприятий для обеспечения радиационной защиты персонала, к которым, прежде всего, следует отнести:

использование строительной техники и машин с дистанционным управлением, в том числе радиоуправляемых. Для управления процессом монтажа был создан центральный оперативный пост с телеэкраном, соединенный системой связи с выносными подвижными телекамерами, смонтированными непосредственно на стрелках грузоподъемных кранов и специальных вышках, установленных в точках максимального обзора. Аналогичным образом с помощью телевизионных мониторов и двухсторонней громкоговорящей связи была организована работа на местах с повышенным уровнем излучения;

применение специальных технологий производства бетонных работ с использо-

ванием дистанционной бетононасосной техники. Для предотвращения растекания бетонной массы в местах подачи бетона применялись металлические и капроновые сети, мешки с бетоном или щебнем, конструктивные элементы разрушенного здания, которые дистанционно перемещались в необходимые места;

использование различных радиационно защищенных кабин машин, механизмов и экранов для проведения работ в высоких полях ионизирующего излучения, которые имели коэффициенты защиты от излучения от 5 до 3000. Разработка и изготовление защитных экранов производились на месте из листового свинца и свинцового стекла. Для выполнения работ или визуального наблюдения за их ходом в местах, где излучение превышало 100 сГр/ч, были созданы специальные транспортабельные бронированные кабины, получившие название «батискафы», которые подвешивались на стреле подъемного крана и имели коэффициент защиты до 2000;

использование специальных технологий и технических средств для механической дезактивации территории и сооружений Чернобыльской АЭС. Основная часть территории вокруг разрушенного блока дезактивировалась путем удаления разбросанных активных элементов и графита и снятия зараженного поверхностного слоя грунта. В отдельных местах производилось пылеудаление специальными установками. Подавление локальных источников осуществлялось засыпкой щебнем и бетонированием. Большую часть высокоактивных элементов при очистке территории загружали в контейнеры и сбрасывали в развал реактора для захоронения внутри возводимого объекта «Укрытие». Снятый грунт и другие радиоактивные материалы вывозили в

специально организованные временные пункты захоронения;

использование для дезактивационных работ инженерных машин разграждения с грейферными захватами на выдвижной стреле и ножом бульдозера, радиоуправляемых бульдозеров, фронтальных погрузчиков и другой дорожно-строительной техники, оснащенной защитой от излучения рабочего места оператора, установками фильтрации воздуха, аппаратурой теленаблюдения и радиосвязью. Для дезактивации загрязненных кровель применялись роботизированные дистанционно управляемые механизмы, а также радиационно защищенные мини-тракторы, оснащенные бульдозерными ножами, фрезами или грейферными захватами;

применение для монтажных работ кранов большой грузоподъемности, оснащенных телекамерами и позволяющих монтировать части конструкций массой до 160 т на вылетах стрел до 50 м; использование новых методов строповки грузов без участия человека, а также специальных кондукторов для точной установки конструктивных элементов на место при опускании их кранами.

Очистку загрязненных радиоактивными веществами кровель производили, как правило, военные специалисты, призванные на краткосрочные сборы. Дозиметрический контроль этих специалистов в местах проведения работ осуществлялся гражданскими лицами из отдела дозиметрического контроля. Уровни радиоактивного загрязнения поверхностей кровли по результатам обследования имели значительный разброс; так что мощности дозы очень резко различались в разных местах.

Чтобы оценить эти загрязнения, были разработаны специальные методики, осно-

ванные на пассивной дозиметрии, т. е. на облучении с последующей обработкой облученных детекторов. Так, для высокоактивных участков использовались специальные маты из полиэтилена, на которые укреплялось большое количество детекторов с заданной геометрической сеткой; затем эти маты размещались на кровлях, а через некоторый промежуток времени снимались с них. На основании обработки детекторов создавались картограммы с изолиниями, позволяющие определить распределение источников на кровле.

На период работ по ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС Министерством здравоохранения СССР была установлена суммарная предельная индивидуальная доза внешнего облучения, равная 25 сЗв за все время работы на площадке, и предельная доза облучения за одну рабочую смену – 1 сЗв. При достижении суммарной предельной индивидуальной дозы внешнего облучения работник освобождался от работы в зоне Чернобыльской АЭС и направлялся на медицинское обследование.

В целях сокращения разноса радиоактивных веществ транспортом и людьми весь район отчуждения вокруг Чернобыльской АЭС был разделен на три зоны:

первая зона – территория, ограниченная снаружи условной окружностью радиусом 30 км от Чернобыльской АЭС, в которую входил г. Чернобыль, где размещались центры управления работами по ликвидации последствий аварии, вспомогательные службы, столовые;

вторая зона – с границей на расстоянии около 10 км от Чернобыльской АЭС, где размещались основные производственные подразделения для подготовки строительных конструкций, материалов, в том числе

бетона, и механизмы перед производством работ непосредственно на площадке;

третья зона – промплощадка станции с радиусом 3 км.

Весь транспорт на выездах из загрязненных зон в более чистые подвергался обязательному контролю по уровню радиоактивного загрязнения и, в случае превышения допустимой величины, направлялся на специальные пункты санитарной обработки. Автобусы, перевозившие людей, были закреплены за соответствующими зонами, пересадка людей производилась на специальных площадках около пунктов санобработки транспорта. На границе первой и второй зон на специальной эстакаде бетон перегружался из чистых бетоновозов-миксеров в грязные, осуществлявшие перевозку бетона на территорию станции.

Все принимавшие участие в работах на Чернобыльской АЭС в обязательном порядке проходили медицинское освидетельствование и инструктаж по вопросам радиационной безопасности, мерам личной гигиены, способам защиты и правилам использования средств защиты. Работники обеспечивались основной спецодеждой, обувью и средствами индивидуальной защиты органов дыхания – респираторами «Лепесток». Кроме того, в зависимости от характера и условий работы, они оснащались дополнительными средствами защиты: свинцованными плечевыми фартуками, поясами, очками, нарукавниками, перчатками, бахилами, фильтрующими противогазами, изолирующими дыхательными аппаратами и костюмами.

Спецодежду, белье, обувь и другие индивидуальные средства защиты при наличии радиоактивных загрязнений направляли на дезактивацию или, в зависимости от степени радиоактивного загрязнения, уда-

ляли в радиоактивные отходы, а затем – на пункты захоронения.

В зоне отчуждения Чернобыльской АЭС действовал санитарно-пропускной режим, предусматривавший переобувание, санитарную обработку и принудительный радиационный контроль персонала при выходе из грязных зон в чистые.

При входе в столовые и жилые зоны постоянно функционировали дозиметрические посты, где контролировалось загрязнение рук, одежды, обуви и были установлены умывальники и устройства для обмыва обуви. Проход в столовые и жилые помещения при наличии загрязнений выше установленных уровней запрещался. Радиоактивное загрязнение посуды в столовых не допускалось.

Все работы в районе аварийного энергоблока проводились только после контроля радиационной обстановки, определения основных источников излучения и безопасных регламентов работ. На наиболее радиационно опасных участках работы осуществлялись по допускам и с пооперационным дозиметрическим контролем.

Снижение дозы облучения персонала достигалось ограничением времени пребывания в радиационно опасных условиях, дистанционным выполнением технологических операций и использованием защитных экранов и укрытий. Кроме дистанционно управляемых механизмов широко использовались инструмент и приспособления, отдаляющие человека от локальных источников излучения (захват, манипуляторы, удлиненные рукоятки).

В качестве защитных экранов применялись стенки из мешков с песком, железобетонных плит, свинцовых кирпичей и временных штор из листового свинца на переносных каркасах.

На работах, связанных с образованием пыли, принимались различные меры по пылеподавлению: полив водой дорог, орошение территории, участка работ, увлажнение грунта и т. п.

По возможности сокращалось время доставки персонала к месту работы путем использования лифтов, подъемников. Перевозка работников по территории Чернобыльской АЭС осуществлялась автобусами, оборудованными экранами из листового свинца с коэффициентом защиты, равным 3; поступающий в салон воздух очищался через фильтры. Часть автобусов была оснащена кондиционерами. Ограничением скорости движения транспорта до 30 км/ч, обработкой дорожного покрытия специальными дезактивирующими составами и закреплением обочин связывающими, клеящими составами достигалось снижение пылеобразования при перевозках и, тем самым, уменьшалась вероятность поступления радионуклидов через органы дыхания.

Результаты радиационного контроля при сооружении объекта «Укрытие» свидетельствуют о том, что принятые комплексные меры по обеспечению радиационной безопасности персонала позволили свести к минимуму дозы его облучения несмотря на сложную, экстремальную радиационную обстановку, крупные масштабы и высокие темпы работ.

При помощи телевизионных установок проводились визуальный дистанционный контроль процесса монтажа конструкций, перекрытий, качества бетонирования, исследование разрушенных конструкций, удаление высокоактивных источников излучения и другие работы, проводимые в радиационно опасных условиях. Применение телевизионных установок сыграло

большую роль в уменьшении дозовых нагрузок персонала, которому приходилось по 10–12 часов находиться на строительной площадке. Освещение строительной площадки было выполнено с помощью галогенных светильников, поднятых на высоту 100–150 м с использованием аэростатов.

Сочетание правильной организации труда, дистанционных технологий строительных работ, четкой организации радиационного контроля и радиационной защиты людей и техники, а также использование квалифицированного персонала из состава профессиональных работников Министерства среднего машиностроения СССР позволило успешно выполнить в полном объеме все запланированные работы по укрытию разрушенного энергоблока в сжатые сроки без переоблучения людей. Анализируя дозы облучения персонала при строительстве объекта «Укрытие», можно сделать следующие выводы: доза облучения от 1 до 5 сЗв была получена более 50 % персонала; доза облучения больше 25 сЗв – 0,6 % (155 человек) от общего числа работавших (21 545 человек), максимальная доза облучения составила 49,2 сЗв.

2.4. ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОБЪЕКТА

После завершения строительства объекта «Укрытие» продолжались начатые еще в первые дни после аварии комплексные диагностические исследования. Основными направлениями исследований являлись: уточнение количества и размещения ядерного топлива внутри энергоблока;

определение механического и физико-химического состояния основных топливных масс;

оценка ядерной и радиационной безопасности;

создание и эксплуатация систем диагностики;

контроль надежности строительных конструкций объекта.

После аварии большинство внутренних помещений энергоблока, прилегающих к шахте реактора, оказались либо разрушенными, либо недоступными для непосредственных исследований. На этой стадии значительная часть общей информации о количестве, расположении и поведении топлива была получена посредством измерений, проводившихся на периферии объекта. Перед исследователями ставились следующие основные задачи:

оценить по измерению тепловых потоков интегральное тепловыделение;

сравнить измеренные значения скорости уменьшения температуры и тепловых потоков в различных точках объекта «Укрытие» с результатами расчетов, проведенных для остаточного тепловыделения топлива;

определить расположение основных скоплений топливосодержащих масс.

Результатом решения этих задач должна была стать информация о количестве и поведении топлива. Для ее получения требовалось создание диагностических комплексов, т. е. наличие большого количества датчиков, размещенных по замкнутой поверхности вокруг объема, в котором находится основная масса оставшегося топлива.

В течение 1986–1987 гг. велась разведка мест скопления топливосодержащих масс с помощью специальных оперативно созданных переносных измерительных приборов – тепломеров, которые представляли собой датчики теплового потока повышенной чувствительности, укрепленные

шарнирно на концах длинных штанг. При помощи ручных перфораторов проводилось бурение скважин малого диаметра в стенах, в которых также измерялись тепловые потоки и температура.

Наиболее существенным результатом всех исследований по диагностическим программам стало техническое задание на штатную систему контроля и диагностики. Контроль и диагностика блока были поручены Институту ядерных исследований Национальной академии наук Украины.

Поскольку к октябрю 1986 г. информация стала поступать только с одного из установленных измерительных буюв, с использованием переносной теплофизической и радиометрической аппаратуры обследуются помещения, прилегающие к шахте реактора. По их результатам выбираются новые точки контроля и начинается установка детекторов внутри объекта «Укрытие», в основном, в его нижней части. Кроме того, с крыши, через специальные каналы в трубном перекрытии, в пространство над развалом реактора вводятся ионизационные камеры и измерители температуры. После подключения их к уже существующей измерительной аппаратуре они вместе образовали исследовательский информационно-диагностический комплекс – систему «Финиш». Основные функции этой системы заключались в осуществлении непрерывного контроля тепловых и радиационных параметров.

С 1987 г. информация от части датчиков начинает поступать в информационно-диагностическую систему «Шатер», ставшую впоследствии штатной системой объекта «Укрытие». Фактически являясь периферийной, настроенной на очень большие поля, эта система должна была сигнализировать об аварийном изменении нейт-

ронного потока, гамма-полей, температур в точках контроля. Следует отметить, что отсутствие в тот период конкретных данных о распределении топлива в помещениях четвертого энергоблока вынуждало размещать диагностические детекторы вслепую. Как выяснилось к 1989 г., большинство из них контролировало температуру и радиационную обстановку вдали от зон размещения больших скоплений топливосодержащих масс.

Контролируются активность и нуклидный состав газоаэрозольных выбросов объекта «Укрытие» через вентиляционную трубу. Отбор воздуха производится из байпасной линии вытяжной системы вентиляции объекта «Укрытие». Газоаэрозольные выбросы через неплотности измеряются планшетами, находящимися на кровле объекта «Укрытие».

Устанавливается система контроля концентрации водорода, предназначенная для непрерывного контроля и регистрации его содержания в воздухе, под перекрытием шахты реактора и в центральном зале. В 1994 г. монтируется система автоматической сигнализации о возникновении самоподдерживающейся цепной реакции.

Уже в 1986 г. удалось определить не только основные места расположения топливосодержащих масс, но и их модификацию. В первую очередь опасность представляет мелкодиспергированная пыль, которая попала практически во все помещения «Укрытия», внедрившись в стены, потолки, полы и т. п. Но есть топливо и в виде фрагментов, оставшихся от активной зоны, представляющих собой целые топливные сборки, отдельные тепловыделяющие элементы, их части, а также в виде застывшей лавы. Такую модификацию никто не мог предположить. Ее впервые обнаружили в одном из

подреакторных коридоров. Несколько кубометров бетона, перемешанного с топливом, образовали «слоновую ногу» – огромный монолит, мощность дозы от которого в 1986 г. составляла около 80 Гр/ч. Отколоть от этого монолита кусочек вещества для отбора пробы никак не могли – лава была так крепка, что не поддавалась даже сверлению, которое пытались осуществить при помощи специального дистанционно управляемого сверлильного станка. И лишь с применением стрелкового оружия, всадив в одно и то же место несколько бронебойных пуль, удалось отколоть несколько небольших осколков. Анализ показал, что на 70–90 % они состоят из двуокиси кремния (расплавленного песка), на 2–10 % – из топливных частиц, есть еще графит, примеси металлов.

Исследователи столкнулись с явлением разрушения бетона при соприкосновении его с горячим топливом. На более низких отметках бетон и топливо местами превращались в остеклованные массы. Под воздействием высоких радиационных полей и электростатических сил стекло преобразовывалось в пыль.

Считалось, что любое сильное разрушение под какими-либо воздействиями внутри объекта «Укрытие» может привести к трем опасностям:

возникновению цепной реакции деления с выбросом в атмосферу радиоактивных веществ в результате объединения топливных масс;

завалке топлива строительными конструкциями, его последующему разогреву и разрушению ближайших слоев бетона (эти неуправляемые процессы могли привести к тяжелым последствиям);

выходу за пределы объекта в случае больших разрушений конструкций десятков тонн топлива, превратившегося в пыль.

Количество и состояние ядерного топлива. Дать обоснованную оценку общего количества топлива во фрагментах активной зоны – наиболее ядерно-опасной модификации – на основании имеющейся в настоящее время информации невозможно. В целом, формы ядерного топлива, содержащегося в объекте, таковы:

фрагменты активной зоны – гранулы двухпроцентной обогащенной двуокиси урана с включением некоторых продуктов распада, в основном не изменившие ту первоначальную форму, в которой они содержались в топливных стержнях;

горячие частицы двуокиси урана диаметром несколько десятков микрон или более мелкие частицы (всего в несколько микрон), состоящие из топлива, сплавленного с металлом оболочек топливных стержней;

несколько обширных, лаваобразных потоков топлива, смешанного с песком или бетоном;

растворимые в воде формы ядерного топлива.

Весь период существования объекта «Укрытие» можно разбить на несколько этапов изучения топливосодержащих масс. На *первом этапе* (1986–1987 гг.), благодаря исследованиям распределения радиоактивных осадков на различных территориях, удалось определить интегральное количество топлива, которое осталось в объекте. По подсчетам, его должно было остаться больше 95 % первоначальной загрузки реактора 4-го блока. Были зафиксированы и основные модификации топливосодержащих масс – фрагменты активной зоны, топливная пыль, лаваобразные массы, уран и трансурановые элементы, которые содержатся в воде, накопленной в объекте «Укрытие».

Второй этап (1988–1991 гг.) – время наиболее интенсивного сбора информации.

Исследования ведутся разведывательными группами при помощи буровых скважин. Результатом этого этапа можно считать выпуск документа «Техническое обоснование ядерной безопасности объекта «Укрытие»», где приведены первые оценки распределения топливных масс в помещениях объекта. При помощи нейтронных исследований, радиохимических анализов образцов, дистанционных методов определения критичности топливных масс удалось доказать, что ни при каких мыслимых перемещениях топливных масс внутри «Укрытия» создать из них сборку, в которой бы возникла самопроизвольная цепная реакция, невозможно. Топливо находится в глубоко подкритическом состоянии. Общее количество топлива в помещениях объекта «Укрытие» оценено в 135 ± 30 т.

На *третьем этапе* (1992–1996 гг.) бурение буровых скважин внутри объекта практически прекращено. Однако продолжается работа разведывательных групп и накапливается информация, которая поступает от систем контроля и диагностики. Проводятся анализы проб. Предлагаются новые методы оценки количества лаваобразных топливных масс в нижних помещениях по выбросу радиоактивного цезия и химическому составу топливных масс. Ряд объективных и субъективных причин, таких как охлаждение топливных масс и их разрушение, выявление новых композиций топлива и прочее, заставляют вернуться к вопросам переоценки ядерной безопасности объекта «Укрытие».

Четвертый этап (1996–2001 гг.) – разветвление широкого фронта работ по преобразованию объекта «Укрытие». Необходимо не только получить новую информацию, но и более тщательно и целенаправленно проанализировать все данные

относительно топливосодержащих масс. Поэтому одновременно с обследованием верхних и подреакторных помещений объекта «Укрытие» выполняется много аналитических и расчетных исследований, проводится верификация анализов проб и данных систем контроля. Основная задача исследователей – от общего описания топливных масс объекта перейти к анализу состояния конкретных помещений и, главное, исследовать сосредоточения топлива в них, точнее оценить их радиационную и ядерную опасность.

На основании данных о выбросе можно утверждать, что свыше 95 %, т. е. больше 180 т, облученного топлива из разрушенной активной зоны реактора содержится в объекте «Укрытие». Отыскать все 180 т пока не удалось. Исследователи не смогли добраться к некоторым местам в объекте, где могут быть сконцентрированы значительные массы топлива.

На сегодняшний день имеются данные о наличии в помещениях объекта «Укрытие» около 125 т ядерного топлива из разрушенного реактора, 5,5 т – свежего топлива в центральном зале и 15 т отработавшего ядерного топлива из бассейна выдержки. Однако до настоящего времени существуют, хотя и малообоснованные, предположения, что при аварии испарилось около 95 % ядерного топлива реактора и в связи с этим объект «Укрытие» не представляет никакой опасности. Информация о топливе, находящемся в помещениях объекта, является важной с точки зрения оценки ядерной безопасности. Поэтому на объекте постоянно ведутся исследования с целью уточнения объемов и вида содержащихся в нем топливных масс.

Опыт работы и все исследования, проводимые на объекте «Укрытие», показыва-

ют, что в сложившемся реальном состоянии топливосодержащие массы являются подкритическими. Однако баланс распределения ядерного топлива по помещениям не сведен. В ряде помещений, в которые произошел выброс фрагментов активной зоны, исследования количества и физико-химического состояния ядерного топлива не проводились. Полученная к настоящему времени информация о распределении ядерного топлива по помещениям не позволяет с приемлемой точностью сделать прогноз его ядерной безопасности и теоретически не исключает возможность достижения критичности и возникновения самоподдерживающейся цепной реакции деления при изменениях свойств или геометрии топливных масс.

Исследования динамики топливосодержащих масс показали, что существуют, по крайней мере, четыре процесса их изменения. Они представлены:

- измельчением топливных частиц;

- разрушением поверхности лавообразных материалов и появлением на ней топливной пыли;

- образованием на поверхности лавы новых, в том числе растворимых, соединений урана;

- выщелачиванием радионуклидов из топливных масс.

Измельчение топливных частиц приводит к возрастанию их респираторной опасности. Разрушение поверхности лавообразных материалов и появление на ней топливной пыли увеличивает общее количество горячих топливных частиц в объекте. Новообразования на лавах включают в себя растворимые соли урана, и следовательно, потенциально увеличивается миграционная способность обогащенного топлива внутри объекта. Выщелачивание радионук-

лидов может стать причиной дополнительного загрязнения окружающей среды.

В консервативных оценках суммарное количество мелкодиспергированного топлива на поверхности завала реакторного зала и других открытых поверхностях, находящихся под кровлей объекта «Укрытие», составляет около 1 т. Попытки рассчитать количество радиоактивной пыли в других помещениях основывались на измеренных в этих помещениях значениях мощности дозы. В результате этих расчетов масса топлива в пересчете на уран оценивается в 10 т. В настоящее время суммарная активность в помещениях объекта «Укрытие» составляет порядка 20 МКи.

Состояние строительных конструкций. Еще на стадии строительства были известны многочисленные слабые места несущих конструкций объекта «Укрытие», но выработка технических предложений по его стабилизации и преобразованию в условиях отсутствия необходимой полноты проектной и исследовательской документации на первоначальном этапе эксплуатации являлась сложной задачей, так как большая часть разрушенных конструкций оставалась недоступной и неизученной.

Поэтому на протяжении всего периода существования объекта на нем непрерывно велись работы по усилению отдельных элементов и узлов конструкций, ориентированные на общую структурную стабилизацию системы объекта «Укрытие», что существенно улучшило качество объекта как инженерного сооружения. Однако при оценке его состояния следует учитывать, в первую очередь, то, что он проектировался лишь как временное сооружение. Анализ нынешнего состояния показывает, что в настоящее время гарантирован-

ный срок существования объекта установить очень трудно, и это объясняется такими причинами:

проектирование и строительство объекта «Укрытие» велось в сложных радиационно опасных условиях, при которых работы выполнялись дистанционно, без контроля монтажа стальных конструкций в соответствии со строительными нормами и правилами;

ввиду невозможности обследования части использованных в качестве несущих элементов сооружения поврежденных конструкций разрушенного энергоблока отсутствует точная оценка их фактической несущей способности, а следовательно, и долговечности;

указанные конструкции открыты разрушающим воздействиям атмосферы (температура, влажность и т. п.); во многих местах конструкции недоступны для детального обследования.

Надежность отдельных вновь возведенных строительных элементов объекта «Укрытие» не вызывает сомнений, и требования их нормальной технической эксплуатации ограничиваются лишь отсутствием возможности периодического осмотра всех узлов и восстановления антикоррозионного покрытия. Но основные параметры объекта как единой конструктивной системы определяются, главным образом, состоянием опорных конструкций разрушенного энергоблока. В связи с тяжелой радиационной обстановкой в процессе монтажа именно эти узлы выполнялись дистанционно без использования сварных и болтовых соединений. Сдвигающие усилия в ряде случаев воспринимаются только за счет трения, отсутствуют некоторые связи, дефектен ряд опорных зон ответственных элементов.

ния эти отложения уже представляют угрозу как источник аэрозолей.

Показатели радиационного состояния дают наиболее важную характеристику объекта «Укрытие». Радиационный контроль при проведении работ на объекте включает:

- контроль мощности дозы гамма-излучения в местах производства работ;

- контроль концентрации альфа- и бета-аэрозолей в воздухе производственных помещений и в воздухе на территории промплощадки;

- контроль удельной и суммарной активности нуклидного состава аэрозольных выбросов в атмосферу;

- контроль мощности дозы и удельной активности РАО, направляемых на захоронение;

- индивидуальный дозиметрический контроль внешнего и внутреннего облучения персонала;

- контроль загрязнения поверхностей помещений, оборудования, спецодежды и кожных покровов персонала;

- контроль уровней загрязнений поверхностей транспортных средств и механизмов оборудования, вывозимых с территории объекта;

- контроль уровня загрязнения и активности образцов, вывозимых за территорию объекта;

- контроль за санитарной обработкой кожных покровов персонала в санпропускнике с целью своевременной и полной замены спецодежды и средств защиты.

По первоначальному проекту объекта «Укрытие» предполагалась полная изоляция и захоронение всех помещений, относящихся к аварийному энергоблоку. Никаких стационарных мер по обеспечению доступа персонала в захораниваемые по-

мещения не предусматривалось. Большинство этих помещений и сегодня практически недоступны для обслуживающего персонала.

Однако неполнота знаний о величине ядерной, радиационной, экологической опасностей и опасности разрушения строительных конструкций требует расширения разведывательных, исследовательских и профилактических работ. Выход из этого противоречия лежит в широком использовании дистанционных механизмов и робототехнических средств.

На протяжении довольно длительного периода времени, до тех пор, пока поврежденное ядерное топливо не будет полностью переведено в безопасное состояние путем создания дополнительных защитных барьеров, первоочередной задачей эксплуатации остается управление запроектной аварией и ее последствиями для поддержания разрушенного четвертого энергоблока в контролируемом состоянии, при котором выполняются требования ядерной безопасности, обеспечиваются контроль и удержание радиоактивных продуктов внутри энергоблока.

С этой целью на объекте «Укрытие» осуществляются:

- оперативный контроль радиационных тепловых и физических параметров, характеризующих текущее состояние ядерной и радиационной безопасности объекта;

- техническое обслуживание действующих на объекте систем и оборудования для поддержания их постоянной готовности к вводу в действие при отклонениях параметров состояния объекта от безопасных уровней;

- инженерно-технические мероприятия по обеспечению текущего уровня безопасного состояния объекта;

инженерно-технические мероприятия по переводу объекта в полностью безопасное контролируемое состояние;

дозиметрическое сопровождение и организация безопасного проведения работ на объекте «Укрытие», защита персонала и окружающей среды от воздействия источников ионизирующего излучения;

научно-техническое сопровождение работ на объекте, в том числе изучение и прогнозирование влияния объекта на окружающую среду, комплексное обследование его технического состояния для обеспечения приемлемого уровня текущей безопасности объекта, долговременной безопасности объекта, а также для подготовки к его преобразованию в экологически безопасную систему.

Общий порядок и технологию обеспечения радиационной и ядерной безопасности при осуществлении всех видов деятельности на объекте «Укрытие» определяет технологический регламент. Для обслуживания законсервированного 4-го энергоблока Чернобыльской АЭС в 1986 г. создан специальный цех в составе Чернобыльской АЭС, а в 1993 г. – отдельное предприятие «Объект “Укрытие”», которое впоследствии было реорганизовано и в настоящее время является структурным подразделением Чернобыльской АЭС.

Под эксплуатацией объекта «Укрытие» понимается вся деятельность на объекте, направленная на достижение безопасным образом цели управления запроектной аварией, а также техническое обслуживание и ремонт систем управления запроектной аварией объекта, исследования элементов объекта, направленные на достижение указанной цели безопасности, инспектирование во время эксплуатации и другая связанная с этим деятельность.

Все сооружения, системы и оборудование объекта «Укрытие» предназначены для управления последствиями запроектной аварии с целью обеспечения:

защиты персонала, населения и окружающей среды от воздействий ионизирующего излучения;

контроля теплофизических параметров ядерного топлива;

контроля и ограничения выхода в окружающую среду радиоактивных веществ;

теплоотвода остаточного тепловыделения от топливных масс;

предотвращения возникновения аварийных ситуаций;

контроля над возникновением аварий и ограничения их последствий.

Для достижения этих целей на объекте «Укрытие» были созданы следующие системы управления запроектной аварией:

система подачи раствора метабората калия, предназначенная для увеличения подкритичности топливосодержащих масс в развале реактора путем введения раствора поглотителя нейтронов;

система пылеподавления, функционирующая с 1990 г. для нанесения пылеподавляющих полимерных покрытий с локализирующим эффектом. В качестве пылеподавляющих составов используются полимерные композиции на основе водного раствора поливинилового спирта, водной дисперсии бутадиенстирольного латекса и сополимерной акрилатной дисперсии. Чередованием в определенной последовательности, оговоренной в инструкции по эксплуатации системы пылеподавления, пленкообразующих, адсорбирующих, туманообразующих составов достигается максимальная эффективность применения пылеподавляющих составов. Система пылеподавления может быть использована для подачи поглотителя нейт-

ронов в развал реакторного зала независимо и дополнительно к системе подачи раствора метабората калия;

система пожаротушения, предназначенная для подачи технической воды от пожарных насосов системы пожаротушения Чернобыльской АЭС, при помощи подключенных пожарных рукавов, к очагам возгорания на кровле и в помещениях машинного зала, в помещениях деаэрационной этажерки, на площадке объекта «Укрытие», а также для подключения пожарных автомобилей. Источник водоснабжения системы пожаротушения – напорный коллектор технической воды аппаратных насосов Чернобыльской АЭС, к которому присоединены всасывающие трубопроводы пожарных насосов;

система вентиляции и газоочистки, включающая в себя принудительную вытяжную систему из помещения над развалом реактора с фильтровальной станцией и байпасной линией. Вытяжная вентиляционная система предназначена для удаления тепла, образующегося за счет остаточного тепловыделения топливосодержащих масс, очистки на аэрозольных фильтрах вытяжного воздуха и сброса его в вентиляционную трубу.

В соответствии с технологическим регламентом эксплуатации объекта «Укрытие» проводятся:

- контроль состояния ядерного топлива;
- радиационно-дозиметрический контроль;

- контроль состояния строительных конструкций;

- контроль над сбросами и выбросами объекта;

- техническое обслуживание действующего на объекте оборудования систем контроля и управления безопасностью;

- организация безопасного проведения работ;

- контроль и анализ технологических параметров;

- работы по противоаварийной готовности.

2.5. ВЛИЯНИЕ ОБЪЕКТА НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

После аварии 4-й энергоблок Чернобыльской АЭС превратился в открытый источник радионуклидов огромной активности. На поверхность развала реактора, на разрушенные конструкции, крышу, на внешнюю поверхность зданий и площадку вокруг блока попало множество выброшенных фрагментов активной зоны и топливной пыли. Согласно более поздним оценкам, только на поверхности развала сосредоточилось 5–10 т топливной пыли.

Ежегодно на территорию ЧАЭС выпадает около 600 мм осадков. Эта вода просачивается сквозь материалы открытого источника и, превратившись в радиоактивную, рано или поздно должна попасть в грунт. По очень приблизительным оценкам, это 10 тыс. м³ воды в год.

Сооружение «Укрытия» поставило барьеры для вторичной миграции радионуклидов и интенсивного загрязнения окружающей среды, дало возможность осуществить работы по восстановлению деятельности Чернобыльской АЭС и снизить дозовые нагрузки на людей, работающих на станции.

Расчеты и экспертные оценки состояния строительных конструкций подтверждают низкую степень их надежности. Возможные сценарии разрушения включают в себя падение основных элементов кровли на завалы радиоактивных материалов в поме-

щениях объекта. Наиболее опасной возможной аварийной ситуацией представляется выброс радиоактивной пыли, который может произойти из-за обрушения кровли объекта. Система пылеподавления позволяет существенно уменьшить вероятность выхода радиоактивных аэрозолей из объекта и создать дополнительный барьер безопасности на случай обрушения строительных конструкций.

За время эксплуатации объекта «Укрытие» на нем произошло несколько пожаров различной степени сложности, поэтому существует потенциальная вероятность их возникновения. Пожар может вызвать определенные радиационные последствия как в помещениях объекта, так и на промышленной площадке. Количество горючих материалов в объекте «Укрытие» оценивается в 2000 тонн. Для обеспечения пожарной безопасности сгораемые конструкции в помещениях объекта обработаны огнезащитным составом.

К выбросу радионуклидов в окружающую среду также могут привести возможное возникновение критической массы и миграция радионуклидов в грунтовые воды.

Несмотря на все работы по герметизации, которые проводились в течение нескольких последних лет, объект не является герметичным. В настоящее время величины выбросов в окружающую среду незначительны: они не превышают 10 ГБк/год по цезию-137 и 0,1 ГБк/год по плутонию и другим трансурановым элементам. Но из-за нарушения сложившихся на сегодняшний день условий внутри объекта, например падения нестабильных строительных элементов, может произойти более крупный выброс радионуклидов. В этом случае выброс ограничится территорией Чернобыльской АЭС. Однако если разрушится кровля

объекта «Укрытие», к чему могут привести землетрясение, ураган или падение самолета в сочетании с падением внутренних нестабильных конструкций, то выброс топливной пыли составит около 0,1 ПБк и загрязнению подвергнется часть 30-километровой зоны Чернобыльской АЭС. Один из сценариев развития маловероятной ядерной аварии строится на одновременном разрушении объекта «Укрытие» и затоплении водой топливных композиций. При аварии такого рода выброс в атмосферу топливной пыли достигнет примерно 0,4 ПБк.

Даже при объединении всех этих маловероятных событий авария не будет опасна для населения, но может создать ограниченную опасность для персонала, находящегося на промышленной площадке, и для лиц, выполняющих работы в помещениях объекта. Имеющихся на сегодняшний день знаний недостаточно, чтобы расчетными или экспериментальными методами доказать общественности невозможность возникновения самопроизвольной цепной реакции, поэтому объект «Укрытие» нельзя считать абсолютно ядерно-безопасным.

Утечка радиоактивной воды из объекта — еще один фактор, который может обусловить выброс радионуклидов в окружающую среду. В настоящее время в различных помещениях объекта находится свыше 3000 м³ воды, проникшей в основном сквозь неплотности в кровле. Ее радиоактивность, вызванная главным образом цезием-137, варьируется в пределах 0,4–40 МБк/л. Исследования топливосодержащих масс показывают, что они нестабильны и в них происходят разнообразные изменения: распыление частичек топлива; поверхностные разломы топливосодержащих материалов; образование новых урановых соединений, часть которых растворима. Такая миграция с тече-

нием времени может приобрести угрожающий характер.

Главная цель создания «Укрытия» — ограничить влияние разрушенного блока на окружающую среду, сделать так, чтобы выход радиоактивных веществ за пределы объекта не превышал допустимых норм. Поэтому контроль состояния «Укрытия» включает в себя измерение целого ряда параметров:

- мощности дозы гамма-излучения на территории промплощадки;

- объемной активности альфа- и бета-аэрозолей в воздухе на площадке;

- активности газоаэрозольных выбросов в атмосферу через вытяжные вентиляционные системы объекта «Укрытие»;

- объемной активности и радионуклидного состава грунтовых вод на площадке;

- выноса активных аэрозолей сквозь неплотности в крыше объекта.

Измерения этих параметров на протяжении длительного времени свидетельствуют о том, что объект «Укрытие» не оказывает значительного отрицательного влияния на окружающую среду. Это подтверждает хотя бы динамика загрязнения воздуха альфа-аэрозолями на его площадке. С 1990 г. их концентрация не превыша-

ет допустимого уровня. Она существенным образом уменьшилась после начала работы системы пылеподавления, установленной под кровлей объекта «Укрытие».

В последние годы выполнены работы по герметизации объекта «Укрытие», площадь неплотностей его значительно уменьшена, но вода присутствует внутри объекта как за счет осадков, так и за счет конденсации (вследствие разницы температур и влажности воздуха). Пути миграции и объемы этих вод находятся под постоянным контролем и принимаются меры по снижению этого фактора опасности.

На «Укрытии» ведется постоянная работа по исследованиям и мониторингу факторов опасности объекта, поддержанию уровня безопасности и технического обслуживания. За годы существования объекта выполнен ряд неотложных работ по укреплению строительных конструкций, вентиляции трубы, герметизации, созданию новых систем мониторинга и безопасности. Однако все эти мероприятия не гарантируют безопасного состояния объекта на длительное время, поэтому с помощью международного сообщества было начато преобразование объекта «Укрытие» в экологически безопасную систему.

Глава 3. ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС В ПОСЛЕАВАРИЙНЫЙ ПЕРИОД

Работа – это главное в жизни. От всех неприятностей, от всех бед можно найти одно избавление – в работе.

Э. ХЕМИНГУЭЙ

3.1. ПОСЛЕАВАРИЙНЫЙ ПУСК ТРЕХ ЭНЕРГБЛОКОВ

Вопросы возобновления эксплуатации первых трех энергоблоков Чернобыльской АЭС, проведения необходимых для этого работ стояли в ряду важнейших в плане ликвидации последствий аварии.

После аварии третий энергоблок, технически связанный с четвертым, остановили в 3 ч 00 мин 26 апреля 1986 г., а первые два энергоблока, остававшиеся в нормальном работоспособном состоянии, — соответственно в 1 ч 13 мин и в 2 ч 13 мин 27 апреля 1986 г.

2 мая 1986 г. принимается решение о переводе энергоблоков № 1, 2, 3 Чернобыльской АЭС в режим временной консервации с поддержанием основных параметров безопасности. Работы по консервации и техническому обслуживанию энергоблоков проводились сменой в количестве 45 человек по 12-часовому графику работы.

После нормального расхолаживания реакторы трех энергоблоков были переведены в глубоко подкритичное состояние путем ввода в активную зону всех стержней управления и защиты, а также загрузки в реакторы дополнительных поглотителей. Нейтронный поток контролировался штатной аппаратурой. Для отвода остаточного тепловыделения все технологические каналы и первый контур оставались заполненными водой. Остаточное тепловыделение снималось в режиме естественной циркуляции.

Для измерения температуры воды использовали дополнительные термодары, установленные в центральные отверстия тепловыделяющих сборок. Температурный режим реактора и первого контура обеспечивался включением в работу системы продувки и расхолаживания. Графитовую кладку периодически продували азотом либо сухим воздухом. Контур системы управления и защиты реактора после полного расхолаживания реакторов был обезвожен.

Восстановительные работы начались с дезактивации основных и вспомогательных зданий и сооружений энергоблоков, находящегося в них оборудования и рабочих мест персонала, а также прилегающей территории.

Мощность дозы гамма-излучения в загрязненных помещениях 1-го и 2-го энергоблоков на 20.05.86 г. составляла до 0,1 сГр/ч, в машинном зале — до 0,6 сГр/ч. Наиболее загрязненными вследствие разрушения кровли 4-го энергоблока были отдельные горизонтальные участки поверхностей машинного зала. Дезактивация проводилась с использованием специальных растворов, состав которых подбирался с учетом отмываемого материала, характера и уровня загрязнения поверхности. Применяли струйные и парозежкторные методы, методы сухой дезактивации с помощью полимерных покрытий. Часть помещений и оборудования дезактивировали вручную протиркой ветошью, смоченной дезактивирующими

растворами. Эффективность дезактивации контролировалась прямым замером мощности дозы гамма-излучения и методом снятия мазка. В результате загрязнение поверхностей помещений и оборудования в основном снизилось до нормативных требований. На первых двух энергоблоках работы по дезактивации были завершены в начале третьего квартала 1986 г.

Дезактивационные работы на 3-м энергоблоке способствовали дальнейшему улучшению радиационной обстановки на первых двух энергоблоках. Мощность дозы в машинном зале 3-го энергоблока к концу июля 1987 г. упала до 0,007–0,05 сГр/ч.

После завершения сооружения объекта «Укрытие» и проведения комплекса работ по дезактивации территории станции радиационная обстановка на 1-м и 2-м энергоблоках окончательно стабилизировалась и была доведена до уровней, позволяющих эксплуатацию энергоблоков в соответствии с правилами и нормами безопасности.

Все необходимое вспомогательное оборудование 1-го и 2-го энергоблоков поддерживалось в состоянии готовности к работе. Системы вентиляции до проведения работ по дезактивации воздухопроводов и вентиляционного оборудования и монтажа дополнительной установки по очистке приточного воздуха находились в отключенном состоянии. Система пожаротушения поддерживалась в состоянии готовности к работе в автоматическом режиме. Система дозиметрического контроля первого и второго энергоблоков была включена в работу в полном объеме. Электрические схемы собственных нужд обеспечивали нормальное электропитание с готовностью принять нагрузку любых механизмов, задействованных в режиме ожидания до пуска. Системы машинного зала поддерживались в за-

консервированном состоянии. Состояние реакторных установок и оборудования энергоблоков контролировал оперативный персонал Чернобыльской АЭС. Таким образом, существовала возможность в короткие сроки выполнить восстановительные работы на энергоблоках и ввести их в эксплуатацию.

В соответствии с директивным графиком производства работ по ликвидации последствий аварии, с целью подготовки заключения о возможности дальнейшей эксплуатации энергоблоков Чернобыльской АЭС были созданы цеховые рабочие комиссии с привлечением специалистов научных, проектных и конструкторских организаций.

Длительное пребывание первых двух энергоблоков в остановленном состоянии, воздействие ионизирующих излучений и дезактивирующих веществ потребовали тщательной ревизии и диагностической проверки всего основного и вспомогательного оборудования и систем автоматики, проведения ремонта и комплекса пусконаладочных работ. Объем работ по подготовке и проведению пуска энергоблоков определялся программой комплексного опробования и пуска 1-го и 2-го энергоблоков Чернобыльской АЭС и соответствовал требованиям, предъявляемым к пуску вновь вводимых энергоблоков. Согласно этой программе в предпусковой период осуществили поузловую проверку систем энергоблока, включавшую проверку работоспособности арматуры, контрольно-измерительных приборов, мнемосхем, защит, блокировок, сигнализации, автоматического включения резерва, включение системы в работу, доведение качества рабочей среды до эксплуатационных норм, проверку срабатывания систем и механизмов по сигналам.

лам аварийных защит. По результатам ремонтно-восстановительных работ и паузовой проверки составлялись акты о готовности систем к пуску энергоблоков и общие акты о готовности оборудования, систем, технической документации и персонала Чернобыльской АЭС к проведению пуска энергоблоков.

На основании анализа причин возникновения и развития аварии на 4-м энергоблоке были разработаны первоочередные технические и организационные мероприятия по повышению безопасности эксплуатации действующих АЭС с реакторами РБМК.

Специфические задачи пуска первых двух энергоблоков заключались в проверке эффективности выполненных мероприятий по повышению безопасности. Для этого пуск энергоблоков проводился в три этапа:

первый – формирование активной зоны и проведение физического пуска;

второй – освоение электрической мощности энергоблока на уровне 700 МВт с проведением комплексного опробования работы оборудования и систем блока;

третий – освоение уточненной номинальной мощности.

Повышение безопасности, прежде всего, обеспечивалось уменьшением парового эффекта реактивности и увеличением быстрогодействия аварийной защиты. Для достижения этих целей и с учетом особенностей реактора перед физическим пуском 50 % стержней были введены в активную зону реактора в положение 1,4 м по указателю положения, количество укороченных поглотителей увеличено до 32, а их перемещение ограничено.

В процессе физического пуска вместо части топливных сборок устанавливались дополнительные поглотители. Оператив-

ный запас реактивности при эксплуатации реактора был принят равным 43–48 стрекням аварийной защиты.

Организационные мероприятия по обеспечению безопасности определяли эксплуатацию энергоблоков только в базовом режиме, а также запрещение на проведение любых исследовательских и экспериментальных работ на действующих блоках.

По окончании физического пуска реакторов были подготовлены и включены в соответствии с требованиями технологического регламента системы и оборудование энергоблоков, а затем начаты работы по настройке и испытаниям оборудования, проверке технологических параметров, освоению электрической мощности 700 МВт и поочередному пробному выходу турбогенераторов на мощность.

Послеаварийный ввод в эксплуатацию 1-го энергоблока был осуществлен 1 октября 1986 г., 2-го энергоблока – 5 ноября 1986 г.

В течение повышения электрической мощности и комплексных испытаний на 700 МВт первых двух энергоблоков существенных недостатков в работе основного и вспомогательного оборудования не обнаружили. Полученные при комплексном опробовании энергоблоков на мощности 700 МВт данные позволили сделать вывод о возможности повышения мощности до проектного номинального значения 1000 МВт. Значения мощности увеличивали степенями по 10 % с проведением комплексного опробования оборудования на каждой ступени.

В отличие от первых двух энергоблоков на 3-м энергоблоке Чернобыльской АЭС требовалось проведение большого объема дезактивационных и восстановительных работ. Персоналом станции были отсечены кабельные трассы, водяные и газовые

коммуникации, связывающие 3-й и 4-й энергоблоки, залита бетоном часть помещений корпуса вспомогательных систем.

Защитно-разделительная стена между аварийным и 3-м блоками бетонировалась и облицовывалась свинцом для уменьшения радиационного фона. Возводились дополнительные защитные стены на других участках. Оборудование, трубопроводы, вентиляционные короба, кабельные трассы в помещениях 3-го энергоблока с большими уровнями радиации были демонтированы для снижения радиационного фона. Послеаварийный ввод в эксплуатацию 3-го энергоблока состоялся 4 декабря 1987 г.

В результате проведенной после аварии 1986 г. дезактивации помещений, площадки станции и прилегающей территории средние индивидуальные дозы облучения персонала станции при эксплуатации, техническом обслуживании и ремонте энергоблоков начиная с 1988 г. составляли не более 1,3 сЗв/год.

Радиоактивные выбросы в окружающую среду йода, инертных радиоактивных газов и аэрозолей при эксплуатации энергоблоков Чернобыльской АЭС в послеаварийный период фиксировались в нескольких процентах допустимых уровней, а сброс радиоактивных веществ со сточными водами в пруд-охладитель – 20 % допустимого сброса, установленного для Чернобыльской АЭС.

Эксплуатация энергоблоков Чернобыльской АЭС в послеаварийный период не оказывала дополнительного влияния на экологическую ситуацию в 30-километровой зоне и за ее пределами, сложившуюся в результате аварии 1986 г.

Кроме производства электроэнергии, на Чернобыльской АЭС в 1983 г. была освоена технология нейтронного легирования

кремния. Изделия из легированного кремния применяются в электровозах повышенной мощности, в преобразовательных электрических подстанциях, электросварочных устройствах, приборах электронной техники. Они надежны в работе, малогабаритны, позволяют уменьшить энергопотребление. Основными потребителями легированного кремния, производимого на энергоблоках Чернобыльской АЭС, являлись предприятия Украины и России, осуществлялись также поставки зарубежным фирмам. Всего за период эксплуатации АЭС до остановки блоков было произведено около 60 т легированного кремния, что составляло 75 % всего производства в бывшем Советском Союзе.

3.2. ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ

Авария на американской АЭС «Tree Mile Island» в 1979 г. дала мощный импульс проведению научно-исследовательских работ и конструкторских проработок с целью повышения безопасности ядерных энергетических реакторов. В результате были усовершенствованы встроенные системы безопасности, приняты меры по дополнительному обучению персонала АЭС.

Следствием же аварии на Чернобыльской АЭС явилось существенное снижение темпов развития атомной энергетики. Требовались незамедлительные меры по повышению надежности и безопасности работы основных типов отечественных действующих АЭС с реакторами ВВЭР и РБМК.

Среди причин, приведших к этой аварии, нами уже назывались следующие:

трудности регулирования мощности РБМК в некоторых режимах работы реактора – проявления положительного коэф-

фициента реактивности и неустойчивости нейтронного потока;

недостатки конструкции системы управления и защиты реактора, связанные с недостаточным количеством управляющих стержней, неэффективной их работой по всей длине продвижения в активной зоне реактора;

нарушение эксплуатационным персоналом предписанных правил безопасности работы реактора.

В кратчайшие сроки отечественные ученые, конструкторы и технологи разработали комплекс технических и организационных мероприятий, которые должны были гарантировать безопасную работу РБМК.

К числу *первоочередных* мероприятий относились: коренное изменение физических свойств активной зоны реактора; модернизация конструкций органов регулирования и защиты; внесение изменений в системы управления, защит и блокировок; ужесточение требований технологического регламента; проведение дополнительного контроля металла и дополнительных ремонтных работ на контуре циркуляции первичного теплоносителя; внедрение комплекса организационно-технических мероприятий по повышению качества эксплуатации.

Мероприятиями *долгосрочного* исполнения, направленными на снижение вероятности возникновения аварийных ситуаций, предусматривались: разработка проектов реконструкции ряда систем безопасности реакторных установок; разработка и реализация ряда автоматических защит реактора; исследования по оценке ресурса металла трубопроводов и оборудования; разработка усовершенствованных систем контроля за состоянием трубопроводов и оборудования, режимами его работы; вне-

дрение безынерционной системы контроля за объемным полем энерговыделения; внедрение трехмерных программ физических и теплогидравлических расчетов АЭС; оснащение АЭС мощными быстродействующими компьютерными системами; дополнительное обоснование безопасности действующих блоков АЭС с реакторами РБМК; пересмотр нормативно-технической документации.

Первый перечень организационных мероприятий, обязательных для выполнения на действующих АЭС с реакторами РБМК, включал:

запрещение проведения каких-либо экспериментов, отключения аварийных защит реактора, установки непроектных органов управления реакторным оборудованием;

строгое выполнение регламентных ограничений по оперативному запасу реактивности, выдерживание соотношения расхода теплоносителя и питательной воды;

установление новых ограничений по времени простоя реактора после его заглушения до нового пуска;

обязательное согласование с разработчиками проекта любых возможных отклонений от регламентных ограничений.

Второй перечень определял работы по изменению некоторых проектных технических решений и регламентных требований: усиление контроля металла коллекторов и трубопроводов большого диаметра; повышение пропускной способности аварийного сброса пара из реакторного пространства и др.

На основании этих перечней и выполнения соответствующих расчетов были разработаны *мероприятия по повышению безопасности реакторов РБМК*, охватывающие следующие направления:

снижение парового коэффициента реактивности;

повышение эффективности исполнительных органов системы управления и защиты;

контроль металла;

повышение пропускной способности паросбросов;

совершенствование эксплуатационной документации.

Повышение безопасности АЭС с реакторами РБМК заключалось не только в изменении физических параметров активной зоны. Помимо увеличения скорости срабатывания проектной аварийной защиты, с включением в нее стержней-поглотителей, на всех блоках внедрена новая быстрая аварийная защита, способная независимо остановить реактор на время, не превышающее 2,5 с. Изменена конструкция стержней регулирования таким образом, чтобы полностью устранить возможность ввода положительной реактивности во всех, в том числе нерегламентных, условиях эксплуатации. Выполнены реконструкционные работы, включающие совершенствование систем теплоотвода и расхолаживания реактора в аварийных ситуациях, коренную модернизацию систем управления и защиты и др.

Мероприятия по повышению ядерной безопасности. Для снижения парового коэффициента реактивности повышен оперативный запас реактивности до 43–48 эффективных стержней; введен новый предел минимального запаса реактивности – 30 эффективных стержней; вместо части топливных сборок установлены дополнительные поглотители, в результате чего исключена возможность разгона реактора. В 1987 г. для дальнейшего снижения парового коэффициента реактивности до

значений, близких к нулю, был осуществлен перевод загрузки реакторов топливом с 2 % на 2,4 % обогащения.

Мероприятия по модернизации системы управления и защиты. Модернизация стержневой системы управления и защиты реактора позволила повысить скорость ввода отрицательной реактивности и исключить как положительный выбег реактивности на начальном этапе ввода стержней с их крайнего верхнего положения, так и обратный ход реактивности при достижении стержнями крайнего положения. Достигнуто это за счет увеличения длины поглотителя с 6,2 до 6,8 м и увеличения длины телескопов, соединяющих поглотитель и вытеснитель, соответственно с 1,4 до 2,4 м. В извлеченном состоянии стержня нижний конец поглотителя располагается на границе верха активной зоны, а нижний конец вытеснителя – на границе низа активной зоны.

Внедрена новая система силовой блокировки стержней, которая предусматривает ограничение их перемещения и шаговое извлечение стержней из активной зоны, что исключает несанкционированное увеличение мощности реактора при ошибках или неисправностях.

Произведена модернизация защиты реактора по скорости разгона путем ввода трех каналов защиты непрерывного действия до исполнения и устранение блокировки срабатывания защиты при работающем автоматическом регуляторе мощности реактора. Эти изменения увеличивают надежность срабатывания защиты, исключая временное отсутствие защиты по скорости, при переходе с одних приборов контроля на другие во всех режимах работы реактора.

Штатные сервоприводы стержневой системы управления и защиты модернизиро-

ваны с целью исключения электродинамического торможения, что позволило уменьшить время полного ввода стержней по сигналу аварийной защиты с 18–22 до 12–14 с. Скорость введения отрицательной реактивности по сигналу аварийной защиты при этом увеличилась в 3–5 раз.

Установлены новые стержни-поглотители длиной 4 м с укороченным телескопом и со специальными концевиками.

Для повышения надёжности срабатывания аварийной защиты по мощности ее схема выполнена таким образом, чтобы обеспечивалась выдача аварийного сигнала при отключении мощности в одном канале защиты по мощности.

Для надежного заглушения реактора в аварийных ситуациях исключена блокировка движения стержней автоматического регулятора в активную зону при аварийной защите по мощности.

На всех энергоблоках внедрена система быстродействующей аварийной защиты, которая имеет пленочное охлаждение каналов и модернизированный привод. Это позволило повысить скорость ввода отрицательной реактивности в режиме аварийной защиты. Время полного погружения стержней быстродействующей аварийной защиты составляет 2,1–2,5 с.

Внедрен циклический, с периодом 5 мин, расчет текущего значения оперативного запаса реактивности по специальному алгоритму, учитывающему текущее значение поля энерговыделения и положение стержней. Оперативный запас реактивности выведен на цифровой указатель и самопишущий прибор с предупредительной сигнализацией достижения минимальной величины.

Мероприятия по повышению безопасности тепломеханического оборудования. На всех блоках внедрена система ограни-

чения хода запорно-регулирующего клапана турбинной установки для исключения отрицательного влияния снижения частоты в энергосистеме на безопасность реактора. Внедрена система аварийной защиты, срабатывающая при снижении уровня в гидробаллонах системы аварийного охлаждения реактора.

Мероприятия по повышению качества эксплуатации. В технологический регламент и производственные инструкции внесены изменения, уточняющие отдельные ситуации при выполнении работ, связанных с безопасностью энергоблоков. Кроме того, разработан ряд новых эксплуатационных документов: инструкция и мероприятия по управлению запроектной аварией реактора, симптомно-ориентированные аварийные инструкции, программа обеспечения качества на этапе эксплуатации. Осуществлены организационные мероприятия по улучшению качества подготовки персонала и поддержанию его квалификации, а также повышению культуры безопасности.

В дополнение перечисленным отраслевым сводным мероприятиям, на Чернобыльской АЭС в инициативном порядке проведены работы по замене оборудования, исчерпавшего ресурс, а также по реконструкции и повышению надежности систем и оборудования. Кровля машинного зала покрыта негорючими материалами; реализована схема проверки аварийных дизельных источников питания под нагрузкой, при работающих энергоблоках; выполнено защитное перекрытие, которое исключает повреждение питательных и аварийно-питательных насосов систем безопасности при обрушении строительных конструкций.

Срок службы энергоблоков, определенный проектной документацией, составляет

30 лет. Расчетные сроки прекращения эксплуатации первого энергоблока Чернобыльской АЭС – 2007 г., второго – 2008 г., третьего – 2011 г. При этом, в соответствии с проектом, в течение 20-летнего периода эксплуатации энергоблоков зазор между технологическими каналами и графитовой кладкой реакторов исчерпывается, а следовательно, требуется замена технологических каналов. Без замены технологических каналов расчетный срок эксплуатации первого энергоблока должен был закончиться в 1997 г., второго – в 1998 г., третьего – в 2001 г.

В результате выполненных после аварии технических и организационных мероприятий Чернобыльская АЭС по уровню безопасности не уступала другим аналогичным АЭС с реакторами РБМК:

Чернобыльская АЭС являлась участником международного проекта по дальнейшему повышению безопасности АЭС с реакторами РБМК. В рамках международного сотрудничества было подготовлено более 300 рекомендаций по повышению безопасности таких АЭС. Анализ рекомендаций показывает отсутствие специфических для АЭС с реакторами РБМК проблем безопасности. Технических причин для прекращения эксплуатации АЭС с реакторами РБМК до истечения проектного ресурса не было найдено.

Специальные миссии МАГАТЭ, проверявшие отечественные АЭС по просьбе украинского правительства, признали их полностью соответствующими международным требованиям по безопасности. В 1994 г. эксперты МАГАТЭ дали следующие заключения по Чернобыльской АЭС:

разработана и действует методика по обеспечению ядерной безопасности. Принципы культуры безопасности понимаются на уровне руководства;

обучение персонала и документация для этого обучения организованы очень хорошо; выполняются все требования регламента по контролю за топливными каналами; отмечается высокий уровень профессионализма персонала щитов управления; существует положительный опыт, когда оперативный персонал после длительных перерывов в работе работает дублером на своей должности до восстановления навыков в полном объеме;

четкий порядок и соблюдение правил ведения оперативных журналов усиливают ощущение профессионализма и высокой квалификации;

выполнены все мероприятия, намеченные на энергоблоках с реакторами типа РБМК после чернобыльской аварии;

уровень безопасности эксплуатируемых энергоблоков ни в чем не уступает соответствующим блокам Ленинградской, Курской и Смоленской АЭС.

За период с 1986 по 1992 гг. объем работ по повышению безопасности и надежности Чернобыльской АЭС составил более 270 млн дол. в ценах 1984 г., или четверть первоначальной стоимости всей станции.*

3.3. ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЙ ПЕРСОНАЛ СТАНЦИИ

С целью безопасной эксплуатации энергоблоков Чернобыльской АЭС в послеаварийный период и с учетом наличия вокруг

* Отметим, что восстановление третьего энергоблока ЧАЭС потребовало больших финансовых и людских ресурсов, чем нужно было бы для окончания строительства и ввода в эксплуатацию энергоблоков № 5 и № 6. Предполагаемое место их размещения имело незначительные уровни загрязнения, а пуск 5-го энергоблока был запланирован на декабрь 1986 г.

станции зоны с радиоактивным загрязнением важно было создать условия для проживания персонала. Организация эксплуатации Чернобыльской АЭС с 1 июля 1986 г. по вахтовому методу помогла решить этот вопрос.

В рабочие дни оперативный и эксплуатационный персонал проживал за пределами 30-километровой зоны, в вахтовом поселке Зеленый Мыс, возведенном специально для этих целей. Продолжительность рабочего дня для оперативного персонала была принята равной 12 ч, а для эксплуатационного персонала и всех других сотрудников станции – 10 ч.

Продолжительность вахты для оперативного персонала составляла 5 дней, чередовавшихся с 7 выходными; для всех остальных сотрудников продолжительность вахты и отдыха – по 15 дней.

Деятельность персонала атомной станции характеризуется высокой ответственностью и требует развитых профессиональных навыков. Она связана со значительными нервно-эмоциональными нагрузками, а успешность зависит не только от уровня общей и специальной подготовки, но и от ряда профессионально значимых психологических и психофизических качеств.

Сразу после аварии принимается решение о проведении первичного психофизиологического обследования оперативного персонала Чернобыльской АЭС для последующего комплектования смен для пуска и эксплуатации 1-го и 2-го энергоблоков. Такие обследования позволили сделать ряд заключений об особенностях психофизиологического состояния операторов Чернобыльской АЭС и закономерностях его динамики с целью прогнозирования надежности их деятельности и здоровья. Согласно полученным результатам, около 80 % операторов имели высокий уровень психо-

физиологических функций и были пригодны к оперативной работе.

Результаты повторного обследования, проведенного через год, в целом не выявили существенных изменений. Некоторая оптимизация, по сравнению с прошлым этапом, психофизиологического состояния обуславливалась существенным улучшением гигиенических условий труда, решением большинства социальных проблем, а также проводимой функциональной реабилитацией. Однако в целом психофизиологическое состояние операторов Чернобыльской АЭС существенно отличалось от состояния операторов других АЭС. Был сделан вывод, что для предотвращения ухудшения здоровья, повышения работоспособности операторов и их функциональных резервов следует отказаться от вахтового режима работы.

С окончанием строительства г. Славутича для постоянного проживания в нем сотрудников Чернобыльской АЭС и членов их семей в конце 1988 г. нормальные условия жизни и работы коллектива станции восстановились.

В 1989 г. введен в действие отраслевой документ, регламентирующий организацию работы с персоналом АЭС. В этом документе отражены порядок приема на работу, проведение вводных, первичных и периодических инструктажей, подготовка персонала на должность и проверка знаний, проведение тренировок, аттестация кадров. В разработанных документах станционного уровня определены система проведения обходов, программы внутростанционных проверок и отчетные документы по этому виду деятельности. Введено в практику привлечение оперативного персонала к разработке и пересмотру эксплуатационной документации, что в значитель-

ной степени повысило ее качество. Создано специализированное подразделение – учебно-тренировочный пункт, в функции которого входят все аспекты, касающиеся подготовки и переподготовки персонала, как оперативного, так и ремонтного. Внедрены в эксплуатацию технические средства обучения оперативного персонала и программное обеспечение к ним.

Все принимаемые и работающие на Чернобыльской АЭС в качестве оперативного персонала проходят психофизиологическое обследование с целью подбора лиц, которые по своим профессионально важным качествам наиболее соответствуют требованиям конкретных должностей и специальностей, а также с целью выявления лиц, функциональное состояние которых свидетельствует о сниженной работоспособности и повышенной вероятности профессиональных срывов.

Квалифицированно проведенный, профессиональный психофизиологический отбор позволяет с высоким уровнем достоверности прогнозировать надежность деятельности человека в нештатных ситуациях, определять способы направленного формирования профессиональной пригодности в период соответствующей подготовки. На Чернобыльской АЭС первичный профессиональный отбор осуществляется при приеме или переводе на оперативную должность, является составляющей ежегодного медицинского осмотра оперативного персонала и определяет необходимость и направленность коррекционно-реабилитационных мероприятий, своевременность вывода из профессии.

Анализ результатов психофизиологического профессионального отбора позволяет определять личностные и психофизиологические особенности индивида, способ-

ствующие или препятствующие освоению и реализации операторской деятельности, как основу для рациональной расстановки кадров, а также индивидуализации профессиональной подготовки, разработки программы психологического тренинга и коррекции;

выявлять индивидов, имеющих патологические изменения состояния здоровья;

осуществлять планирование и контроль эффективности лечебно-реабилитационных мероприятий, а также разработку сценариев социально-психологических тренингов оперативного и руководящего персонала;

прогнозировать эффективность групповой деятельности и определять оптимальный состав смен оперативного персонала, в том числе ввод новых членов с минимальной деформацией внутригрупповых связей и без снижения надежности групповой деятельности;

создавать банки данных по результатам психофизиологических обследований оперативного персонала для последующей оценки динамики, выраженности и направленности изменений психофизиологического статуса, выявления резерва на выдвижение.

В 1994 г. осуществлен переход с 8-часового графика работы оперативного персонала Чернобыльской АЭС на 12-часовой. Наиболее значимым производственным результатом этого перехода стало резкое снижение числа технологических нарушений вследствие ошибок персонала на фоне роста удовлетворенности условиями труда, выявленного по данным социологических опросов. Согласно статистическим материалам, надежность работы оперативного персонала при 12-часовой смене увеличилась более чем в 4 раза.

Разрушенный
четвертый
энергоблок
Чернобыльской
АЭС



Сбор
радиоактивных
материалов

Применение
средств
индивидуальной
защиты перед
входом в опасные
зоны

Вид разрушенного
четвертого
энергоблока
со стороны
третьего

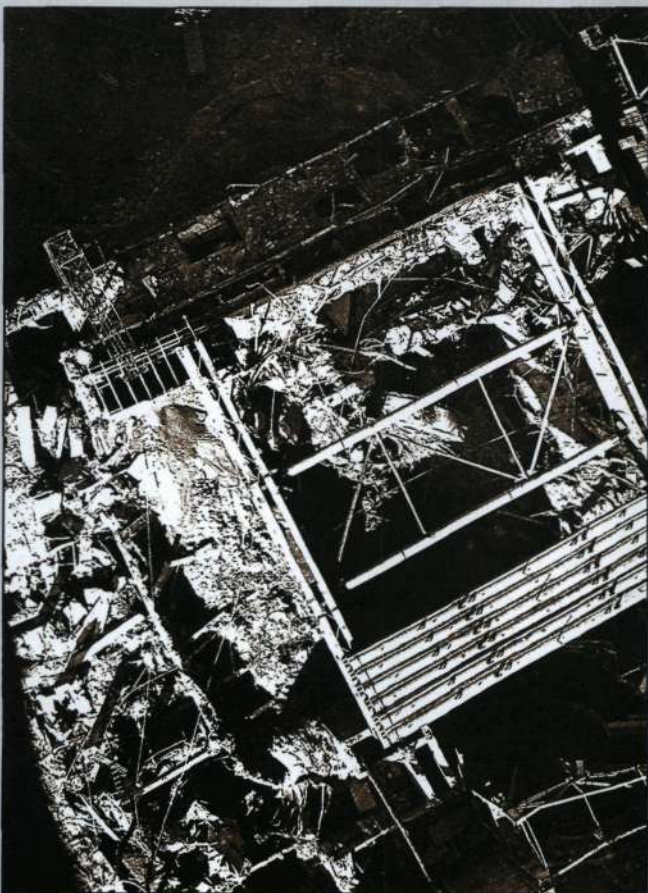




Вид сверху
на разрушенный
реактор

Монтаж
перекрытий
трубного наката
разрушенного
реактора

Применение
листового свинца
для защиты
водителей
автотранспорта





Строительная
площадка объекта
«Укрытие»

Выход
ликвидаторов
аварии в зону
работ

Первичная уборка
радиоактивных
материалов
с кровли
машинного зала





Монтаж каскадной
стены объекта
«Укрытие»

Монтаж трубного
наката кровли
объекта «Укрытие»

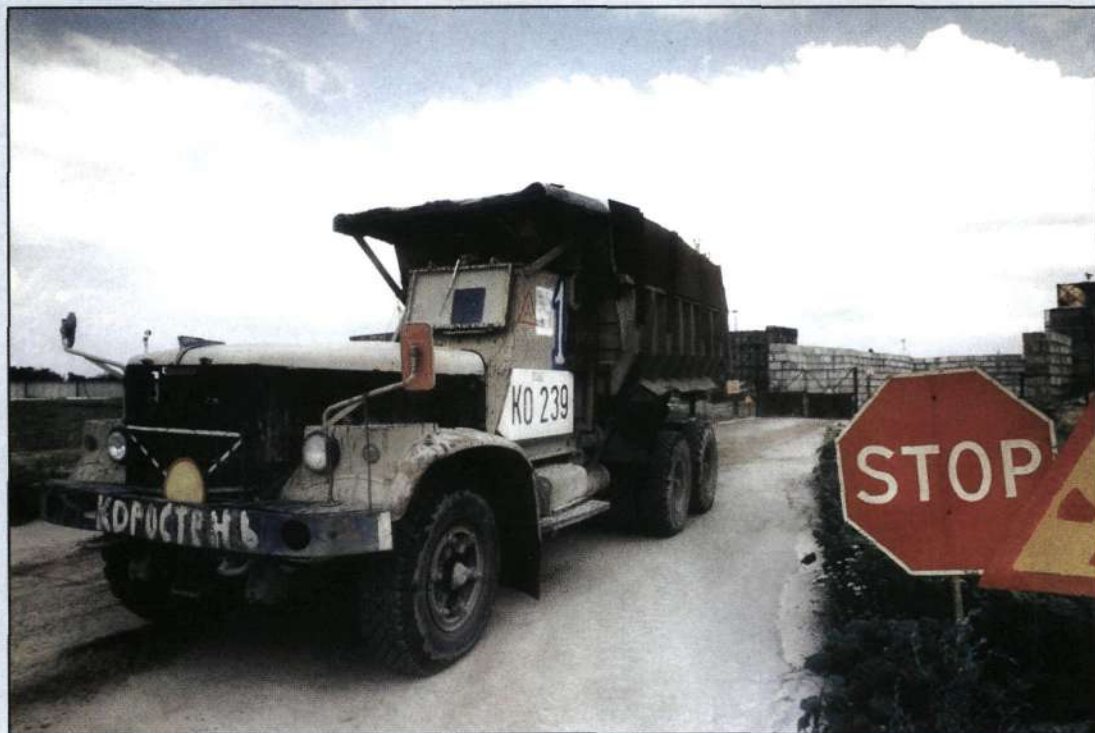
Применение
вертолетной
техники для
распыления
дезактивирующих
и связывающих
составов



Дезактивация
зданий г. Припяти

Использование
вертолетной
техники при
строительстве
объекта «Укрытие»

Доставка грузов
в зону аварии
на специальной
автомобильной
технике



Строительство
объекта «Укрытие»



Методы агитации
в период
ликвидации
аварии

Работы
по дезактивации
кровель третьего
энергблока

Доставка
аварийных
и эксплуатацион-
ных бригад в зону
аварии



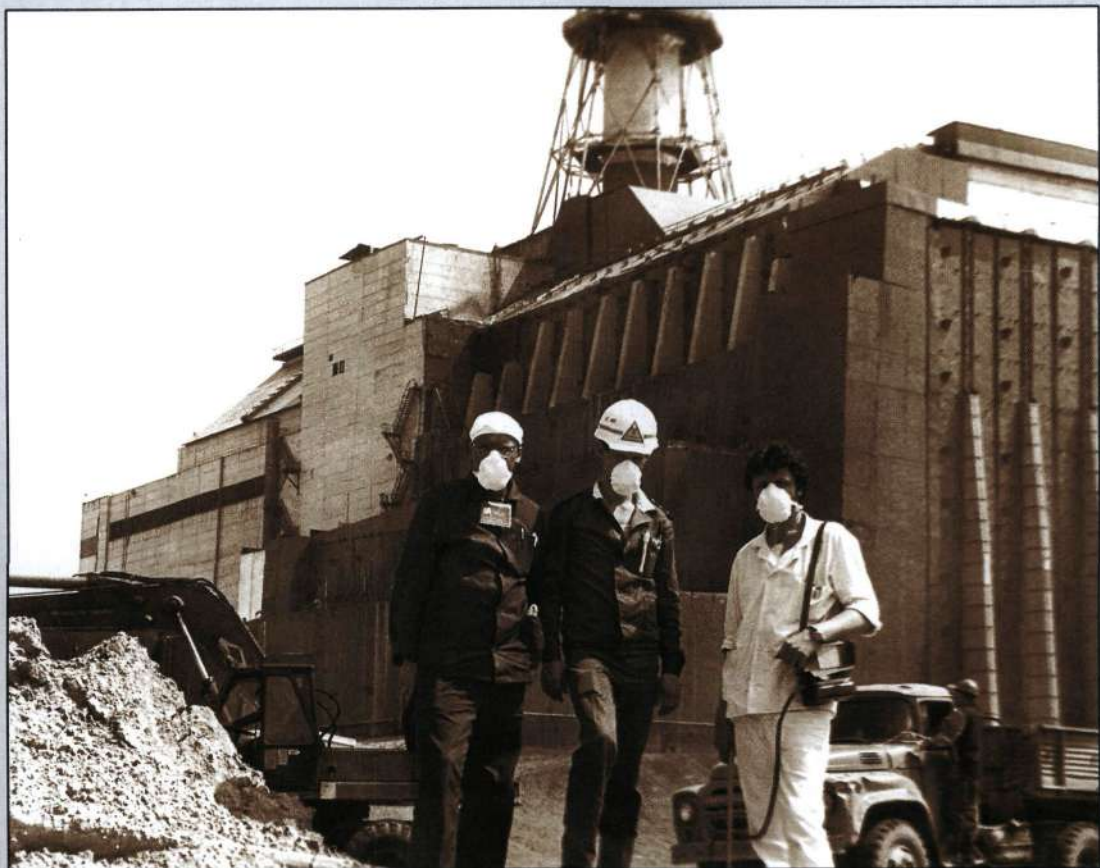


Дезактивация
кровли машинного
зала

Радиационная
разведка
с применением
военной
бронированной
техники

Площадка перед
административно-
бытовым
комплексом
Чернобыльской
АЭС





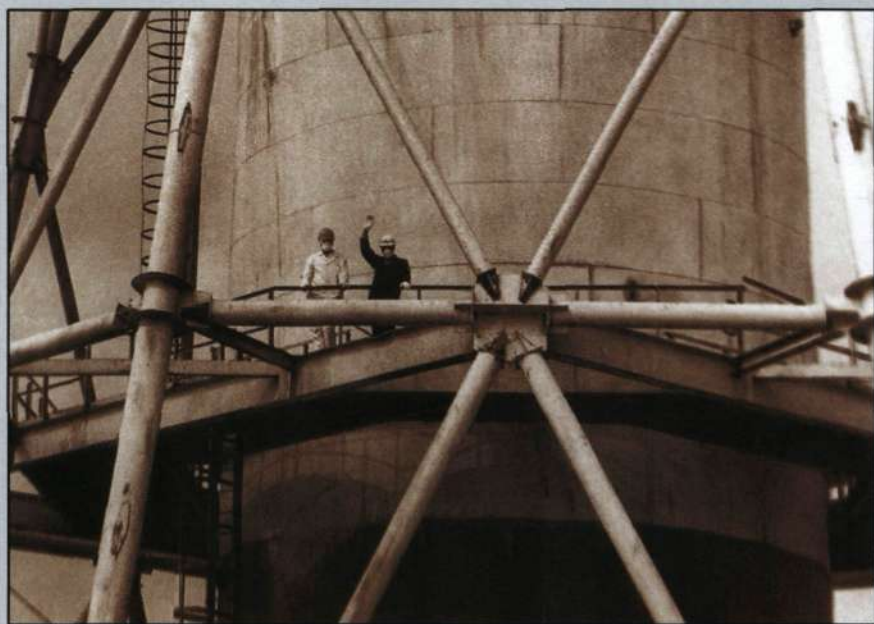
Очистка площадки
после возведения
объекта «Укрытие»



Проведение
радиационной
разведки после
строительства
объекта «Укрытие»

Общий вид
здания третьего
энергблока
и объекта
«Укрытие»

Радиационная
разведка
площадок
вентиляционной
трубы



Радиационный
контроль новой
кровли зданий,
примыкающих
к объекту
«Укрытие»

Группа
специалистов
отдела
дозиметрического
контроля УС-605



Такие таблички
появились в лесах,
подвергшихся
радиоактивному
загрязнению

Мощная
строительная
техника
использовалась
на возведении
объекта «Укрытие»





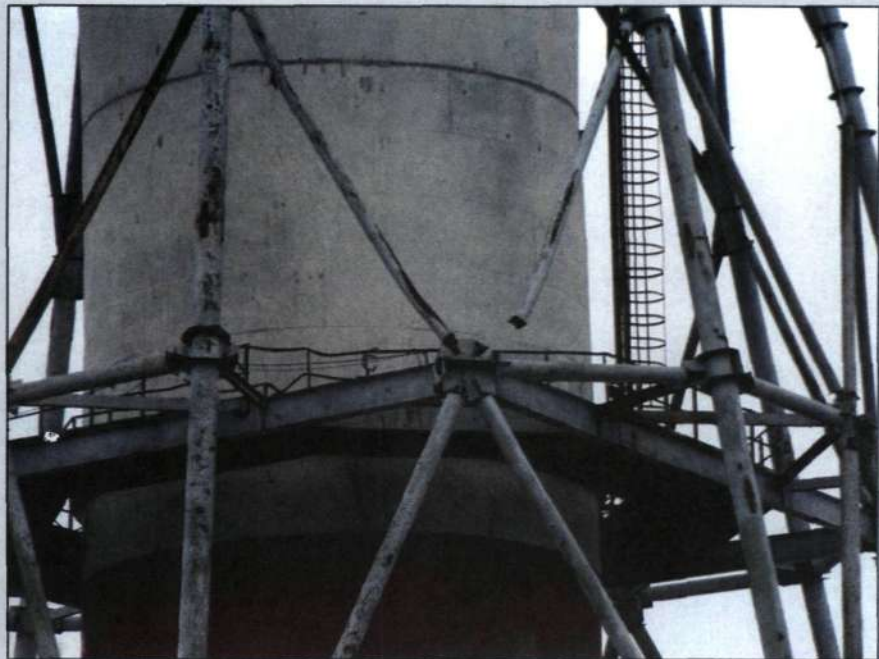
Панорама
площадки
Чернобыльской
АЭС

Место временного
захоронения
техники,
загрязненной
в процессе
ликвидации
последствий
аварии

Материалы
разрушенной
реакторной
установки внутри
объекта «Укрытие»

Лавообразные
топливо-
содержащие
массы в объекте
«Укрытие»





Разрыв
металлической
конструкции
вентиляционной
трубы



Работы по
укреплению
конструкций
вентиляционной
трубы

Обрушение
кровли машинного
зала в результате
пожара на втором
энергоблоке

Ликвидация
последствий
пожара на втором
энергоблоке





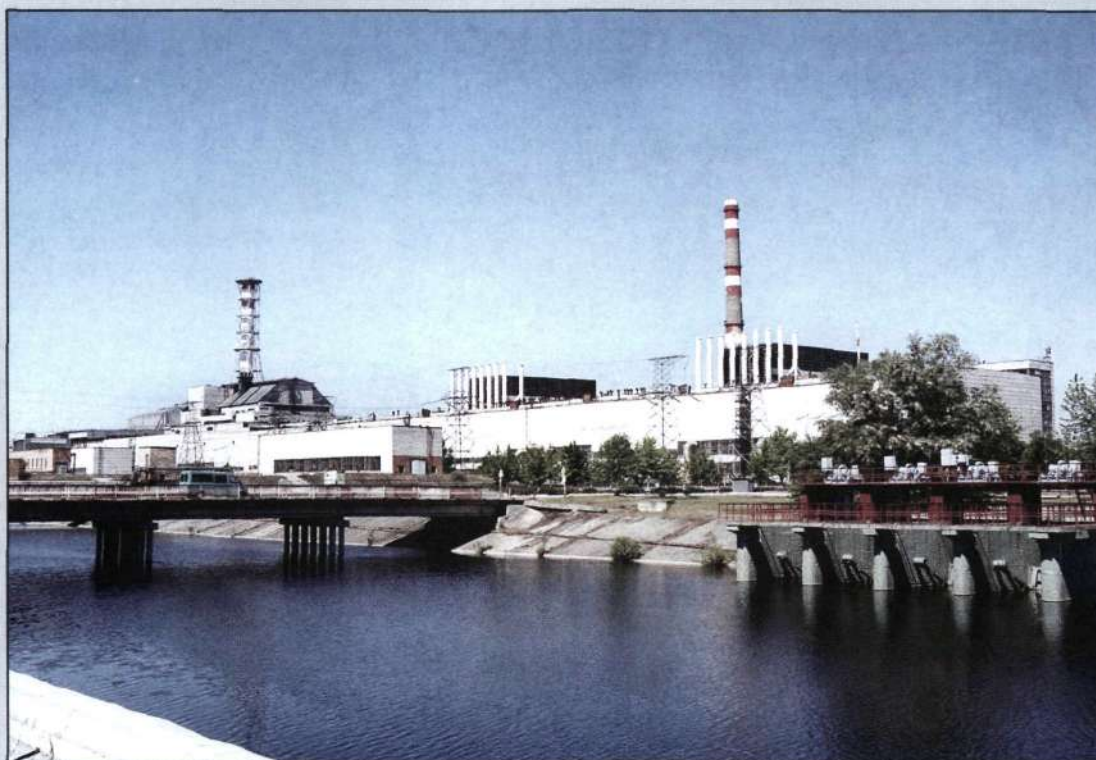
Работы по
укреплению балок
объекта «Укрытие»

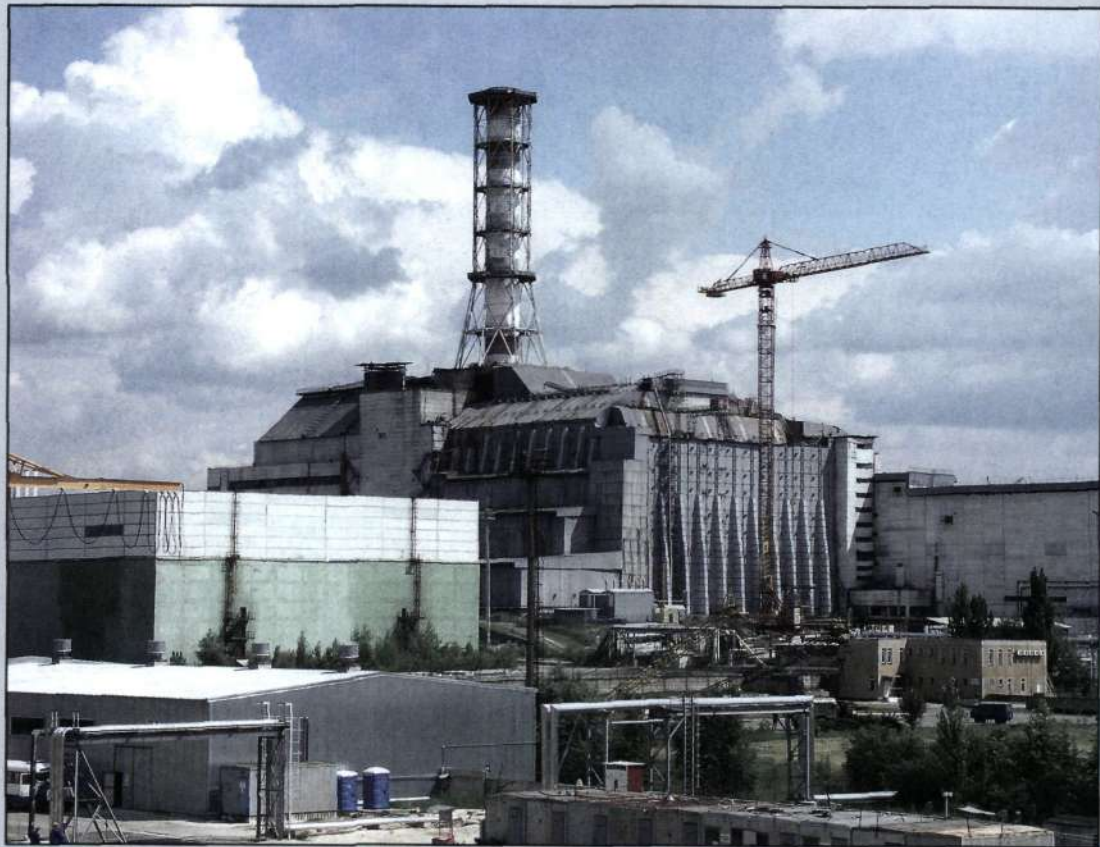
Открытое
распределительное
устройство
Чернобыльской
АЭС



Вид
на Чернобыльскую
АЭС со стороны
г. Припяти

Водозаборный
канал
Чернобыльской
АЭС



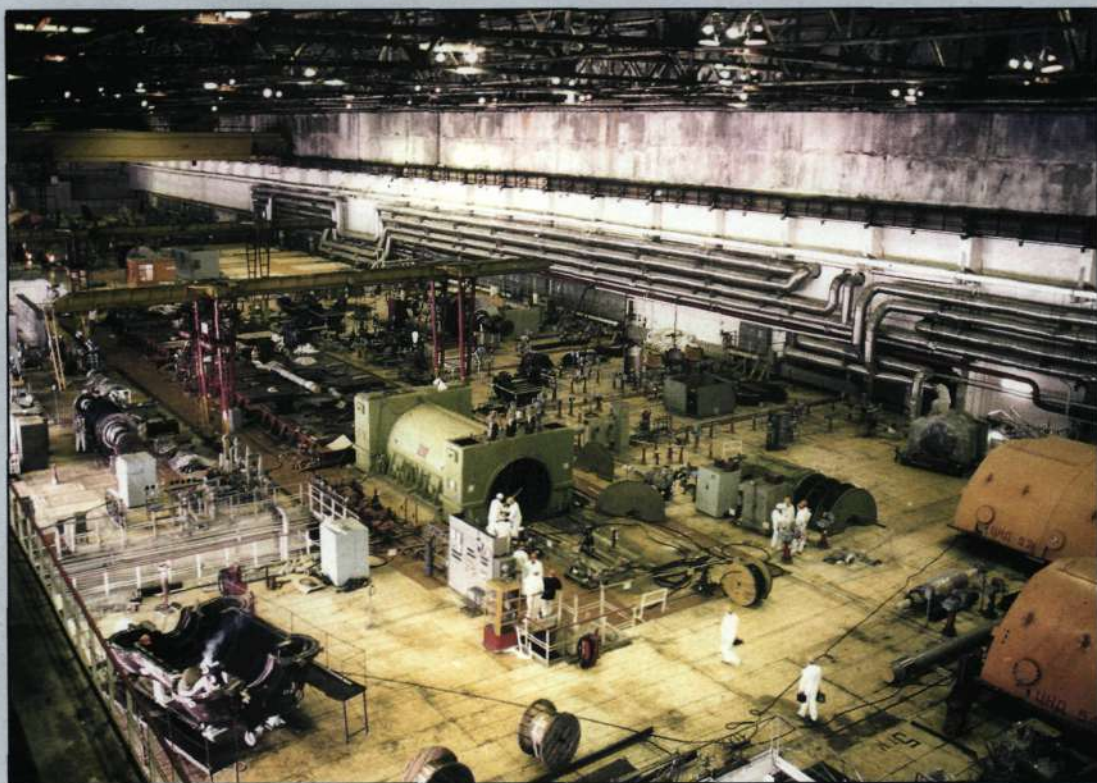


Объект «Укрытие»

Блочный щит
управления
третьим
энергоблоком

Щит
радиационного
контроля третьего
энергблока

Машинный зал
Чернобыльской
АЭС





Площадка
Чернобыльской
АЭС

Работы
по стабилизации
строительных
конструкций
объекта «Укрытие»

Работы
на бассейне
выдержки
отработавшего
ядерного топлива

Реакторный зал





Первый и второй
энергоблоки
Чернобыльской
АЭС

Подготовка
площадки под
промышленный
комплекс
по переработке
твердых
радиоактивных
отходов



Строительство
хранилища
отработавшего
ядерного топлива

Модули
хранилища
отработавшего
ядерного топлива





Здание
строящегося
завода по
переработке
жидких
радиоактивных
отходов



Наладка
оборудования
завода по
переработке
жидких
радиоактивных
отходов



Строительная
площадка завода
по переработке
твердых
радиоактивных
отходов

Новая
отопительная
котельная





Встреча ветеранов
Чернобыльской
АЭС с эксплуата-
ционным
персоналом



Щит управления
остановленного
первого
энергблока

Славутичская
лаборатория
международных
исследований
и технологий

Панорама
г. Славутича

Представители
государственных
организаций
США —
профессор Кэрл
Кеслер (слева)
и доктор Тэрри
Лэш (справа),
инициаторы
первых программ
международной
технической
помощи на
Чернобыльской
площадке





Торжественное
открытие
Славутицкого
филиала
Национального
технического
университета
Украины «КПИ»

Здание медико-
санитарной части
г. Славутича



Митинг пам'яті
очередної
годовщини аварії
на Чорнобильській
АЕС

Центр вищого
освіти
і науки
в г. Славутиче



3.4. СТРОИТЕЛЬСТВО ГОРОДА СЛАВУТИЧА

Сразу после аварии, с учетом заключения специалистов о невозможности заселения г. Припяти, правительство дало поручение срочно рассмотреть вопрос о месте строительства города для постоянного проживания работников Чернобыльской АЭС и членов их семей с тем, чтобы безотлагательно развернуть необходимые проектно-изыскательские работы.

Площадка для строительства должна была иметь железнодорожную или хотя бы автомобильную связь со станцией, находиться в месте, откуда бы доставка персонала на работу не превышала одного часа, а радиационная обстановка сочеталась с безопасной жизнедеятельностью населения.

Для рассмотрения были предложены территории, прилегающие к следующим населенным пунктам: Страховское, Дымер, Термаховка, Богданы, Полесское, Иванков (Киевская обл.), Неданчичи (Черниговская обл.), Брагин и Хойники (Гомельская обл.). Площадка в районе с. Неданчичи наиболее полно отвечала перечисленным требованиям: располагалась на ближайшем расстоянии от атомной станции; здесь уже имелась железнодорожная станция ветки Чернигов – Житомир; мощность дозы гамма-излучения в 1986 г. не превышала 0,1 мР/ч, а плотность загрязнения почвы изотопами цезия – 0,037 МБк/м² (1 Ки/км²).

Поэтому принимается решение строить город именно здесь, с расчетной численностью 20 тыс. человек и возможностью дальнейшего развития до 30 тыс. человек. Генеральным проектировщиком назначается Киевский зональный научно-исследовательский и проектный институт типового

и экспериментального проектирования жилых и общественных зданий.

Одновременно с проектированием начинаются проектно-изыскательские работы, которые сразу же показали, что грунты в районе с. Неданчичи слабые, имеют сильную обводненность и требуют специальных приемов при организации многоэтажной застройки, что влекло за собой значительное удорожание строительства. После рассмотрения материалов предварительных геологических исследований принимается правительственное решение от 8 октября 1986 г. перенести город несколько восточнее, в район железнодорожной станции Нерафа.

К сожалению, радиационная обстановка на новом месте размещения города не была детально изучена. Относительно небольшое расстояние переноса позволяло предположить и небольшие изменения радиационных характеристик. Первое предварительное радиационное обследование этой территории проводится только летом 1987 г., когда строительство города уже шло полным ходом. Загрязнение территории, выбранной под строительство г. Славутича, составляло 1–5 Ки/км² по цезию-134 и цезию-137, 0,05–0,4 Ки/км² – по стронцию-90 и 0,01–0,1 мКи/км² – по изотопам плутония. На западе и востоке территория города захватывала два пятна с плотностью загрязнения почвы цезием-134 и цезием-137 до 15 Ки/км². Хотя из результатов измерений стало ясно, что радиационная обстановка в районе строительства и на первоначально выбранной площадке вблизи с. Неданчичи существенно различается, остановить запущенный механизм было уже невозможно.

Город Славутич расположен в 50 км к востоку от Чернобыльской АЭС и в 20 км от границы зоны отчуждения. Автомобиль-

ная связь с Чернобыльской АЭС осуществляется по вновь построенной дороге Славутич – Чернобыль. Развитая сеть автомобильных дорог позволяет удобно связать Славутич с Киевом, Черниговом и Гомелем, с районными центрами и крупными селами в радиусе 20–30 км, с местами отдыха на берегу Днепра и в лесной полосе Приднепровья. Особенно удобно Славутич расположен по отношению к Чернигову. При пользовании пригородной электричкой время в пути до Чернигова составляет примерно 50 мин, что позволяет славутчанам пользоваться инфраструктурой областного центра. Железнодорожный вокзал Чернигова обеспечивает жителям Славутича устойчивую связь с городами Украины и других стран.

Несмотря на то, что г. Славутич находится на территории Черниговской области, административно он подчинен Киевской области, как и Чернобыльская АЭС. Зона речного порта размещается севернее железнодорожного моста на старице Днепра у острова Праведный на расстоянии 10 км от Славутича. Для устройства портовых сооружений потребовались углубление дна судоходного канала, создание ковша и намыв прилегающих территорий до отметок, обеспечивающих защиту от паводка. В настоящее время здесь создана зона отдыха с развитой базой водного спорта.

Селитебная зона города сформирована в виде полукольца градостроительных жилых комплексов вокруг системы общегородского центра. Первоначальным проектом предполагалось размещение пяти жилых комплексов. К концу 1989 г. основные запланированные здания и сооружения были построены. Позднее, на второй очереди проектирования, предусматривается расширение города до 30 тыс. жителей.

В строительстве Славутича принимали участие восемь бывших союзных республик: Украина, Россия, Литва, Латвия, Эстония, Грузия, Армения, Азербайджан. В возведенных кварталах ярко отразились национальные особенности их архитектуры. Градостроительный комплекс представляет собой законченный элемент городской инфраструктуры, выполненный с учетом традиций, материалов и опыта, имевшихся у исполнителя. Поэтому каждый квартал в городе несет колорит его строителей: дома из розового туфа Армении не спутаешь со светло-желтыми, под цвет дюн, домами Таллиннского квартала или со строгими башнями Тбилисского.

Архитектурная целостность застройки Славутича достигается единым стилевым характером жилых и общественных зданий, соразмерностью градостроительных комплексов, единой цветовой гаммой отделки зданий.

Проектом расширения города в соответствии с генеральным планом дальнейшее расселение жителей предусматривалось на резервных территориях по внешнему обводу автомобильного кольца с организацией семи новых градостроительных комплексов. В отличие от первых градостроительных комплексов, дополнительное размещение объектов детского воспитания, культуры, физкультуры и спорта предлагалось между новыми комплексами, с объединением их благоустроенными территориями повседневного отдыха населения.

Эти градостроительные комплексы должны были принять 14 600 человек на жилой площади 253 тыс. м², дополнительно к 17 000 жителей, размещенных в пяти ранее созданных комплексах. При проектировании комплексов учитывались уже сложившиеся в городе демографические осо-

бенности: высокие доли многодетных семей и одиноких людей, а также высокий процент детского населения. В связи с этим в новых кварталах предусматривается дополнительное строительство школ и детских дошкольных учреждений, а также увеличение доли многокомнатных и однокомнатных квартир.

При разработке архитектурно-планировочного и композиционного построения города проектировщики закладывали такие, во многом экспериментальные, принципы:

разделение пешеходного и автомобильного движений на основе главенствующей роли движения пешеходов и выделения безавтомобильных зон;

организация развитой системы велосипедного движения и стоянок велосипедов;

локализация автомобильного движения и мест хранения транспортных средств на периферии селитебной зоны города;

максимально возможное сохранение существующих лесных насаждений в центре города, дворовых пространствах и общественных зонах с комплексным благоустройством прилегающей лесной зоны города;

осуществление жилищно-гражданского строительства завершенными комплексами, включающими социальные, культурные и бытовые объекты, объекты инженерной инфраструктуры и внешнего благоустройства;

концентрация учреждений культурно-бытового обслуживания в центральной части города с созданием ядра – общественного центра, возводимого одновременно с жилой зоной;

ориентация на режим повышенного комфорта проживания;

возрождение в застройке утраченных современной архитектурой решений компози-

ций градостроительных ансамблей, улиц, площадей, пространств жилых дворов;

концентрация высотных акцентов в центральной части города, с постепенным понижением силуэта за счет размещения основной массы малоэтажной застройки по периферии в пределах основного транспортного кольца;

возможность дальнейшего разнообразия объемно-пространственных решений внешнего транспортного полукольца за счет композиционного контраста одно-, двухэтажной застройки прилегающей части в существующих градостроительных комплексах и строительства многоэтажных зданий в новых.

Практика реализации этих принципов в городской застройке показала, что некоторые из них, например, ориентация на пешеходно-велосипедный стиль передвижения, оказались нежизнеспособными, другие удалось реализовать только частично в связи с меняющимися политическими и экономическими условиями. Внесли свои коррективы и мероприятия по дезактивации радиоактивно загрязненной городской территории, в результате которых проводилось удаление верхнего слоя почвы как перед застройкой новых кварталов, так и на многих участках внутри старых.

В западной и восточной части пригородных территорий с наиболее высокими уровнями радиоактивного загрязнения предполагалось провести дополнительные работы по улучшению экологической и санитарно-гигиенической обстановки: выборочную вырубку леса, дезактивацию загрязненных участков, очистку коры деревьев, устройство газонов. В северной части было достаточно рекультивации ландшафта путем выборочной вырубки деревьев на местах организации дорожной сети и устройства газо-

нов. На этих территориях планировалось организовать благоустроенный лесопарковый пояс массового повседневного отдыха с повышенной плотностью дорожно-тропичной сети и обводнением. В этот пояс должна была органично входить противопожарная стометровая полоса, очищенная от зеленых насаждений. За ней предполагалось расположить лесопарковый пояс для повседневных оздоровительных прогулок шириной около 400 м. Его планировочная организация и благоустройство непосредственно связаны с парковым поясом, прогулочными и оздоровительными маршрутами зеленой зоны.

Планировочные работы на площадке строительства начались 4 января 1987 г. А уже в декабре 1987 г. были возведены все штатные инженерные сооружения города, приняты в эксплуатацию первые жилые дома общей площадью 150 тыс. м², два детских сада, школа, первая очередь медико-санитарной части. В марте 1988 г. ключи от города вручены его будущим жителям. Плановое заселение домов и ввод в эксплуатацию специальной транспортной магистрали от Славутича до Чернобыльской АЭС позволили в октябре 1988 г. отказаться от вахтового метода эксплуатации энергоблоков Чернобыльской АЭС.

В настоящее время город имеет четыре общеобразовательных школы, лицей, филиалы высших учебных заведений Украины, базу для занятий физкультурой и спортом – общегородской стадион, бассейн, пять физкультурно-оздоровительных комплексов, крытый теннисный корт. Больничный комплекс города объединяет поликлинику для взрослых и детей, главный больничный корпус и узкоспециализированные комплексы.

Поскольку город был построен на территории, подвергшейся радиоактивному

загрязнению вследствие аварии, сразу организовываются дезактивационные работы с целью снижения уровней облучения жителей Славутича до нормативных. На первом этапе эта деятельность носила название «санитарной очистки города», но по мере снятия грифа секретности и продвижения в Украине демократических реформ дезактивационные работы на городской территории перешли в разряд необходимых и находились под непрерывным контролем со стороны администрации города и общественных организаций.

Поскольку самим назначением городу Славутичу предопределялась теснейшая, ежедневная связь с эпицентром радиоактивного загрязнения, то необходимым условием начала заселения города было создание надежного противорадиационного барьера на маршруте Чернобыльская АЭС – Славутич при минимальной потере времени персоналом на передвижение по нему.

Сложность такой задачи обуславливалась, в первую очередь, сложностью и недостаточной изученностью процесса и структуры формирования загрязнения радиоактивными веществами работников Чернобыльской АЭС. Большая протяженность маршрута передвижения, различные характеристики зон пребывания и работы персонала, путей загрязнения кожных покровов, спецодежды и спецобуви требовали нестандартных и весьма дорогостоящих решений.

Специально ориентированными на эту проблему научно-исследовательскими работами было установлено, что процессы радиоактивного загрязнения лиц, находящихся в условиях зоны строгого режима станции и в условиях зоны отчуждения, особенно внутри ее 10-километровой границы, существенно различаются.

В обычной зоне строгого режима радиоактивное загрязнение происходит преимущественно контактным путем и реже – через попадание на поверхность тела и спецодежду жидкостей или твердых частиц из воздуха, содержащих радиоактивные вещества. В условиях зоны отчуждения и, особенно, ближней зоны Чернобыльской АЭС роль последнего фактора существенно повышается.

Действительно, на открытой территории, вследствие атмосферных процессов и техногенной деятельности, происходит как образование локальных скоплений твердых и жидких радиоактивных веществ, так и поднятие их с различных поверхностей в воздух. В этом случае нахождение человека на открытой местности, как правило, связано с радиоактивным загрязнением системы «поверхность тела – спецодежда», что в условиях обычных атомных станций является, практически, исключением и не допускается. Полное изучение и осознание этих особенностей, естественно, требовало времени. Поэтому адекватные меры по обеспечению радиационной защиты на маршруте Чернобыльская АЭС – Славутич вырабатывались с определенной долей консерватизма в оценке еще не исследованного аспекта опасности радиоактивного загрязнения персонала и спецодежды.

Накопленный опыт предотвращения распространения загрязнения за пределы установленных границ содержит, в дисциплинарном плане, три основополагающих способа: зонирования пространства, обеспечения спецодеждой и организации санитарных барьеров, включая санпропускники на границах зон. Эти способы и были реализованы для повышения радиационной безопасности при перевозке персонала по маршруту Чернобыльская АЭС –

Славутич. На границе зоны отчуждения предусматривалось строительство полномасштабного санпропускника, соответствующего требованиям санитарных правил. В этом случае персонал из Славутича на электропоездах «чистого плеча» доезжал бы до санпропускника, где, переодевшись в промежуточный комплект спецодежды, на электропоездах «грязного плеча» ехал бы на Чернобыльскую АЭС.

Но этот вариант затягивал сроки перехода персонала станции на безвахтовый метод работы, поскольку на границе зоны отчуждения не было требуемой инфраструктуры для быстрого строительства и ввода санпропускника в действие. Необходимость в кратчайшие сроки выполнения решения о переходе на безвахтовый метод эксплуатации Чернобыльской АЭС, т. е. использования Славутича как базового города энергетиков, заставила искать другой вариант обеспечения радиационной безопасности на маршруте станция – Славутич, согласно которому вместо одного санпропускника на границе зоны отчуждения создаются два санпропускника: один в г. Славутиче, другой – перед промплощадкой Чернобыльской АЭС на станции Семиходы.

Учитывая отдаленность г. Славутича от Чернобыльской АЭС, для доставки персонала на работу была реконструирована и в начале 1988 г. введена в эксплуатацию специальная электрифицированная железнодорожная ветка с организацией движения электропоездов по маршруту г. Славутич – станция Пересадочная – санитарный пропускник «Семиходы» и обратно. Четырьмя электропоездами с различным временным интервалом персонал станции доставлялся на станцию Пересадочная, расположенную на территории Беларуси. Это железнодорожное плечо называлось условно

чистым. Пересадка персонала практически осуществлялась в течение 5 мин. Другой электропоезд отправлялся по грязному плечу к станции Семиходы, где в санпропускниках персонал менял транспортную спецодежду на рабочую. Важным элементом системы, обеспечивающей санитарно-пропускной режим, являлась станция Пересадочная, исключая проезд условно грязных электропоездов в г. Славутич. Для дезактивации подвижного состава, выходящего из зоны отчуждения, на этой станции был построен пункт дезактивации электропоездов.

Исследования по оценке санитарно-пропускного режима, проведенные в 1988 г., показали, что его эффективность вполне удовлетворительна. Однако экономические затраты и потери времени на осуществление такого сложного санитарного режима были слишком велики. В 1991 г. по результатам углубленного исследования эффективности функционирования системы санитарно-пропускного режима Чернобыльская АЭС – Славутич, а также анализа радиационной обстановки в условно чистых и условно грязных электропоездах с учетом ввода в действие пункта дезактивации подвижного состава вводится приемлемо безопасная, но более экономичная схема беспересадочной транспортировки персонала на участке санпропускник «Славутич» – санпропускник «Семиходы».

Однако транспортировка людей на рабочие места и процесс обеспечения санитарно-пропускного режима оставались очень громоздкими и дорогостоящими. Большая часть персонала должна была проходить до четырех санитарно-пропускных барьеров с соответствующим дозиметрическим контролем и тремя переодеваниями. Со временем стало наблюдаться стрем-

ление некоторых работников обойти эти барьеры, чтобы сэкономить личное время, что приводило к снижению эффективности дозиметрического контроля. Для решения вопроса возможности дальнейшего упрощения схемы были проведены дополнительные исследования.

Постоянный контроль загрязненности поверхностей электропоездов, внутренних поверхностей санпропускников, а также внутренних поверхностей помещений в общественных зданиях города и на лестничных клетках жилых домов зафиксировал, что выноса радионуклидов за пределы зоны отчуждения на спецодежде или кожных покровах нет. На основании этого в начале 1995 г., в порядке эксперимента, из системы санитарно-пропускного режима полностью исключаются санпропускники в г. Славутиче. Несмотря на удаление одного защитного барьера, снижения эффективности системы не произошло, что объясняется как общим улучшением радиационной обстановки на площадке Чернобыльской АЭС вследствие естественных причин, так и проведенными дезактивационными работами на территории и в помещениях станции, на рабочих местах. Это позволило компенсировать некоторое снижение строгости санитарно-пропускного режима.

Результаты дозиметрического контроля за прошедшие годы подтверждают достаточную эффективность реализованной системы санитарно-пропускного режима на маршруте Чернобыльская АЭС – Славутич. За весь период было обнаружено всего два случая загрязнения личной одежды у персонала станции, и оба случая явились следствием умышленного грубого нарушения установленных правил самими пострадавшими.

С 1986 г. выполнено много исследований, посвященных изучению распределения загрязнения по территориям и объектам окружающей среды, в продуктах питания, миграции радионуклидов аварийного происхождения по пищевым цепочкам, а также определению дозовых нагрузок населения, вынужденного жить в неблагоприятных условиях. Однако большинство опубликованных работ освещает частные вопросы взаимодействия человека и радиоактивно загрязненной среды и охватывает относительно небольшие временные периоды.

Проведение комплексных, системных, многолетних исследований в конкретном населенном пункте позволило получить уникальные данные и оценить изменения радиоактивного загрязнения местности и дозовых нагрузок человека во времени, в зависимости от его жизнедеятельности и принимаемых мер защиты. Выполненные исследования показывают, что системная работа по снижению дозовых нагрузок на население Славутича, смягчению отрицательного влияния радиационного фактора может обеспечить экологически благоприятные условия жизни людей. Основными этапами этой работы являлись:

- комплексное изучение радиационной обстановки;

- дезактивация радиоактивно загрязненных участков;

- разработка специальной программы по обеспечению радиационной безопасности проживания населения, создание условий для выполнения требований радиационной защиты, постоянный радиационный мониторинг и широкое освещение его результатов, целенаправленная пропаганда знаний по этим вопросам в местных средствах массовой информации;

- организация и поддержание на хорошем уровне медицинского обслуживания;

- обеспечение качества жизни населения на возможно высоком уровне.

Целостная система города с его инфраструктурой, рекреационными зонами и особенностями образа жизни горожан имеет огромное влияние как на формирование дозовых нагрузок, так и на всю экологическую систему существования человека. Каждый элемент этой экосистемы, являясь чрезвычайно важным, должен быть изучен и организован. В первые годы после аварии принимаемые меры носили преимущественно защитный характер и ориентировались, главным образом, на предотвращение облучения населения выше установленных пределов доз. В последующем стало ясно, что эффективные меры по смягчению последствий чернобыльской катастрофы могут быть реализованы только с учетом всего комплекса инвестиционных, экологических, экономических и других проблем загрязненных регионов.

В Славутиче проводится комплексная социально-психологическая реабилитация населения, которая включает социальные, медико-биологические и психологические мероприятия, направленные на повышение осведомленности в вопросах радиационной безопасности, переориентацию населения с позиции обреченных на позицию ведения здорового активного образа жизни.

Совокупность выполненных мероприятий и их поддержание на достигнутом уровне позволили обеспечить практически безопасные и экологически комфортные условия проживания работников Чернобыльской АЭС.

В настоящее время можно с уверенностью сказать, что Славутич – один из самых экологически благополучных городов Укра-

ины. И этот факт признается западными экспертами. Так, в документе, представленном руководству Департамента энергетики США экспертом по радиационной безопасности, говорится:

«Базируясь на результатах исследований, проведенных программами, которые финансировались Управлением международной ядерной безопасности и сотрудничества США, можно утверждать, что население г. Славутича подвергается не большому риску, чем все остальное население Украины. Программа контроля окружающей среды Украины, с которой ознакомился персонал Тихоокеанской северо-западной национальной лаборатории, не показывает какого-либо существенного уровня загрязнения территории, которое было бы связано с аварией. Примером очевидного свидетельства безопасности может послужить тот факт, что граждане Америки и их семьи поселились в Славутиче. Радиологическая экологическая ситуация г. Славутича и близлежащей территории измеряется радиоэкологическим отделом Чернобыльской атомной электростанции с использованием лабораторий, которые расположены в г. Славутиче. Программа контроля окружающей среды включает в себя анализ воздуха, питьевой воды и продуктов питания. Кроме того, уровни направленного излучения измеряются термолюминесцентными дозиметрами. Результаты данной программы контроля демонстрируют, что на данной территории нет существенного уровня радиоактивного загрязнения. Десять сотрудников Тихоокеанской северо-западной национальной лаборатории длительное время проработали в г. Славутиче. Срок их пребывания варьировался от трех месяцев до двух лет. Некоторые служащие привезли с собой свои семьи. За

этот период времени они провели несколько исследований в области измерения уровня радиации в Славутиче. Ни одно из исследований не показало превышения уровня радиации сверх допустимого фонового уровня».

В период глобального экологического кризиса оценка взаимодействия человека и окружающей его среды для создания нормальных условий жизни имеет огромное значение. После Хиросимы и Нагасаки, массовых испытаний ядерного оружия и активного развития ядерной энергетики, а особенно после чернобыльской аварии весьма важным становится правильное понимание значимости радиационного фактора как в общей экологической системе связей биосферы, так и особенностей в экологии человека.

Экология человека в широком понимании включает в себя весь комплекс взаимодействия человека и окружающей его как природной, так и искусственной среды, в том числе множество социально-экономических и психологических компонентов. Радиационный фактор влияет практически на все стороны этих связей, на весь комплекс условий жизни человека. Именно поэтому его правильная оценка приобретает такое большое значение.

После чернобыльской аварии 1986 г. возник уникальный для истории человечества вопрос: как организовать жизнь людей на территориях, загрязненных долгоживущими радиоактивными элементами? Наиболее простым представлялся вариант отселения людей с этих территорий. И он лег в основу действующего законодательства Украины, России и Беларуси — стран, наиболее пострадавших вследствие чернобыльской аварии. Но практика показала, что это было не только не лучшее реше-

ние, но во многих случаях и худшее, если рассматривать его долговременные последствия и учитывать социально-психологический аспект.

Организация нормальной жизнедеятельности в Славутиче является примером альтернативного подхода к разрешению данной проблемы. За время, прошедшее после аварии, получены обширные данные о реальных дозах облучения населения, оставшегося жить на загрязненных территориях, о возможностях производства чистой продукции в радиоактивно загрязненных условиях. Более продуманным стало и отношение населения к переселению и возможностям полноценной жизни на загрязненных территориях.

Учитывая новые данные и накопленный опыт, нужно беспокоиться не об отселении, а о создании нормальных условий прежде всего для тех, кто не хочет переселяться, и тех, кто хотел бы вернуться. А для этого необходимо максимально уменьшить возможное негативное влияние последствий аварии на здоровье людей, а также компенсировать понесенные потери.

Особого внимания к себе требуют проблемы развития культуры, образования, физкультуры и спорта в населенных пунктах, подвергшихся радиоактивному загрязнению. Известно, что именно культура имеет уникальные возможности духовного влияния на личность, создает условия для доброжелательного общения между людьми, их объединения, преодолевает возможность психологических травм, в том числе радиофобии и «чернобыльского синдрома». Речь идет о создании такого культурного потенциала, который бы смягчил последствия аварии. Почитание здорового образа жизни является для славутчан первостепенной необходимостью, и в 1994 г.

в городе начато внедрение проекта Всемирной организации здравоохранения под названием «Здоровые города».

По мнению отечественных и зарубежных специалистов, Славутич может и должен стать международной научно-исследовательской базой для изучения последствий аварий на Чернобыльской АЭС и разработки новых эффективных способов предотвращения их на основе современных высоких технологий. Славутич имеет все возможности стать центром создания и практического использования новых технологий, связанных с работами по снятию с эксплуатации реакторных установок и преобразованию объекта «Укрытие» в экологически безопасную систему, а также своеобразной социальной и экономической лабораторией Украины по распространению опыта создания современных моделей развития городов.

3.5. АВАРИЯ НА ВТОРОМ ЭНЕРГОБЛОКЕ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АТОМНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Авария на 2-м энергоблоке Чернобыльской АЭС произошла 11 октября 1991 г. из-за включения в сеть выводимого в ремонт турбогенератора и сильного пожара в машинном зале с последующими отказами систем, важных для безопасности, обеспечивающих режим расхолаживания реактора, с отказами питательных электронасосов, аварийных питательных насосов и отказом управления клапаном, который обеспечивает регулируемый сброс пара при расхолаживании.

При аварии имела место следующая последовательность событий. Энергоблок

находился в процессе выхода на установленный уровень мощности после капитального ремонта, длившегося два месяца. Уровень мощности составлял 50 % тепловой мощности реактора. Работал один турбогенератор блока мощностью 425 МВт.

Второй турбогенератор энергоблока был остановлен для ремонта сепаратора-пароперегревателя и отключен от электросети воздушным выключателем. Через 24 мин после отключения турбогенератор, имевший скорость вращения ротора 50 об/мин, подключился к электросети по ложному сигналу и перешел в режим асинхронного электродвигателя. Включение произошло из-за потери изоляции между управляющей жилой кабеля, по которой с блочного щита управления включается выключатель, и сигнальной жилой, по которой на щит управления передается сигнал отключенного состояния выключателя. Обе жилы, управляющая и сигнальная, расположены в одном кабеле. В последующем, при расследовании причин аварии, обнаружили дефект монтажа кабеля, наложившийся на технический недостаток проекта – размещение сигнальных и управляющих линий связи в одном кабеле. Защита турбогенератора от режима подключения к сети на выбеге ротора проектом не была предусмотрена.

Выключатель трижды включался с двукратным промежуточным отключением. Турбогенератор, находившийся в «двигательном» режиме 30 с, был окончательно отсоединен от сети токовыми защитами. Асинхронный разгон большой инерционной массы турбогенератора привел к выделению в роторе большой энергии. Возникшие большие осевые нагрузки вызвали разрушение подшипников вала турбогенератора, а разуплотнение торцевых

уплотнений генератора привело к выбросу масла и водорода и к их воспламенению.

Прибывший караул пожарной охраны Чернобыльской АЭС приступил к тушению пожара. От горящего масла загорелась кровля машинного зала. В результате термического воздействия на металлические конструкции кровли машинного зала произошло обрушение кровли над горящим турбогенератором. Фрагменты обрушившейся кровли повредили оборудование, важное для безопасности и участвующее в расхолаживании ядерного реактора.

По факту пожара в машинном зале оператором при нажатии кнопки аварийной защиты реактор заглушается. Принимается решение о расхолаживании контура циркуляции первичного теплоносителя с аварийной скоростью 30 °С/ч. Из двух находящихся в работе питательных насосов один отключается при срабатывании аварийной защиты в соответствии с требованием технологического регламента, а второй работает в течение приблизительно 8 мин, после чего уровень в барабан-сепараторах достигает верхней аварийной уставки. Предпринимается попытка переключить работающий питательный насос на петлю рециркуляции, но из-за отказа напорной задвижки единственный работающий питательный насос приходится отключить. Уровень в барабан-сепараторе начинает снижаться. После этого делается попытка закрыть клапан быстродействующего редуцирующего устройства бака-барботера, не удавшаяся из-за отказа управления. Расхолаживание блока продолжается с аварийной скоростью.

После того, как на блочный щит управления энергоблока поступают сообщения о задымлении в районе обвязки питательных насосов, их электрические схемы раз-

бираются в соответствии с инструкцией по ликвидации пожара.

Через три часа после начала аварийного процесса теряется контроль уровня воды в барабан-сепараторах. К этому времени давление в контуре снижено до 1,0 МПа, что позволяет подать воду от насосов докачки конденсата. Следует отметить, что приблизительно через 2 ч. 10 мин после начала аварийного процесса была задействована подпитка коллектора гидростатических подшипников от насосов гидроуплотнений главных циркуляционных насосов. Хотя насосы гидроуплотнений имеют суммарную подачу 300 т/ч, пропускная способность линии ограничена 30 т/ч. Кроме того, в контуре первичного теплоносителя через гидроуплотнения вала каждого циркуляционного насоса подается до 10 т/ч воды на каждый насос, т. е. в процессе аварийного расхолаживания в контур поступало до 80 т/ч воды от этих насосов. Однако потеря уровня в барабан-сепараторе показала, что подпитка контура не компенсирует потери теплоносителя на испарение за счет таких источников, как:

- остаточное энерговыделение топлива;
- отвод аккумулированного в элементах конструкции реактора тепла, в который наибольший вклад дает графитовая кладка;
- вскипание насыщенного теплоносителя при снижении давления.

После подачи воды от насосов докачки конденсата уровень в барабан-сепараторе восстанавливается до регламентных величин. Таким образом, подпитка контура позволила обеспечить расхолаживание оставленного реактора.

Расположение насосов аварийной подпитки контура в одном помещении с питаемыми насосами привело к тому, что в результате одного события — пожара —

реактор был лишен всех проектных высоконапорных источников подпитки. Проектом и аварийными инструкциями не предусматривалась подача воды в контур от низконапорных насосов, например насосов конденсатно-деаэрационного тракта. Весь период аварийного расхолаживания работало, по крайней мере, по одному главному циркуляционному насосу на половину реактора, что обеспечило надежное охлаждение реактора в течение всего процесса. Послеаварийный контроль состояния активной зоны не выявил возрастания активности, что указывало на отсутствие перегрева и дополнительной разгерметизации оболочек топливных элементов. Не было нарушения проектных пределов безопасности реактора, хотя и были нарушены условия безопасной эксплуатации по количеству и состоянию систем нормальной эксплуатации и систем безопасности.

Таким образом, в период аварии на 2-м энергоблоке Чернобыльской АЭС в 1991 г. периодически отказывали штатные и аварийные источники подпитки контура первичного теплоносителя. Потеря контроля уровня в барабан-сепараторах свидетельствовала о дефиците подпитки контура циркуляции.

Авария выявила наложения отказов в различных системах нормальной эксплуатации, важных для безопасности, и системах безопасности, в том числе существенно повлиявших на развитие аварийного процесса. Данную аварию можно рассматривать как аварийную ситуацию, вызванную непредусмотренным в проекте исходным событием, которое сопровождалось независимыми отказами систем безопасности и систем, важных для безопасности.

Имевший место при пожаре выброс в атмосферу радиоактивных аэрозолей был

обусловлен горением элементов кровли со следами незначительных загрязнений от аварии на 4-м энергоблоке станции в апреле 1986 г. Облучения персонала выше допустимых контрольных уровней не было. Участники ликвидации пожара в количестве 63 человек из числа эксплуатационного персонала и пожарных получили дозы облучения от 0,02 до 0,17 сЗв, что не превышает допустимых двухнедельных доз. Статистически значимого увеличения концентрации аэрозолей в 30-километровой зоне АЭС не зафиксировано.

Последствия пожара на 2-м энергоблоке Чернобыльской АЭС таковы:

- поврежден турбогенератор № 4 и возбудитель генератора;

- сгорело 500 м³ водорода, сгорело и разлилось 180 т турбинного масла;

- площадь обрушения кровли машинного зала энергоблока составила 2 448 м² из 20 502 м² общей площади покрытия. Масса обрушенных конструкций – примерно 119 т;

- суммарный выброс радиоактивных аэрозолей, образовавшихся при горении элементов кровли со следами загрязнения при аварии 1986 г., составил $3,6 \cdot 10^{-3}$ Ки;

- общий выброс во время данного нарушения в работе не превысил допустимого суточного выброса в атмосферу;

- произошло незначительное загрязнение радиоактивными веществами, которые образовались от сгорания элементов кровли,

со следами радиоактивного загрязнения, оставшегося после аварии 1986 г., поверхности технологических помещений с уровнем от 20 до 400 β-частиц/(см² · мин) при допустимом уровне, установленном для нормальной эксплуатации, 2000 β-частиц/(см² · мин);

в результате переполнения баков аварийного слива масла с турбогенераторов произошел разлив масла на 200 м² территории станции.

Непосредственно после пожара на энергоблоке № 2 Чернобыльской АЭС были выполнены ремонтно-восстановительные работы по ликвидации его последствий.

Пожар на энергоблоке № 2 явился катализатором решения Верховной Рады Украины об останове и немедленном выводе из эксплуатации второго энергоблока Чернобыльской АЭС, а также об останове первого и третьего энергоблоков не позднее 1993 г. Однако уже в 1993 г. мораторий на строительство новых атомных электростанций был отменен и по предложению Кабинета Министров Украины принято решение о продолжении эксплуатации Чернобыльской АЭС в течение срока, определяемого ее техническим состоянием. Для этого Чернобыльская АЭС спланировала мероприятия по выполнению ремонтно-восстановительных работ энергоблока № 2. Данные мероприятия не были осуществлены из-за последующего принятия решения о закрытии Чернобыльской АЭС.

Глава 4. ДОЗЫ И ПОСЛЕДСТВИЯ ОБЛУЧЕНИЯ

Оттого только страх всех смертных объемлет, что много видят они явлений на земле и на небе нередко, коих причины никак усмотреть и понять не умеют...

ЛУКРЕЦИЙ

4.1. ДОЗЫ ОБЛУЧЕНИЯ ПЕРСОНАЛА И НАСЕЛЕНИЯ

Масштабы последствий чернобыльской аварии обуславливались рядом случайных факторов, например:

авария произошла в ночное время, когда на станции работал ограниченный состав оперативного персонала, поэтому потери на рабочих местах были минимальными;

ночью большая часть местных жителей находилась дома, и поэтому оказалась защищенной стенами своих домов;

станция располагалась на достаточном удалении от крупных населенных пунктов, в отличие от других АЭС в различных странах. Ветер отнес радиоактивное облако от больших городов, что максимально снизило его воздействие на население;

интенсивное горение графита определило выброс радиоактивных веществ в атмосферу на значительную высоту. Это снизило уровень радиации на месте аварии; но способствовало тому, что радиоактивность распространилась далеко за пределы площадки станции.

После накопления и обработки дозиметрических данных, проведения расчетов, позволивших восстановить дозы на основе сведений о загрязнении окружающей среды с применением математических моделей, в настоящий момент можно выработать обоснованную, хотя и не очень точ-

ную оценку доз, полученных различными группами населения, пострадавшего от последствий аварии.

Радиоактивное загрязнение привело к появлению двух основных видов радиационного воздействия: 1) воздействия на щитовидную железу в результате концентрации в ней радиоактивного йода; 2) воздействия внешнего облучения на весь организм (общая доза), преимущественно от радиоактивного цезия.

Сразу же после аварии создается Всесоюзный регистр доз с целью регистрации медицинских и дозиметрических данных по группам населения, которые должны были, по оценкам, получить наибольшие дозы облучения. В 1991 г. этот регистр содержал данные на более чем 660 тыс. человек. Начиная с 1992 г., формируются национальные регистры Беларуси, Российской Федерации и Украины, заменившие Всесоюзный.

Условно облученные лица разбиты на несколько категорий.

Эвакуированное население. К этой категории относится более 100 тыс. человек, проживавших в основном на территории 30-километровой зоны вокруг места аварии и получивших значительные общие дозы облучения (средняя индивидуальная доза 15 мЗв на весь организм) и щитовидной железы (в пределах от 70 мЗв у взрослых до 1 Зв у детей).

Дозы, полученные населением, обуславливались выбросами радионуклидов из ава-

рийного реактора на протяжении 10 дней; при этом значения выбросов были различными. Основное влияние на щитовидную железу оказывал радионуклид йода-131, который накапливался в течение нескольких недель после аварии.

До начала эвакуации население подвергалось воздействию внешнего облучения, источником которого были радиоактивные вещества, осевшие из образовавшегося радиоактивного облака на землю, а также внутреннему облучению, которое в основном объяснялось вдыханием радиоактивных продуктов выброса.

Радиоактивный йод играл главную роль в ходе первых нескольких недель после аварии, формируя дозы, накопленные щитовидной железой за счет вдыхания загрязненного воздуха и, что еще более важно, за счет потребления загрязненных продуктов питания, в основном коровьего молока. Примерно через месяц основную опасность представлял радиоактивный цезий (^{134}Cs и ^{137}Cs). Через несколько лет ^{137}Cs стал единственным радиоактивным изотопом, способным привести к серьезным последствиям. На территориях, близких к аварийному реактору, ситуацию определял и стронций-90.

Методом биологической дозиметрии было проведено определение поглощенных доз у жителей (более 100 человек) г. Припяти, которые подверглись воздействию радиации в момент аварии и длительное время находились на открытом воздухе, передвигаясь по городу, – врачей, работников милиции и служб городского хозяйства. Поглощенная доза в среднем составила $0,13 \pm 0,03$ Гр, а у врачей, принимавших участие в эвакуации населения, – $0,11 \pm 0,02$ Гр.

Дозы, полученные категорией лиц, эвакуированных из наиболее загрязненных

областей Украины и Беларуси, зависели от возрастных групп, места жительства и времени эвакуации. У жителей г. Припяти, эвакуированных в течение 48 часов после аварии, средняя доза облучения щитовидной железы оценена в 0,17 Гр (0,07 Гр – у взрослых, 2 Гр – у детей). В целом для всего эвакуированного населения средняя доза облучения щитовидной железы составила 0,47 Гр.

Ликвидаторы. Данную категорию можно разделить на две. К первой относятся сотрудники Чернобыльской АЭС, пожарные, а также медицинские работники, которые находились в момент аварии на площадке и прилегающих участках. Они получили дозы облучения от нескольких единиц до 10 Гр и больше за счет внешнего облучения, источником которого были радиоактивные частицы, осевшие на различных поверхностях, и примерно такие же или еще более высокие дозы – за счет внутреннего облучения, в частности, щитовидной железы в результате инкорпорации радионуклидов.

Эти люди подверглись комбинированному воздействию радиоактивного излучения: внешнему гамма- и бета-облучению от радиоактивного выброса, фрагментированных частиц разрушенной активной зоны реактора и других радиоактивных частиц, осевших на коже, и внутреннему облучению за счет вдыхания радиоактивных частиц.

В сложившейся в результате аварии радиационной обстановке возможности применения в то время средств индивидуального дозиметрического контроля, которыми был обеспечен только персонал, работавший в зоне строгого режима на энергоблоках станции (около 30% состава), были ограничены. Это обстоятельство не позволило оценить дозы, полученные персоналом в наиболее

опасные, с точки зрения облучения, дни. Срочное проведение аварийных работ и скорейшее начало ликвидации аварийной ситуации обусловили эпизодический характер индивидуального дозиметрического контроля, а также значительное разнообразие средств контроля и учета доз. Поэтому определение истинных доз облучения являлось одной из основных задач, поставленных перед специалистами.

Для оценки доз облучения, полученных персоналом и населением, применялись различные методы как инструментального характера, с использованием индивидуальных дозиметров, счетчиков излучения радиоактивности всего тела, так и основанные на применении специальных расчетных методик ретроспективного восстановления доз.

Наиболее высокие дозы были зарегистрированы приблизительно у 400 сотрудников. Из них наличие острой лучевой болезни подтвердилось у 134. Использование биологической дозиметрии позволило выяснить, что 140 человек получили общую дозу внешней радиации в пределах 1...2 Гр, 55 человек – 2...4 Гр, 21 человек – 4...6 Гр, 21 человек – 6...16 Гр. Результаты исследований показали, что облучение щитовидной железы за счет вдыхания загрязненного воздуха варьируется от 20 Зв (с разбросом 0...1,2 Зв) у 173 человек до 11 Зв – у пяти. Дозы облучения кожных покровов от бета-излучения, рассчитанные для некоторых пациентов с острой лучевой болезнью, находились в пределах 400–500 Гр.

Средняя величина индивидуальной годовой дозы, полученной в 1986 г., для такой критической группы, как кадровый персонал сотрудников Чернобыльской АЭС и пожарные, которые приняли на себя основную дозовую удар, составила 0,31 Гр.

Вторая категория ликвидаторов представляет собой большую группу людей, которые были заняты на работах для оказания помощи в операциях по очистке территории. Они работали на площадке станции, в близлежащих населенных пунктах, сельскохозяйственных районах, которые предполагалось восстановить до состояния, пригодного для проживания и использования их в хозяйственном обороте.

В ликвидации последствий аварии участвовало около 600 тыс. человек, в том числе 240 тыс. военнослужащих. Их основными задачами являлись проведение дезактивационных работ, а также строительство защитного сооружения над разрушенным реактором.

Первоначально для ликвидаторов была установлена ежегодная суммарная предельная доза облучения в 250 мЗв. В 1987 г. это ограничение сократилось до 100 мЗв, а в 1988 г. – до 50 мЗв. Данные регистров показывают, что из года в год средние зарегистрированные дозы полученного радиоактивного облучения уменьшались. Средние значения эффективной дозы внешнего облучения для данной категории облучаемых лиц составили: 1986 г. – 170 мЗв; 1987 г. – 130 мЗв; 1988 г. – 30 мЗв; 1989 г. – 15 мЗв.

Однако на сегодняшний день довольно сложно определить степень достоверности этих данных, поскольку различные организации, проводившие дозиметрический контроль, использовали различные типы дозиметров, не применяя методов сравнительной калибровки. Большое количество зарегистрированных доз были очень близки к значениям разрешенных дозовых пределов, а около 25 % ликвидаторов вообще не имеют данных о полученных дозах. Средняя индивидуальная доза для всех

участников ликвидации последствий аварии в 1986–1987 гг. принята равной 100 мЗв.

Население, проживающее на загрязненных территориях. Примерно 270 тыс. человек продолжают жить на загрязненных территориях, где уровни выпадения радиоактивного цезия превышают 555 кБк/м². Дозы облучения щитовидной железы обусловлены в основном потреблением молока, загрязненного радиоактивным йодом, в течение первых недель после аварии. Наиболее высокие дозы на щитовидную железу – в интервале от нескольких единиц до 40 Зв – получили дети, проживающие на территории Гомельского района Беларуси. Среди взрослых жителей данной местности этот показатель в 10 раз меньше. Средняя индивидуальная доза на щитовидную железу составила около 0,2 Зв. В связи с тем, что в этих районах был обеспечен радиационный контроль продуктов питания, большинство случаев радиационного облучения, начиная с лета 1986 г., связано с внешним облучением за счет активности выпавшего на почву радиоактивного цезия. Общие дозы на период с 1986 по 1989 гг. оцениваются в пределах от 5 до 250 мЗв и составляют в среднем 40 мЗв.

Что касается общих доз облучения населения загрязненных территорий, то причина их получения была двойкой: облучение внешними источниками радиации из осевших радиоизотопов и попадание радиоактивного цезия в организм с продуктами питания. Внешняя доза полученной радиации была непосредственно связана с активностью радиоактивных изотопов и определялась воздействием уровней доз гамма-излучений в местах проживания или работы. Люди, работающие в лесных районах и проживающие в деревянных домах, получили наиболее высокие дозы.

Большая часть территорий, подвергшихся серьезному загрязнению, представляет собой сельские местности, в которых производится основная доля местных продуктов питания. Здесь фактором внутреннего радиационного облучения является цезий, попавший в растения из земли. По убывающей шкале фактора попадания цезия в растения располагаются регионы с торфяными почвами, песчаными подзолистыми почвами (кислая неплодородная почва в лесах), глинистыми подзолистыми почвами и черноземом.

В течение первых лет после аварии дозы облучения от радиоактивного цезия объяснялись практически повсеместно потреблением молока от местных коров. Однако впоследствии грибы стали также играть важную роль как еще один источник облучения цезием.

На территориях, где отсутствовал радиационный контроль продуктов питания, например в районах Ровенской области, где переход радиоактивного ¹³⁷Cs из почвы в растения был весьма высоким, уровни внутреннего облучения превышали уровни внешнего.

Начиная с 1987 г. дозы, получаемые населением загрязненных территорий, обуславливались главным образом внешним облучением за счет ¹³⁴Cs и ¹³⁷Cs в почве, а также внутренним облучением из-за потребления загрязненных продуктов питания. Сопутствующими факторами длительного радиационного облучения являлись потребление продуктов питания, загрязненных ⁹⁰Sr, а также вдыхание аэрозолей, содержащих ²³⁹Pu, но они не были значительными. Внешнее и внутреннее облучение за счет ¹³⁴Cs и ¹³⁷Cs привели к образованию относительно равномерных доз во всех органах и тканях тела.

Сравнительный анализ доз облучения населения, проживающего на территории, подвергшейся радиоактивному загрязнению после аварии на Чернобыльской АЭС, показывает, что повышенные уровни внутреннего и внешнего облучения характерны для сельского населения, основу рациона которого составляют местные продукты питания, а также продукты леса, отличающиеся во многих случаях более высоким, по сравнению с сельскохозяйственной продукцией, содержанием радионуклидов.

Особенностью образа жизни сельских жителей является и то, что они проводят на открытой местности значительно больше времени, чем городские. Дома, в которых они проживают, главным образом, одноэтажные и характеризуются меньшей степенью защиты по сравнению с многоэтажными. Вследствие этого применение защитных мероприятий по снижению доз облучения данной категории населения должно относиться к приоритетам в комплексе проблем, связанных с реабилитацией загрязненных территорий в отдаленный после аварии период. Интенсивное применение защитных мероприятий после чернобыльской аварии позволило до 3–5 раз уменьшить дозы внутреннего облучения сельского населения.

Эффективность защитных мероприятий в сельскохозяйственном производстве зависит от нескольких факторов: плотности загрязнения сельскохозяйственных угодий, прилегающих к населенному пункту, доли торфяных почв в почвенном покрове этих угодий, а также потребления сельскими жителями продуктов леса – грибов и ягод. Однако, несмотря на проведение защитных мероприятий с 1986 по 1996 гг. в исследуемых населенных пунктах, среднегодовые дозы облучения населения в настоящее

время в большинстве из них превышают 1 мЗв. В результате распада, вертикального перераспределения и снижения биологической доступности ^{137}Cs в почве эти дозы уменьшаются.

В наиболее загрязненных районах Брянской области (Россия) радиологическая обстановка остается неблагоприятной и потребность в проведении защитных мероприятий будет сохраняться там вплоть до 2040 г. При разработке стратегий реализации защитных мероприятий основное внимание следует уделить сельскохозяйственным, вследствие того, что в отдаленный период после аварии ограничительные защитные мероприятия и дезактивация земель по критерию стоимости предотвращенной дозы экономически неэффективны. Дезактивационные и ограничительные мероприятия оправданы лишь в наиболее загрязненных районах, где не удастся добиться снижения доз облучения сельскохозяйственными контрмерами.

Население за пределами территории Украины, России и Беларуси. Летучие радиоактивные элементы (йод и цезий), выброшенные в атмосферу в ходе аварии, распространились по всей территории северного полушария Земли.

Дозы, полученные населением за пределами территории Украины, России и Беларуси, в основном зависели от того, имели ли место атмосферные осадки при прохождении радиоактивного облака, и варьировались в пределах от нескольких единиц до десятков микрозивертов за пределами Европы, с пиками в 1 или 2 мЗв в некоторых европейских странах.

Последнее из указанных значений приравнивается к среднегодовому значению облучения человека за счет естественного радиационного фона.

Население Европы в течение первого года после аварии получило приблизительно 30 % естественной годовой дозы облучения (в Польше – около 15 %); в течение последующих 50 лет добавится еще около 1 % естественной дозы. Вместе с тем в Норвегии, где выпадение чернобыльских осадков было более интенсивным, чем в Центральной Европе, доза, полученная населением за первый год после аварии, составила лишь 4 % естественной дозы, так как там естественный фон радиации в несколько раз выше, чем в среднем по Европе. В некоторых странах, например в Индии и Бразилии, естественный радиационный фон в десятки и даже сотни раз превышает средние цифры, поэтому чернобыльская доза была значительно меньше географических колебаний естественного радиационного фона. Население Азии и Северной Америки получило дозу, в 100 или даже 1000 раз меньшую, чем жители Западной или Центральной Европы.

Таким образом, дозы, полученные населением других государств, были относительно небольшими и свидетельствуют о значительном их разбросе.

4.2. МЕДИЦИНСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ОБЛУЧЕНИЯ

Ионизирующее излучение, проходя через тело человека, вступает во взаимодействие с тканями, передающими энергию клеткам и другим составляющим путем ионизации их атомов.

При высоких дозах облучения восстановление и регенерация клеток могут стать недостаточными, что приводит к гибели их большого количества, вызывая затрудненное функционирование органов. Ранние

пагубные виды воздействия высоких доз радиоактивного облучения, проявляющиеся через несколько дней или недель после облучения, получили название *детерминистических*. Такие последствия угрожают жизни человека в краткосрочном плане и объясняют большую часть смертей, постигших облученных людей сразу же после чернобыльской аварии.

Низкие дозы не вызывают острых ранних последствий в связи с наличием механизмов, обеспечивающих восстановление клеток и компенсирующих нанесенный ущерб. Однако такая восстановительная деятельность бывает неполной; в этом случае клетка может мутировать и превращаться в канцерогенную либо приводить к наследственным дефектам в будущем. Такие поздние последствия, как возникновение раковых опухолей и наследственные эффекты, известны как *стохастические*; это название объясняется тем, что их вероятность проявления, но не тяжесть, зависят от полученной дозы. Стохастические эффекты нельзя увязывать с какой-то конкретно полученной дозой, поэтому прогнозы отдаленных медицинских последствий облучения низкими дозами ионизирующей радиации экстраполируются на основе выясненного воздействия высоких доз. При разработке норм радиационной защиты, когда рассматривались возможные виды практики борьбы с последствиями облучения, было высказано осторожное предположение, что ни одна доза ионизирующей радиации не проходит без потенциального вреда и что частота стохастических последствий при низких дозах облучения пропорциональна частоте стохастических последствий при высоких дозах.

В первые дни после аварии не только дилетантами, но также известными учены-

ми прогнозировались исходы аварии, значительно превосходящие последствия атомной бомбардировки Хиросимы и Нагасаки. В результате огромного выброса радионуклидов, который в 1000 раз превышал выброс, образующийся при взрыве атомной бомбы, предполагалось облучение населения всего мира, что должно было вызвать массовые раковые заболевания, врожденные аномалии развития и другие тяжелые патологии.

Среди изученных событий, в которых облучению в дозах, отличных от природного фона, подвергались многие тысячи людей, чернобыльская авария не выглядит событием уникальным. В общей сложности в результате аварий и радиационных инцидентов на предприятиях бывшего Советского Союза, включая аварию на Чернобыльской АЭС, количество пострадавших с клиническими детерминистическими симптомами острых радиационных поражений составляет 568 человек. Из них 344 был поставлен диагноз острой лучевой болезни различной степени тяжести. По видам аварий такие больные распределялись следующим образом: 40 % – пострадавшие в результате аварии на Чернобыльской АЭС; 25 % – в результате радиационных аварий на атомных подводных лодках; 20 % – профессиональные работники атомной промышленности; 15 % – пострадавшие в результате потерь радиоизотопных источников и других инцидентов.

При этом для развития острой лучевой болезни минимально действующая доза составляет больше 1 Гр, а для развития лейкоза и рака доза, как правило, – более 0,3 Гр. Канцерогенные дозы в цитовидной железе, если они были измерены или ретроспективно восстановлены, также превышают 0,3 Гр.

Медицинскими последствиями чернобыльской аварии являются: острые медицинские эффекты, тяжелые нарушения здоровья, поздние и психологические эффекты, способные повлиять на здоровье людей.

Острые медицинские эффекты наблюдались у персонала атомной электростанции, а также у лиц, которые участвовали в операциях по аварийному пожаротушению, оказанию медицинской помощи и расчистке промплощадки сразу же после аварии. В целом в результате аварии погиб 31 человек, а примерно 140 человек в разной степени пострадали от лучевой болезни и других нарушений здоровья.

Авария привела к немедленной смерти двух человек: один человек погиб в результате взрыва, а другой умер в результате коронарного тромбоза. Третий пострадавший ушел из жизни рано утром в день аварии от тепловых ожогов. Еще 28 человек умерли в центрах по оказанию помощи за первую неделю после аварии.

Все лица с выявленными симптомами облучения были помещены в больницы, где у 237 человек первоначально диагностировали острый радиационный синдром. Большинство из этих людей подверглись госпитализации в течение первых 24 часов. Степень тяжести болезни и быстрота появления симптомов зависели от полученной дозы.

В группе, пострадавшей от наибольшего облучения (дозы 6–16 Гр), первой реакцией обычно была тошнота, начинавшаяся через 15–30 мин после облучения, а также высокая температура, диарея и рвота. Эти пациенты были безнадежно больны. Серьезно поврежденной оказалась слизистая оболочка за счет распухания, высыхания и образования язв, что делало процесс

дыхания и глотания чрезвычайно болезненным и трудным. Крупные ожоги, вызванные как температурным фактором, так и бета-радиацией, часто усугубляли болезнь. В течение первых двух недель количество белых клеток и тромбоцитов в крови резко падало, что свидетельствовало о чрезвычайно высокой дозе радиации, подорвавшей процесс образования кровяных клеток в костном мозге и сделавшей безрезультатной борьбу организма против инфекций или за сохранение естественной свертываемости крови. Практически все получившие столь высокие дозы облучения пациенты погибли, несмотря на обеспеченный интенсивный специализированный медицинский уход.

При более низких дозах облучения симптомы болезни и лабораторные анализы оказались более благоприятными. Рвота началась позже, количество тромбоцитов и белых клеток в крови падало не так быстро, а лихорадка и токсинемия выражались не столь ярко. Основным осложняющим фактором в этом случае были кожные ожоги от бета-излучения, особенно мешавшие лечению слизистой оболочки. Однако при меньших дозах облучения (1–2 Гр) на раннем периоде заболевания не было отмечено гибели пациентов.

Специализированную медицинскую помощь на первом этапе оказывали ответственные медицинские работники, а в начале мая 1986 г. в страну прибыли иностранные специалисты-медики. Существует много видов лечения, которые можно попытаться применить для смягчения острого радиационного синдрома. Все они использовались при лечении госпитализированных пациентов с различной степенью успеха, включая терапию, предусматривающую замену компонентов крови, замену

жидкостей и электролитов, применение противогрибковых агентов, интенсивную терапию, а также пересадку костного мозга. Лечение синдрома сокращения функций костного мозга, с которым пришлось столкнуться после аварии, носило в основном вспомогательный характер. Предпринимались специальные гигиенические меры: одежда пациентов подлежала замене, по крайней мере, дважды в день; использовались асептические методы. Пациенты, получившие дозы более 2 Гр, принимали противогрибковые средства, начиная со второй недели. Применялись также антибиотики и гамма-глобулин.

Тринадцать пациентам, получившим дозы более 4 Гр, был пересажен костный мозг. Из них выжило только двое. Было сделано заключение, что даже после получения крайне высоких доз радиации костный мозг может и не подвергнуться полному разрушению, и это позволяет ему восстановиться, по крайней мере, некоторые свои функции на более позднем этапе; в свою очередь восстановление собственного костного мозга может привести к более позднему отторжению пересаженного костного мозга. Таким образом, пересадка костного мозга должна играть очень ограниченную роль в лечении.

Внешнее бета-облучение в результате осаждения аэрозолей на коже и одежде, а также попадания на одежду и тело радиоактивной воды привело к развитию сильных ожогов (до 90 % поверхности тела) у 48 человек. Эти ожоги, трудно поддающиеся лечению, оказались во многих случаях одним из главных факторов, отрицательно сказавшихся на окончательном исходе болезни. Ожоги лечили при помощи хирургического отсеечения нежизнеспособной ткани, а любая потеря жидкости или элек-

тролита компенсировалась организацией парентерального питания для лечения желудочно-кишечного синдрома, характерного при острой лучевой болезни.

Хотя все больные подверглись, одновременно с внешним облучением, ингаляционному воздействию радиоактивных веществ, уровни внутреннего облучения были гораздо ниже тех, при которых развивается острая лучевая болезнь. Только у двух пациентов с обширными тепловыми ожогами кожи были зарегистрированы высокие уровни внутреннего облучения, но даже они не имели реального клинического значения.

Серьезные проблемы, связанные в основном с одновременным лечением большого количества тяжелобольных, возникли и в организационном плане. Медицинский персонал необходимо было научить новым методам ухода за пациентами и обращению с ними; кроме того, приходилось изучать большое количество диагностических анализов. До начала эффективного осуществления любой программы лечения требовалось определить материально-технические потребности медицинской деятельности.

Если говорить о *поздних медицинских последствиях*, т. е. возможности роста количества раковых заболеваний, то в последнее десятилетие зарегистрировано значительное увеличение случаев рака щитовидной железы у детей, проживавших на загрязненных территориях, что может быть отнесено на счет аварии, и некоторое увеличение у взрослого населения.

С другой стороны, научные и медицинские наблюдения не выявили какого-либо увеличения случаев других видов раковых заболеваний (в том числе лейкемии), врожденных дефектов, неудачных родов или

каких-либо других медицинских аномалий, обусловленных облучением, связанным с чернобыльской аварией. И это касается населения как на территории бывшего Советского Союза, так и за его пределами. Реализация крупных научных и эпидемиологических программ, ряд которых осуществляется при поддержке Всемирной организации здравоохранения и Европейского Союза, по дальнейшему изучению возможных медицинских последствий аварии показывает, что по общепризнанным дозам облучения превышение стандартного уровня естественных случаев таких заболеваний населения в целом маловероятно, за исключением заболеваний щитовидной железы. Что касается ликвидаторов, к этому прогнозу следует подходить с определенной осторожностью.

Острые признаки *психологического эффекта* в основном наблюдались среди пострадавшего населения загрязненных районов. Страх людей перед неизвестными факторами радиации и ее последствиями, недоверие к государственным органам и официальным экспертам, нарушение системы социального обеспечения и условий жизни, обусловленное аварией и ее длительными последствиями, очевидно, во многом стали причиной этого явления.

С целью дальнейшего изучения связи между заболеваемостью и последствиями ионизирующей радиации Всемирная организация здравоохранения создала специальную международную программу. Первоначально внимание в этой программе было сосредоточено на экспериментальных проектах, связанных с лейкемией, заболеваниями щитовидной железы, внутриутробным повреждением головного мозга и на разработке эпидемиологических регистров. В рамках этой программы проведе-

ны исследовательские работы, связанные с заболеваниями щитовидной железы и другими заболеваниями людей, участвовавших в ликвидации последствий аварии, восстановлением уровней полученных доз и разработкой руководящих норм в случае возникновения подобных инцидентов.

В октябре 1989 г. правительство Советского Союза обратилось к МАГАТЭ с просьбой провести силами международных экспертов независимую оценку обстановки и условий проживания населения в загрязненных районах Украины, Беларуси и России, а также эффективности принятых защитных мер. Под руководством Международного консультативного комитета, в рамках международной экспертизы под официальным названием «Международный чернобыльский проект» был выполнен широкий круг исследований и подготовлен итоговый доклад. В процессе сбора необходимой информации участвовало более 100 независимых экспертов из 25 государств – членов МАГАТЭ и семи межправительственных организаций.

Предусматривалось на местах провести обследование постоянно проживающего в сельских местностях населения, где загрязнение поверхности почвы цезием превысило 555 кБк/м^2 , а также контрольных населенных пунктов с численностью населения от 2 тыс. до 50 тыс. человек по возрастным категориям. Эксперты выбрали семь населенных пунктов, подвергшихся радиоактивному загрязнению, и шесть контрольных населенных пунктов. В обследовании участвовало 1356 человек, примерно по 250 человек с каждого крупного населенного пункта.

Медицинские осмотры были достаточно полными, чтобы прийти к заключению об отсутствии каких-либо медицинских

аномалий, которые можно было бы отнести на счет радиационного облучения. В то же время были выявлены не связанные с радиацией серьезные проблемы со здоровьем, которые оказались аналогичными как в загрязненных населенных пунктах, так и в контрольных. Дело в том, что чернобыльская авария оказала существенное отрицательное психологическое воздействие, усугубленное социально-экономическими переменами, происходящими на территории Украины, России и Беларуси.

Официальные данные, переданные медицинским группам, оказались недостаточно детальными, чтобы либо исключить, либо подтвердить возможность увеличения частоты некоторых видов заболеваний. Так, было высказано предположение, что частота случаев раковых заболеваний в Украине не свидетельствует об их большом увеличении даже в наиболее загрязненных районах. По итогам Международного чернобыльского проекта сделаны следующие выводы:

в результате беспрецедентной по характеру и масштабу чернобыльской аварии ответственные компетентные органы были вынуждены действовать в ситуации, которая не планировалась и не ожидалась; их реакция в целом соответствовала положениям международных руководств, действовавших на время аварии;

официальные процедуры оценки доз были обоснованы с научной точки зрения;

полученные в рамках проекта независимые оценки для обследованных загрязненных населенных пунктов ниже официально представленных данных;

сообщения о вредных для здоровья последствиях, объясняемых воздействием радиации, не подтвердились ни надлежащим образом проведенными местными

исследованиями, ни исследованиями в рамках настоящего проекта;

авария повлекла за собой значительные отрицательные психологические последствия, которые выражались в повышенном чувстве тревоги и возникновении стресса из-за постоянного ощущения неопределенности и были неразрывно связаны со многими социально-экономическими и политическими событиями.

По объему и интенсивности проделанной работы, четкости планирования и координации разносторонних исследований эта независимая экспертиза оказалась уникальным явлением в практике целевых международных проектов. В результате длительной совместной деятельности отечественные ученые и специалисты приобрели полезный опыт и ознакомились с международными методиками и стандартами. По итогам работы наметились новые направления международного сотрудничества в преодолении последствий чернобыльской аварии с целью извлечения уроков для всего мирового сообщества.

Результаты чернобыльского проекта позволили предположить, что высокие дозы, полученные щитовидной железой у некоторых детей, в будущем чуть заметно, со статистической точки зрения, увеличат частоту опухолей щитовидной железы. В своих заключениях международные эксперты пришли к выводу, что с учетом ныне принятых норм радиоактивного загрязнения увеличение наблюдаемой частоты раковых заболеваний или врожденных дефектов будет трудно, если вообще невозможно, распознать даже при проведении весьма крупномасштабных и хорошо спланированных долгосрочных эпидемиологических исследований. Однако необходимо помнить, что этот медицинский обзор состо-

ялся через четыре года после аварии и отражает состояние здоровья людей, которые были обследованы в течение нескольких месяцев в 1990 г., а численность обследуемых групп подверглась критике как недостаточной представительная. Тем не менее, общепринятые нормы оценки доз радиоактивного загрязнения показывают, что, за исключением заблуждений щитовидной железы, радиоактивное загрязнение не приведет к распознаваемым последствиям радиоактивного загрязнения среди населения.

С начала развития событий, связанных с чернобыльской аварией, национальные организации здравоохранения предприняли все возможное для того, чтобы свести дозы облучения щитовидной железы радиоактивным йодом к минимуму и зарегистрировать их. Результаты этих измерений и оценки показывали, что некоторые группы населения (прежде всего дети из загрязненных радиацией районов Беларуси, северной части Украины, а также Брянского и Калужского районов Российской Федерации) получили высокие дозы облучения щитовидной железы, и что увеличение заболеваемости щитовидной железы, включая раковые опухоли, весьма реально в будущем.

Из предыдущих исследований, связанных в основном с внешним радиоактивным облучением щитовидной железы, было известно, что увеличение опухолевой заболеваемости щитовидной железы обычно проявляется через 6–8 лет после облучения, причем период возможной заболеваемости продолжается более 20 лет. Тогда не ожидалось, что медицинские аномалии щитовидной железы станут распознаваемы уже через 4 года после аварии. В то время считалось, что внутреннее облучение щито-

видной железы радиоактивным йодом менее канцерогенно, чем внешнее, и что за последующие 30 лет частота рака щитовидной железы у детей в возрасте до 14 лет может увеличиться примерно на 5 %, а у взрослых – примерно на 0,9 %. В Украине специальные группы дозиметристов провели более 150 тыс. обследований, дав реалистическую оценку общей дозы щитовидной железы на уровне 64 тыс. чел.Зв, что позволило предсказать 300 дополнительных случаев рака щитовидной железы. В загрязненных районах России, в частности, в Брянске, Туле и Орле, ожидалось 349 дополнительных случаев рака щитовидной железы на 4,3 млн человек, что на 36 % выше по сравнению со спонтанной нормой.

В Беларуси частота случаев раковых заболеваний щитовидной железы у детей в возрасте до 14 лет до аварии на Чернобыльской атомной станции составляла от 0 до 0,14 случаев на 100 тыс. населения. Уже в 1991 г. этот показатель увеличился в 20 раз. Когда появились первые сообщения о таком росте, довольно быстро выяснилось, что любая программа медицинских обследований, вне всякого сомнения, докажет более высокую частоту заболеваемости, так как, по всей видимости, позволит выявить скрытые случаи и неправильно поставленные диагнозы.

Официально зарегистрированы раковые заболевания щитовидной железы у лиц, подвергшихся облучению в детском возрасте, проживающих на территориях трех пострадавших стран. Число этих заболеваний оказалось значительно выше прогнозируемого. Но можно с уверенностью утверждать, что на риск заболевания влияют и факторы, отличные от ионизирующей радиации. Кроме того, нужно учитывать еще повышение количества и качества иссле-

дований; вспомним, что до чернобыльской аварии на несколько сельских населенных пунктов приходилось один-два медицинских работника, и далеко не всегда с высшим медицинским образованием, а для проведения исследований в пострадавшие районы приехали светила мировой медицинской науки.

Согласно эпидемиологическим исследованиям, при радиационном облучении возрастает риск заболевания лейкемией. Тем не менее, такие данные до сих пор не подтверждены по заболеваниям лейкемией, вызванной ионизирующей радиацией, среди ликвидаторов, выполнявших восстановительные работы, или населения, проживающего на территориях, подвергшихся радиоактивному загрязнению.

Среди населения, подвергшегося воздействию хронического облучения при малой мощности дозы, оценка общего риска для потомства первого поколения на 1 Гр родительского облучения составляет 0,4–0,6 % базовой частоты этих заболеваний. Следовательно, при низких дозах радиации, представляющих интерес при оценке риска, вероятность наследственных эффектов крайне мала.

Среди ликвидаторов, выполнявших восстановительные работы, и жителей загрязненных в результате чернобыльской аварии территорий было зарегистрировано возрастание количества самоубийств и случаев насильственной смерти. Однако без сопоставления этих данных с известными исходными данными или с подоплекой частоты заболеваний интерпретировать полученные результаты исследования нельзя; в то же самое время достаточно полных официальных статистических сведений по этим показателям до аварии нет. Кроме того, проводя сравнения по заболеваемости

ти, нельзя забывать, что население, пострадавшее от облучения, проходит медицинское обследование намного более качественное, с более полным учетом последствий, чем обычное население.

Высокий уровень хронических заболеваний пищеварительной, нервной, мускульной и кровеносной систем, болезней скелета у лиц, проживающих на загрязненных территориях, большинство специалистов связывают с происходящими изменениями возрастной структуры, ухудшающимся уровнем жизни и проведенным после чернобыльской аварии переселением жителей в другие районы. Информация об ионизирующей радиации как о факторе, создающем угрозу безопасности и здоровью человека, может быть причиной стресса. Закономерно, что эмоциональное напряжение, являющееся фактором нерадиационной природы, сопровождает действие ионизирующего излучения на организм. Возможность развития стресса и его влияния на поведение человека особенно велика в чрезвычайных обстоятельствах.

При аварийных режимах всегда возникает необходимость принятия ответственных решений. В условиях отсутствия регламентирующих инструкций, противоречивой информации, дефицита времени подобная процедура сопровождается крайним психическим напряжением и служит предпосылкой развития эмоционального стресса. У лиц, неустойчивых к действию стрессовых факторов, возможны нарушение ориентации, дезорганизация поведения, серьезные ошибки в профессиональной деятельности, вплоть до полной неспособности к адекватному поведению в аварийной обстановке, что само по себе может не только осложнить работу по ликвидации аварии, но и стать причиной ее тяжелых по-

следствий. Следует иметь в виду, что для острого эмоционального стресса характерны вегетативные реакции организма, такие как сердцебиение, головокружение, тошнота, которые также могут влиять на производственную деятельность. Если учесть, что до 80 % всех аварий и несчастных случаев в промышленности происходит из-за ошибки человека, а ошибка может быть обусловлена развитием эмоционального стресса, зависящим от фенотипа человека, становится очевидной необходимость совершенствования системы медико-психологического отбора людей для работы на особо важных участках.

При обследовании ликвидаторов последствий аварии на Чернобыльской АЭС установлено, что примерно 20 % из них страдали психическим синдромом, и именно они считали себя серьезно пострадавшими от облучения, хотя признаков лучевого поражения у них обнаружено не было. Эти лица испытывали в зоне аварии сильные отрицательные эмоции, тревогу и страх за свое здоровье, а любое недомогание рассматривалось ими как результат полученного облучения.

У части населения, пострадавшего от аварии на Чернобыльской АЭС, и у ликвидаторов последствий аварии, облученных в диапазоне малых доз, отмечаются явления хронического эмоционального стресса, вызванного страхом перед последствиями действия ионизирующего излучения, и, в результате, — соматические нарушения. Эмоциональный стресс может провоцировать развитие ишемической болезни сердца, инфаркта миокарда, аритмии, гипертонии и других поражений сердечно-сосудистой системы.

Возникшие после чернобыльской аварии проблемы здоровья действительно суще-

ствуют, но их следует рассматривать в курсе «чернобыльского синдрома», в формировании которого радиационный фактор играет зачастую меньшую роль, чем решения, действия и слова людей, не являющихся специалистами в области радиационной защиты.

Тяжесть воздействия чернобыльской аварии на психику людей может быть связана с недоверием общественности к официальным органам, политическим деятелям, особенно когда речь идет о ядерной энергетике. Скептическое отношение к властным структурам усугубляется трудностями в понимании влияния радиации и ее последствий, а также неспособностью или нежеланием объяснить эти вопросы.

Согласно ряду исследований, беспокойство и стресс напрямую зависят от наличия радиоактивного загрязнения, но их нельзя рассматривать в качестве непосредственных пагубных физических медицинских последствий облучения.

Неверие официальным источникам было настолько серьезным, что правительство вынуждено было пригласить иностранных экспертов посетить загрязненные территории, встретиться с местными специалистами и высказать свою точку зрения на открытых заседаниях, в средствах массовой информации. Такие визиты дали позитивный эффект, по крайней мере первоначально, уменьшив опасения общественности.

Усугубляющим фактором стали серьезные экономические проблемы, которые укрепили оппозицию к властям. В течение ряда лет после аварии антиядерные демонстрации стали обычным явлением в крупных городах Беларуси и Украины. Пренебрежительное отношение к мнению общественности некоторых ученых и правитель-

ственных чиновников ужесточило ситуацию в еще большей степени.

Авария привела к подрыву социальных систем и традиционного образа жизни. В связи с тем, что большинство жителей загрязненных населенных пунктов родились на этих территориях и провели здесь всю свою жизнь, переселение затрагивало существующие семейные, а также общественные структуры. Несмотря на это, примерно 70 % населения, проживавшего в загрязненных районах, выразило желание переехать в другие местности. На этот показатель могли повлиять не только радиационные, но и экономические факторы, стремление повысить уровень жизни в результате переселения, финансируемого правительством.

Анализ уровня смертности участников ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС выявил, что он ниже уровня смертности мужчин всех возрастов. Структура смертности соответствует таковой для мужчин трудоспособного возраста. Не найдено взаимосвязи между длительностью участия в аварийных работах в Чернобыле, полученной дозой облучения и причинами смерти ликвидаторов. Уровень рождаемости и смертности населения во всех затронутых аварией странах соответствует средним показателям, характерным для Украины, Беларуси и России.

Результаты обследования участников ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС показывают, что большинство из них находится в состоянии повышенного стресса. У них проявляются повышенная раздражительность, вспыльчивость, ранимость, неуверенность в себе, мнительность, пассивность, у многих — нарушение сна, навязчивые страхи, чувство

растерянности, беспокойства, ощущение надвигающейся беды. Типичной формой компенсации подобных последствий у этих людей является уход в мир внутренних переживаний. Такие последствия имеют ярко выраженный психологический характер, и никак не связаны с облучением.

В научном отчете Всемирной организации здравоохранения по результатам работ в рамках международного проекта, выполненных в соответствии с национальными программами Беларуси, России и Украины, сделано заключение:

«Требуется специальных исследований отрицательное влияние на состояние здоровья людей комплекса вредных факторов нерадиационной природы, прежде всего социального неблагополучия и психологического напряжения. Именно этими факторами определяются регистрируемые проявления психосоматической патологии, усиливающиеся постоянно нагнетаемым ожиданием угрозы радиационных последствий».

Психологические последствия для других стран были минимальными по сравнению с теми, которые наблюдались на территориях Украины, Беларуси и России, и они в основном выражались социальной реакцией, а не психосоматическими симптомами. Но многие вредные для здоровья явления относили к последствиям чернобыльской аварии и там. В Венгрии, например, Комитет по абортам справедливо не считал оправданными показания к аборту из-за незначительного чернобыльского облучения. Тем не менее, в феврале-марте 1987 г. рождаемость снизилась. Венгерские специалисты объяснили это повышенным вниманием к противозачаточным мерам после аварии. Во многих же других европейских странах действительно прибегали к

абортам из-за страха перед последствиями даже очень малых доз облучения. Опасения подкрепились советами врачей, знания которых в этом вопросе мало отличались от знаний пациентов. По этой причине в Греции в 1987 г. родилось на 2500 детей меньше, чем в предыдущем году. В целом по Европе число неродившихся детей составило 200 тысяч. Анализ программ подготовки медицинских работников в ряде европейских стран и США выявил их несоответствие таким ситуациям, как авария в Чернобыле. Исследование возможности медицинских последствий в Западной и Центральной Европе после чернобыльской аварии не обнаружило веских доказательств вредного воздействия малых доз.

4.3. МИФИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ОБЛУЧЕНИЯ

Существует достаточно много источников ошибочных оценок, анализ и признание которых для правильного отношения к облучению в малых дозах необходимо довести до общественности. Противники развития атомной энергетики через средства массовой информации распространяют сведения о чрезвычайной опасности для человечества ядерных технологий, обвиняя специалистов в сокрытии огромного количества таких тяжких последствий чернобыльской аварии, как увеличение числа аборт и мертворожденных детей, ослабленных и больных новорожденных, генетических нарушений и врожденных пороков развития, психических и раковых заболеваний, нарушений умственного развития, рост смертности и т. п.

Исследования показали, что от 10 до 20 % взрослого населения как загрязненных, так

и незагрязненных районов, нуждаются в медицинской помощи в связи с нарушениями здоровья, не связанными с радиационным воздействием. Но авторы «чернобыльских сказок» о радиоактивных монстрах и мутантах, игнорируя объективные данные, продолжают стоять на своем, используя в качестве доводов предположение о вреде любой дозы излучения, сколь бы малой она ни была.

Многие медицинские работники, знания которых в области радиационной медицины в основном базировались на сообщениях средств массовой информации, расценивали симптомы обычных заболеваний как симптомы заболеваний, имеющих радиационную природу. Дело доходило до парадоксов, когда больной зуб или сухость во рту расценивались как последствия облучения.

На протяжении всего постчернобыльского периода жители территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению, убеждали, что авария нанесла громадный и непоправимый ущерб их здоровью. В результате этого более половины населения страдает от стресса, что привело к росту количества психических заболеваний, нарушению сна, заболеваниям эндокринной системы и многих других, не имеющих отношения к облучению.

Практически во всех научных исследованиях по изучению последствий чернобыльской аварии отмечалось повышенное восприятие населением радиационного риска. Зачастую результаты научных исследований и практических работ неправильно интерпретировались журналистами, и население получало недостоверные, а порой и ложные сведения. Иллюстрацией тому может служить получившая распространение информация, что у ликвидаторов

аварии зависимость выхода на инвалидность от облучения через 5 лет после него носит экстремальный характер с максимумом, приходящимся на дозу 7,9 сГр. Иными словами, наибольший выход на инвалидность и максимальный процент болезней наблюдается у лиц, облученных дозой 8 сГр, тогда как значительно большие дозы по этому показателю оказались менее опасными.

Появляются данные, что при облучении низкой интенсивности в минимальных, считающихся безопасными, дозах риск отдаленных последствий возрастает на несколько порядков, что с уменьшением интенсивности излучения вероятность повреждения клетки увеличивается, а при дозе, близкой к фоновой, длительное воздействие представляет большую опасность, чем однократное облучение большой интенсивности. Такого рода «открытия», опровергающие классические принципы радиационной защиты и радиобиологии, приводят некоторых авторов, и самое главное – население, к необоснованному заключению, что биологические эффекты малых доз при низкой интенсивности усиливаются в сотни и даже тысячи раз.

На страницах газет публиковалась информация о раннем старении ликвидаторов, которые в возрасте 30–40 лет по частоте и тяжести заболеваний, инвалидности и смертности соответствуют возрастной группе 50–55 лет; о том, что в Киеве, вскоре после аварии, появилось большое количество мертвых крыс, а на территориях, подвергшихся радиоактивному загрязнению, уменьшилась численность самок животных, способных воспроизводить потомство.

Формируется общественное мнение, что наибольшую угрозу для здоровья населения Украины представляет радиоак-

тивное загрязнение, обусловленное эксплуатацией атомных электрических станций. Отмечается, что появились сотни новых искусственных радионуклидов, а те, которые раньше считались стабильными, — трансформируются в радиоактивные. Утверждается, что угроза радиоактивного загрязнения опасна своим беспороговым характером, а большинство живых организмов не выработало против радионуклидов защитных механизмов.

Ко всему прочему, нас хотят убедить в том, что авария на Чернобыльской АЭС явилась не случайной техногенной аварией, а была вызвана плазмотектоническим взрывом, аргументируя «свечением», возникшим над станцией за несколько минут до пожара, и странным пятном на фотоснимке станции. Распространяются слухи, что «тепловые острова» уже якобы зафиксированы в зонах Запорожской и Южно-Украинской АЭС, а территория Украины буквально переполнена плазменной энергией, которая тут и там разряжается в виде пока что локальных событий.

Нагнетание страхов выгодно тем, кто, спекулируя на чернобыльской проблеме, стремится получить право контроля значительных государственных целевых финансовых потоков. Именно они заинтересованы в сохранении сложившейся сомнительной медицинской статистики, базирующейся на утверждениях об ужасающем влиянии малых доз радиации.

Чернобыльская авария в истории развития атомной энергетики стала первой аварией с человеческими жертвами, и поэтому была оценена как катастрофа. В условиях напряженного ожидания и нервозности сообщение, поступившее из США, о двух тысячах погибших во время аварии на Чернобыльской АЭС стало распростра-

няться с быстротой молнии. Подобные слухи, подолгу не сходя с экранов телевизоров и газетных полос, вызывая постоянный интерес, отвлекают внимание от других, зачастую более важных и актуальных проблем, чем могут воспользоваться и пользоваться в своих интересах различные политические лобби.

Такие серьезные вопросы, которые затрагивают интересы значительной части населения, должны освещаться объективно, грамотно, с чувством высокой гражданской ответственности. В 1980-х годах отечественная наука располагала множеством данных, которые позволяли правильно оценивать радиационную ситуацию и осуществлять комплекс противорадиационных мероприятий. В СССР с 1949 г. проводились интенсивные ядерные испытания, и параллельно с ними — комплексные биологические, медицинские, радиационно-физические исследования, на основе которых не только анализировался натурный опыт, но и разрабатывались принципы защиты людей, оказавшихся под воздействием радиоактивных веществ, т. е. разрабатывалась отечественная система радиационной безопасности людей в условиях, весьма сходных с теми, которые сложились сейчас в загрязненных районах. Специальные биологические исследования были направлены на то, чтобы установить пределы допустимого облучения для живых организмов, в первую очередь, высокоорганизованных. При этом отрабатывались эффективные схемы лечения лучевых поражений, изучались последствия облучения при различных уровнях его воздействия. Кроме того, последствия радиационного воздействия на людей изучались в аварийных ситуациях, которые были, например, на Урале, где относительно большие территории

оказались загрязненными радиоактивными выбросами. Существовал и печальный опыт чисто исследовательского порядка, когда при работе с радиоактивными веществами или ядерными устройствами возникали различного рода ситуации, приводившие к облучению людей в значительных дозах.

Все это позволило группе ученых, обладавших реальными знаниями, вполне обоснованно и надежно включиться в решение сложных вопросов защиты людей в первые же часы возникновения аварии, и не только активно действовать, но и принять на себя всю ответственность за последствия осуществлявшихся мероприятий. Группа критиков появилась уже потом, несколько месяцев спустя, когда самый трудный период остался позади.

Говоря о некоторых прогнозах последствий чернобыльской аварии, нужно учитывать, на фоне чего они делались. Им предшествовала многолетняя активная пропаганда, направленная на торможение потенциальным противником совершенствования ядерного оружия, и во многих случаях любое воздействие радиации сознательно преувеличивалось. Например, в прессе публиковалась заметка, что после того, как американский бомбардировщик уронил водородную бомбу над Испанией, все участники проведенных дезактивационных работ погибли, хотя это полностью не соответствовало действительности. На самом деле все участники этого события живут и здравствуют.

Аналогичный пример с упавшей в районе Гренландии бомбой: ее долго искали в океане, но так и не нашли. И опять население извещается о том, что все, кто принимал участие в поиске, погибли. А чего стоит сообщение из Японии, что на 86-м году жизни скончался очередной житель, пере-

несший атомную бомбардировку, и при этом делается вывод: еще одна жертва атомного взрыва.

В результате подобных сообщений сформировалось общественное мнение о том, что любое соприкосновение с радиацией — всегда опасно или даже фатально.

Парадоксальной причиной всеобщего страха после аварии на Чернобыльской АЭС был, по мнению некоторых авторов, необычайно высокий уровень радиологической защиты и развития системы обнаружения радиоактивного излучения в окружающей среде. В мире не существует ни одного вредного природного или искусственного фактора, так хорошо исследованного, для обнаружения которого существовали бы такие разветвленные системы.

Чернобыльское радиоактивное облако перемещалось в атмосфере всего северного полушария и достигло границ экватора. Вследствие развитой системы мониторинга оно, несмотря на свои сравнительно небольшие размеры, легко обнаруживалось на протяжении тысяч километров. Однако десятки стран, зафиксировавших на своей территории наличие радиоактивного заражения, не делали никаких замеров на предмет наличия в воздухе отравляющих веществ после катастрофы в Бхопале (Индия), и не потому, что выброс газа в Бхопале был менее опасным, чем радионуклиды из Чернобыля, а потому, что эти страны не обладают соответствующей системой контроля за химическими отравляющими веществами. После взрыва в Бхопале ядовитый газ подвергся тем же метеорологическим процессам, что и радиоактивное облако Чернобыля или радиоактивная пыль с ядерных полигонов. Поэтому можно предположить, что какое-то количество ядов после взрыва в Бхопале присутствовало в

атмосфере всего северного полушария, и эти яды вдыхали люди, живущие весьма далеко от Индии. Никакие долгосрочные последствия получения доз изоцианистого метила не беспокоили общественность и правительства ни одной из стран, кроме Индии, и никто не спешил вкладывать средства в создание системы защиты населения. Это произошло не потому, что последствия воздействия этого отравляющего вещества на человеческий организм менее опасны, чем последствия радиоактивного облучения, а потому, что общественное восприятие риска, связанного с катастрофами на предприятиях химической промышленности, не было так подогрето эмоциональными и политическими факторами, как восприятие радиации и развития атомной энергетики. Катастрофа в Бхопале почти не оставила следов в научной литературе и публицистике по сравнению с катастрофой в Чернобыле.

Конечно, трудно сравнить радиоактивные вещества и химические яды по объемам, но можно сопоставить их по количеству смертельных доз, от которых умирает около 50 % людей, получивших эту дозу. Во время чернобыльской аварии в атмосферу было выброшено в течение 10 дней около 250 млн доз ^{137}Cs , которые были рассеяны в огромной массе воздуха, и в результате никто из населения смертельной дозы не получил. В Бхопале же в течение нескольких десятков минут было выброшено в атмосферу более 30 т ядовитых веществ, что соответствовало 2,5 млрд смертельных доз. На озере Ниос (Камерун) произошел выброс в атмосферу 2,4 млн т двуокиси углерода, что соответствует 1,7 биллиона доз. Эти различия в количествах и способах выброса ядовитых веществ в трех катастрофах обусловили и различия в количестве чело-

веческих жертв. В Бхопале сразу погибли 2346 человек и от 30 до 40 тысяч получили тяжелые телесные повреждения, а в районе с малой плотностью населения около озера Ниос погибли 1700 человек.

Как сказал доктор Р. Гейл, у журналистов очень тяжелая работа, поскольку они должны сложнейшие научные дискуссии объяснить простому человеку. Поэтому от них требуются крайняя осторожность, точность и взвешенность.

Нет сомнения, что чернобыльская авария была одной из самых страшных, сотворенных руками человека в мирное время. Она привлекла внимание во всем мире. Но каковы бы ни были недостатки в действиях медицинской службы при ликвидации последствий аварии, она действовала героически и эффективно. После начального дефицита информации, что вызвало некоторое замешательство во всех странах мира, нарастало восхищение предпринятыми усилиями по спасению жизней людей и предотвращению более серьезных последствий.

4.4. СОЦИАЛЬНЫЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ОБЛУЧЕНИЯ

Уровень заболеваемости и первичной инвалидности чрезвычайно чувствителен к временным мероприятиям диагностического, организационного и социального типа. Любая крупномасштабная катастрофа влечет за собой социально-экономические проблемы. В мировой практике они решались путем разовой компенсации нанесенного ущерба. В отношении же пострадавших от чернобыльской аварии в Украине принято иное решение – учитывать изменения состояния здоровья. В связи с

этим был создан экспертный совет по установлению связи заболеваний и инвалидности с чернобыльской катастрофой. Предполагалось, что совет будет рассматривать отдельные случаи развития болезней у участников ликвидации последствий аварии. Однако поток обращений оказался настолько велик, что в 1990 г. были созданы 8 региональных советов: в Луганске, Днепропетровске, Донецке, Киеве, Харькове, Полтаве, Львове, Виннице. Каждый такой совет рассматривал до тысячи обращений в год, и число их прогрессивно возрастало.

Более чем в 80 % случаев устанавливалась связь заболевания и инвалидности с действием ионизирующего излучения вследствие аварии на Чернобыльской АЭС. По данным Украинского института социальной гигиены и управления здравоохранением, особенно быстрый рост инвалидности среди участников ликвидации последствий аварии начинается с 1991 г. Большинство инвалидов Чернобыля составляют мужчины наиболее трудоспособного возраста (85 %), из них лица в возрасте до 39 лет – 45 %.

При таком росте инвалидности неизбежно должна была возрасти и смертность. Однако, как показывает анализ данных Национального регистра Украины, выполненный в Институте эпидемиологии и профилактики лучевых поражений Национального центра радиационной медицины Академии медицинских наук Украины, смертность населения в Житомирской и Киевской областях, стандартизированная по возрасту, не выше, чем в контрольной Полтавской области. Среди ликвидаторов смертность даже ниже, чем в контрольной группе. Аналогичные данные были получены Донецким научным центром гигиены труда. Уровень смертности и средний возраст умерших от основных

причин горнорабочих – ликвидаторов аварии и горнорабочих, не принимавших участие в работах на площадке Чернобыльской АЭС, достоверно не отличался.

Результаты клинических обследований 5 тыс. пострадавших, среди которых более 60 % имели инвалидность 3-й и 2-й групп, представленные Харьковским научно-исследовательским институтом медицинской радиологии, показывают, что выявленная у них неврологическая патология не должна приводить к такому резкому снижению трудоспособности. При велоэргометрическом исследовании также не было обнаружено достоверных различий в физической работоспособности по отношению к контрольной группе. Более 70 % ликвидаторов сохраняют функции систем, обеспечивающих физические возможности на уровне нормы.

Результаты обследований участников ликвидации последствий аварии и жителей, инвалидность которых связана с чернобыльской аварией, свидетельствуют, что лица, признанные инвалидами с утратой на 60–80 % трудоспособности, продолжают выполнять ту же работу. Приведенные данные дают основание утверждать, что имеют место ошибочные решения о связи заболеваний и инвалидности с факторами аварии. Это обусловлено многими причинами, но главная из них – отсутствие основополагающих документов, жестко определяющих условия связи заболеваний и инвалидности с факторами аварии. В результате связь заболеваний и инвалидности устанавливается на основании факта участия в работах по ликвидации аварии или проживания на контролируемой территории. Материалы экспертных советов свидетельствуют, что во многих случаях нахождение в зоне отчуждения ограничивалось

всего несколькими часами, на достаточном удалении от эпицентра радиационного воздействия, не в первые дни и месяцы после аварии, а ухудшение здоровья, вызванное ранее существующими болезнями или возрастными изменениями, связываются с чернобыльской катастрофой.

Анализ списков инвалидов Чернобыля показывает, что во многих случаях связь инвалидности с чернобыльской катастрофой устанавливается в возрасте 65–75 лет, а в отдельных случаях и старше 80 лет. Таким образом, инвалидность по общему заболеванию и возрастные изменения в организме связываются с чернобыльской катастрофой.

Возрастающая численность пострадавших от чернобыльской катастрофы, которые получают инвалидность, создала чрезвычайно серьезную и трудную для решения проблему реабилитации инвалидов Чернобыля. Сложность ее обусловлена отнюдь не медицинскими аспектами (в настоящее время созданы достаточно эффективные медицинские и немедицинские средства и методики реабилитации, и это остается одним из основных научных направлений радиационной медицины), а стремлением многих, если не большинства, пострадавших иметь пожизненно статус инвалида Чернобыля в поиске социальной и экономической защищенности вследствие болезни*.

Такая ситуация неизбежно порождает сомнительные диагнозы. Выход из нее нужно искать, прежде всего, в создании адекватных законодательных актов, гарантирующих пострадавшим компенсацию ущерба по принципам, сложившимся в мировой практике при подобных авариях. Специа-

лизированную экспертизу целесообразно сохранить лишь для пострадавших с лучевой болезнью, локальными лучевыми поражениями, лучевой катарактой, новообразованиями и получивших за короткий период (2–3 месяца) дозу облучения, превышающую допустимую в пять и более раз. Во всех остальных случаях экспертиза трудоспособности пострадавших существенно не отличается от экспертизы обычного населения и не требует специализированных советов.

Вовлечение людей в активную трудовую деятельность, избранную в соответствии с их профессиональной подготовкой и состоянием здоровья, нужно не только обществу, но, в первую очередь, им самим. Бесконечные скитания по отечественным и зарубежным клиникам, не всегда правильно подобранным санаториям и местам отдыха, сосредоточение внимания на социальных притязаниях в сочетании с социально-экономическими трудностями и преувеличениями реальных последствий средствами массовой информации и некоторыми некомпетентными медицинскими работниками формируют порочный круг. Они закрепляют этих людей в статусе «пожизненных жертв несовершенного общества», деформируют личность человека, искусственно изолируют его самого от семьи и общества, делают неэффективными усилия врачей по его реабилитации.

Психиатры и врачи, имеющие специальную психологическую подготовку, нужны этим людям отнюдь не для подкрепления их ложной ориентации, а для квалифицированного раскрытия внутренней картины болезни, выявления реальных заболеваний, требующих адекватного лечения и психологической поддержки. Гуманизм и сочувствие к пациенту должны заключаться не

* Ни в одной стране мира болезнь и инвалидность не обеспечивают более высокого жизненного уровня, чем работа.

в подтверждении ложных диагнозов, а в рациональной коррекции поведения, формировании установок на восстановление здоровья и трудоспособности.

Примеры эффективности таких мер, наряду с реальной социальной поддержкой, можно найти в опыте врачей, сопровождавших развитие атомной промышленности. Профессиональная инвалидность — 3-я группа — основной части больных лучевой болезнью не превышала трех лет. Это решение использовалось лишь для их переквалификации и рациональной профориентации. Большинство людей, перенесших лучевую болезнь, работали и после достижения льготного срока выхода на пенсию. Они уходили на пенсию по возрасту, преимущественно по семейным мотивам и при удовлетворительном состоянии здоровья. Необходимо использовать этот прогрессивный опыт и вернуть жертв чернобыльской аварии обществу в качестве полноценных его представителей.

На здоровье населения социально-экономические факторы влияют больше, чем факторы окружающей среды. Они включают уровень образования, уровень занятости и качества жизни, заработок, материальное положение, обеспеченность медицинской помощью. Обнаружено резкое различие в показателях смертности и заболеваемости среди обеспеченных и малообеспеченных слоев населения. Социальная напряженность и, в частности, рост безработицы приводят к бедности, а та, в свою очередь, — к заболеваемости и смертности от болезней,

которые с ней связаны. Прямым результатом потери работы могут быть серьезные эмоциональные проблемы и психосоматические заболевания. Удовлетворение работой является предпосылкой полноценной и здоровой жизни, а ее отсутствие — разнообразных несчастных случаев, депрессии, стресса.

Установлен факт связи продолжительности жизни мужчин в группах с различным уровнем образования. Этот показатель в группе с высшим и незаконченным высшим образованием был наибольшим, постепенно снижаясь в группах с более низким уровнем образования и достигая разницы почти в 7 лет по сравнению с группой с начальным образованием.

У лиц, имеющих благоприятные жилищные условия, уровень заболеваемости с временной утратой трудоспособности, а также уровень пограничных психических расстройств значительно ниже по сравнению с теми, кто проживает в неблагоприятных жилищных условиях.

При оценке смертности рабочих завода обогащения урана в Оук-Ридже (США) не выявлено отчетливой зависимости риска смерти от радиационного воздействия, однако отмечается, что социально-экономический статус имеет большое значение при прогностической оценке смертности. Этот социальный фактор необходимо учитывать при проведении эпидемиологических исследований, расчетов относительного риска заболевания от полученной дозы облучения.

Часть II

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ



Глава 5. СНЯТИЕ С ЭКСПЛУАТАЦИИ

Мы все инстинктивно боимся цели. Многие из нас предпочли бы находиться в пути всю жизнь, так и не добравшись до места назначения. Мы судорожно хватаемся за средства и часто забываем о цели.

Э. ХОФФЕР

5.1. ПОЛИТИЧЕСКИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

15 декабря 2000 г. Украина остановила последний действующий энергоблок № 3 Чернобыльской АЭС, выполнив свои обязательства перед международным сообществом, сформулированные в Меморандуме о взаимопонимании между правительствами стран «Большой семерки», Европейской Комиссией и правительством Украины о закрытии Чернобыльской АЭС.

Снятие с эксплуатации энергоблоков АЭС в некоторых странах мирового сообщества является хотя и не совсем характерным явлением, но уже и не новым. Существует ряд примеров по выводу из эксплуатации энергоблоков в Японии, США, Германии, России и др. Отдельные государства идут по пути продления ресурса работы своих атомных станций, и на этом прогрессивном и экономичном пути собирают дополнительную информацию и нарабатывают практический опыт для реализации последующего этапа снятия с эксплуатации.

К сожалению, вопрос закрытия Чернобыльской АЭС всегда находился в большей степени в плоскости политической, нежели технической. И именно по политическим мотивам была остановлена Чернобыльская АЭС, оборудование которой еще не выработало свой технический ресурс. С одной стороны, это давление международного атомного лобби, которое стремится

навсегда забыть о проблемах Чернобыля. Слово «Чернобыль» ассоциируется у населения со словом «опасность», поэтому чем быстрее оно сотрется из памяти и перестанет будоражить умы общественности, тем более быстрыми темпами будет развиваться мировая атомная энергетика. С другой стороны, это вопрос конкуренции энергетических компаний, не заинтересованных в перекачке на европейский рынок дешевой электроэнергии с Украины.

Реакторы Чернобыльской АЭС в техническом плане отличаются от тех реакторов, на которых уже наработан опыт по снятию с эксплуатации. Реактор РБМК – это достаточно громоздкая конструкция проекта начала 60-х годов минувшего столетия. Украина идет впереди других государств по снятию с эксплуатации РБМК. Подобные процедуры впоследствии будут осуществляться в Литве (Игналинская АЭС) и России (Ленинградская, Курская и Смоленская АЭС). Поэтому наш опыт будет востребован другими государствами.

На сегодняшний день в техническом плане Чернобыльская АЭС не готова к проведению работ по снятию с эксплуатации, так как отсутствуют хранилище для отработавшего ядерного топлива (ХОЯТ) и объекты по обращению с жидкими и твердыми РАО, нет проектной документации. Снятие с эксплуатации энергоблоков АЭС требует тщательной организационной, научной и технологической проработки

и подготовки к выполнению работ, а также мобилизации финансовых и технических ресурсов.

Это — комплексная задача, охватывающая широкий круг вопросов: от прекращения эксплуатации энергоблоков до полной ликвидации атомной станции с возвращением промышленной площадки в исходное состояние, пригодное для использования в любых других целях.

В настоящее время Чернобыльская АЭС за счет средств бюджета Украины и, частично, международного сообщества осуществляет ряд первоочередных работ, связанных с подготовкой документации, проведением необходимых обследований на энергоблоках, эксплуатацией систем безопасности, и мероприятия по снятию с эксплуатации вспомогательных систем, не влияющих на безопасность реакторных установок, а также по созданию некоторых объектов, необходимых на этапах снятия станции с эксплуатации.

Приходится с сожалением констатировать, что основная часть работ ведется только на бумаге. В том, что на площадке станции до настоящего времени не начаты практические работы по снятию с эксплуатации, нельзя винить только международное сообщество, не выполнившее своих обязательств, касающихся строительства под ключ на площадке Чернобыльской АЭС объектов по обращению с отработавшим ядерным топливом и радиоактивными отходами. Это наши отечественные специалисты и политики при заключении международных соглашений и контрактов сделали возможной такую ситуацию, когда всеми работами на площадке управляет Европейский банк реконструкции и развития, и самоустранились от данной проблемы, кто по идеологическим соображениям,

а кто из-за коммерческого интереса. В результате Украина тратит значительные средства государственного бюджета на простой в работах по снятию с эксплуатации, если, конечно, не считать демонтаж в сентябре 2005 г. памятника В. И. Ленину, установленного перед административным корпусом еще во время строительства станции. По всей видимости, именно этот памятник мешал администрации Чернобыльской АЭС проводить активную деятельность по преобразованию объекта «Укрытие» в экологически безопасную систему, строительству объектов по обращению с ядерным топливом и радиоактивными отходами. Грустно наблюдать за проявлением фактов уничтожения истории, какой бы она ни была. Это наша история, это история жизни нескольких поколений. И ее надо уважать.

Вопросы снятия с эксплуатации имеют важное научное значение, учитывая отсутствие опыта вывода из эксплуатации реакторов РБМК. Необходима мощная научно-техническая и инженерная поддержка по исследованиям реакторной установки, проведению ядерно-физических расчетов, подготовке отчетов по анализу безопасности на всех этапах вывода из эксплуатации, разработке технических решений и созданию новых технологий с использованием современных знаний и принципов ведения подобных работ. Кроме того, всю деятельность по снятию с эксплуатации необходимо тщательно документировать с целью использования в будущем накопленного опыта. Поэтому привлечение к работам по снятию с эксплуатации научно-исследовательских, проектных и инженерных организаций имеет большое значение для осуществления безопасного проведения работ.

В период эксплуатации реакторов Чернобыльской АЭС имели место несколько аварий, которые могут повлиять на процесс снятия с эксплуатации. Так, 9 сентября 1982 г. произошло разрушение технологического канала на 1-м энергоблоке в результате ошибочного закрытия запорно-регулирующего клапана. Фрагменты топлива были выброшены паром в полость реактора и внедрились в графитовые блоки. После аварии остатки разрушенного ядерного топлива и технологический канал были извлечены. Для изъятия загрязненного графита проведена фрезеровка канала. Аварийная ячейка отрезана от контура и заглушена. Остатки топлива в графитовой кладке реактора ориентировочно составляют 2 кг, что соответствует 0,05 % полной активности всего графита кладки.

26 апреля 1986 г. 4-й энергоблок претерпел запроектную аварию с разрушением активной зоны реактора и защитных барьеров безопасности. Дезактивационные работы, проведенные в 1986 г., позволили убрать основную массу радиоактивных веществ с площадки Чернобыльской АЭС, однако существенное количество топлива (от 500 до 1000 кг) осталось на территории под слоем бетона, уложенного для уменьшения радиационного фона в целях защиты персонала. Данное обстоятельство может привести к увеличению дозовых нагрузок на персонал, создать определенные трудности при ведении земляных работ на площадке, что должно учитываться при планировании деятельности по снятию с эксплуатации 3-го энергоблока.

11 октября 1992 г. произошел пожар в машинном зале 2-го энергоблока с частичным разрушением кровли машинного зала и повреждением оборудования турбинной установки. После пожара кровля машин-

ного зала была отремонтирована, целостность и защитные функции здания восстановлены, но энергоблок в эксплуатацию больше не вводился. Оборудование, расположенное в машинном зале, восстановлено не полностью.

В связи с тем, что решение о снятии станции с эксплуатации было принято до истечения проектного ресурса работы оборудования, полный комплекс подготовительных работ для обеспечения процесса снятия с эксплуатации своевременно не выполнен. Вывод из эксплуатации станции в данных обстоятельствах требует параллельного проведения работ по подготовке к снятию с эксплуатации, разработке первоочередной проектной документации и реализации отдельных этапов работ. Все это должно быть учтено при планировании и финансировании этих работ.

5.2. ПЛАНИРОВАНИЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Снятие с эксплуатации является завершающим этапом жизненного цикла каждого энергоблока и АЭС. Окончательное решение о выводе из эксплуатации связано с техническими, экономическими, политическими вопросами и, конечно же, вопросами безопасности.

Снятие установки с эксплуатации предполагает постепенное освобождение установки от радиоактивных веществ, накопленных за время ее использования, отмену режима ограничений и радиационного контроля в санитарно-защитной зоне и зоне наблюдения. Обязательное условие снятия установки с эксплуатации – обеспечение безопасности персонала, населения и окружающей природной среды от воздействия ионизирующих излучений, а также защиты

будущих поколений. Безопасное снятие установки с эксплуатации определяется соответствующими проектными решениями.

Процесс снятия с эксплуатации ядерных энергетических установок является сложным многоэтапным процессом. В соответствии с рекомендациями МАГАТЭ существуют три варианта снятия АЭС с эксплуатации: хранение АЭС под наблюдением, захоронение и ликвидация.

Хранение под наблюдением предусматривает состояние, при котором реакторная установка и все остальные радиоактивные системы и оборудование консервируют, изолируют от внешней среды и поддерживают в безопасном состоянии с последовательной дезактивацией материалов до уровня, позволяющего их неограниченное использование. При осуществлении этого варианта возможны выполнение подготовительных работ, демонтаж и удаление чистого и низкоактивного оборудования с его последующей утилизацией и переработкой.

При *захоронении* наиболее опасные радиоактивные узлы, включая реактор, оборудование первого контура и др., заключают в оболочку, например из бетона, и выдерживают до тех пор, пока в результате распада радионуклидов их излучение достигнет приемлемого уровня. Здесь также возможны выполнение работ по частичной дезактивации помещений, демонтажу и утилизации оборудования, находящегося вне герметичной зоны, и другие виды деятельности, не приводящие к нарушению целостности защитных барьеров.

Ликвидация подразумевает достижение возможных двух стадий конечного состояния реакторной установки: «коричневой лужайки» и «зеленой лужайки». Освобождение площадки предусматривает демонтаж оборудования, зданий и сооружений,

не предназначенных для дальнейшего использования, переработку и вывоз всех радиоактивных отходов с площадки реакторной установки и доведение ее до состояния, пригодного для нужд ядерной энергетики, например, строительства нового энергоблока или хранилища РАО (состояние «коричневая лужайка»). Такой подход учитывает специфику и особенности украинской ядерной энергетики: многоблочность на площадке, поэтапный ввод и вывод из эксплуатации отдельных блоков, отсутствие региональных хранилищ РАО, наличие вблизи АЭС городов-спутников с развитой инфраструктурой. «Зеленая лужайка» предусматривает демонтаж зданий и сооружений реакторной установки, переработку, упаковку и удаление радиоактивных и нерадиоактивных отходов, рекультивацию освободившейся территории для ее неограниченного дальнейшего использования.

Выбор варианта снятия с эксплуатации осуществляется на основании результатов специальных технико-экономических исследований, которые предполагают сопоставление альтернативных вариантов снятия на основе результатов анализа технических, экономических, социальных и временных характеристик рассматриваемых вариантов, а также сопоставление уровней предполагаемого обеспечения безопасности при реализации этих вариантов. В зависимости от конструктивных особенностей и наведенной активности конструкционных материалов реактора возможны различные решения по вариантам вывода из эксплуатации реакторных установок. На принятие технических решений по снятию с эксплуатации реакторных установок значительное влияние оказывают экономическое состояние отрасли, наличие мест захоронения РАО и отработав-

шего ядерного топлива (ОЯТ), наличие оборудования для демонтажа высокоактивных материалов и многие другие.

В настоящее время на основании проведенных исследований и расчетов предполагается, что наиболее эффективен для блоков Чернобыльской АЭС вариант длительно отложенного демонтажа – «хранение под наблюдением» с консервацией реакторной установки на срок от 30 до 100 лет. Данный вариант предусматривает длительную выдержку реакторных установок в существующих строительных конструкциях с проведением работ по дезактивации и демонтажу вспомогательного оборудования.

Имеются примеры предпочтительного применения варианта немедленного демонтажа. Так, для обоснования решения при снятии с эксплуатации АЭС «TROJAN» в США выбор стратегии снятия с эксплуатации базировался на сопоставлении трех возможных вариантов – немедленного демонтажа и двух вариантов отсроченного безопасного хранения в течение 25 и 60 лет. При сопоставлении обобщенных количественных критериев этих трех вариантов, полученных на основании данных о радиационной обстановке, предпочтение было отдано стратегии немедленного демонтажа, в основном по экономическим соображениям. Причем в данную оценку не были включены стоимость обращения с отработавшим ядерным топливом и работ по восстановлению окружающей среды до уровня, освобождающего от дальнейшего контроля. Экономические факторы преобладали над факторами повышенного количества РАО и большей коллективной дозы облучения персонала. Главными условиями, способствующими относительно низкой стоимости стратегии немедленного демонтажа, признаны отсутствие необходи-

мости длительной эксплуатации систем безопасности, а также физической защиты и радиационного контроля, включая мониторинг объектов окружающей среды. Фактические расходы на демонтаж радиационно опасного крупногабаритного оборудования без его фрагментации и соответствующие дозы облучения персонала оказались даже ниже прогнозируемых. Определяющей причиной успеха специалисты АЭС считают разработку и практическое применение метода извлечения крупногабаритных узлов (корпус реактора, парогенераторы, теплообменники) с последующей герметизацией и транспортировкой их в пункт постоянного хранения отходов. Это позволило значительно уменьшить дозу облучения персонала и сократить расходы.

В Италии по результатам референдума, проведенного в 1987 г. вскоре после аварии на Чернобыльской АЭС, были остановлены три работавшие АЭС («LATINA», «CAORSO», «TRINO») и прекращено строительство новых. После остановки атомных электростанций принята концепция отложенного снятия с эксплуатации. Но полученные позднее данные повлияли на стратегию в этой области, в основном, по экономическим соображениям – стало понятно, что немедленное снятие с эксплуатации является более дешевым вариантом, чем отложенный демонтаж.

Процесс снятия с эксплуатации является длительной, технически сложной и трудоемкой процедурой осуществления комплекса мероприятий после удаления ядерного топлива, исключающих возможность дальнейшего использования в качестве источника энергии и обеспечивающих радиационную безопасность персонала, населения и окружающей среды. Подготовка к завершающему этапу про-

водится на всех предшествующих этапах жизненного цикла.

В случае принятия решения о снятии блока с эксплуатации разрабатывается проектная документация, в которой должны быть представлены конкретный вариант, перечень мероприятий, последовательность, порядок и сроки выполнения, а также перечень и порядок разработки нормативной, технической и проектной документации, регламентирующей проведение требуемых работ. Проект снятия с эксплуатации включает в себя программу радиационной защиты, программу обращения с РАО, программу обеспечения качества, план мероприятий на случай радиационной аварии и мероприятия по физической защите установок.

После останова блока и до момента полного удаления топлива блок должен соответствовать требованиям эксплуатационного регламента. На нем осуществляются работы по подготовке к снятию с эксплуатации.

При снятии с эксплуатации крупных реакторных установок необходимо обеспечить безопасность персонала в период демонтажа радиоактивного оборудования установки, его дезактивации, удаления образующихся РАО и крупногабаритного оборудования. При этом возникают различные организационные проблемы, связанные с предварительным планированием и последующим ведением работ. Существуют рекомендации МАГАТЭ по организации вывода из эксплуатации, которые предназначены для принятия ответственными лицами оптимального решения по обоснованному объему финансовых и временных затрат, снижению доз облучения персонала и защите окружающей среды.

В идеальном варианте планирование вывода из эксплуатации должно начинаться с момента проектирования АЭС и про-

должаться в период ее сооружения и последующей эксплуатации. Если АЭС была закрыта без предварительно разработанной проектной документации, то такую документацию нужно разработать как можно скорее. В проекте снятия установки с эксплуатации следует учитывать национальные требования и международные рекомендации по защите персонала, населения и окружающей среды; уровень требований должен быть не ниже, чем для действующих установок.

Демонтаж требует больших затрат ручного труда и применения специального оборудования для резки металла и бетона. Необходимы современные инструменты, по возможности ограничивающие время проведения операций по демонтажу, например, механические ножницы для резки металла, дистанционные и робототехнические устройства. Подобное оборудование дорогостоящее, на него нужны значительные финансовые затраты.

Учитывая, что в ближайшем будущем ожидается увеличение количества выводимых из эксплуатации энергоблоков, проблема рациональной организации процесса утилизации является актуальной. Склонность использовать радиоактивный металл очевиден, поскольку загрязненные детали изготовлены преимущественно из коррозионно-стойких сталей, сплавов и других ценных металлов. Неудивительно, что поиску способов дезактивации металла посвящено немало исследовательских работ. В настоящее время преимущественно применяются химический и электрохимический методы дезактивации, которые требуют большого расхода кислот, щелочей, поверхностно-активных веществ. Кроме того, они трудоемки и приводят к образованию значительного количества жидких РАО.

Загрязнение оборудования и конструкций, произошедшее в результате аварии 1986 г., обуславливает большие объемы дезактивации, но фактически они будут зависеть от общей стратегии снятия с эксплуатации и, особенно, выбора конечного состояния площадки. При ликвидации последствий аварии применялись средства и методы дезактивации и демонтажа, многие из которых могут быть адаптированы для снятия с эксплуатации блоков Чернобыльской АЭС. Кроме того, конструкция РБМК позволяет использовать некоторые ремонтные технологии для демонтажных работ.

При детальном планировании рабочих технологических операций необходимо выполнять требования и инструкции по радиационной безопасности, обращению с отходами, обеспечению качества, пожарной безопасности и т. д. Следует разработать специфические операции, такие как организация рабочих мест и средств контроля загрязнения оборудования, выбор способов резки труб, удаления фильтров для очистки воздуха и жидких сред, дезактивации оборудования, удаления асбестовых материалов и т. п. Рабочие инструкции должны включать оценку доз персонала.

Характерные особенности работ по снятию с эксплуатации блоков АЭС – организация радиационного контроля в периоды подготовки к снятию с эксплуатации, консервации, длительной выдержки и демонтажа снимаемого с эксплуатации блока, а также переработка значительного количества образующихся в ходе снятия с эксплуатации твердых и жидких РАО. Меры по обеспечению радиационной безопасности при снятии с эксплуатации блоков АЭС считаются достаточными, если техническими, санитарно-гигиеническими и организационными средствами обеспечивает-

ся соблюдение требований действующих норм и правил радиационной безопасности. Вопросы обеспечения радиационной безопасности при снятии с эксплуатации блоков АЭС должны быть отражены в проектной документации и отчете по анализу безопасности.

Снятию энергоблока АЭС с эксплуатации в соответствии с требованиями нормативных документов предшествует разработка концепции. Главная цель, которую необходимо достичь в процессе снятия станции с эксплуатации, – преобразование всех объектов станции в экологически безопасные системы одновременно с гармоничным решением возникающих при этом социальных проблем высвобождаемого персонала.

Концепция снятия с эксплуатации Чернобыльской АЭС распространяется на три энергоблока станции, а также конструкции, связанные с этими блоками в пределах площадки. Концепция не рассматривает никаких действий в отношении:

- незавершенного строительства 5-го и 6-го энергоблоков;

- объекта «Укрытие» и установок, связанных с ним;

- пруда-охладителя;

- находящихся на территории площадки атомной станции могильников, которые содержат радиоактивные материалы, образовавшиеся в процессе ликвидации аварии на 4-м блоке.

В соответствии с разработанной концепцией снятия с эксплуатации энергоблоков Чернобыльской АЭС были рассмотрены следующие возможные варианты снятия с эксплуатации:

- консервация всего оборудования, зданий и сооружений на длительный срок с последующим демонтажом всего оборудования по истечении этого срока;

консервация только реактора и высокоактивного оборудования на длительный срок, демонтаж остального оборудования с сохранением строительной части, демонтаж консервируемого оборудования по окончании срока выдержки;

вариант, аналогичный предыдущему, с ликвидацией всех сооружений блока, включая строительную часть после длительной выдержки;

ликвидация оборудования и систем блока с сохранением строительной части на длительный период;

консервация оборудования энергоблока в имеющихся строительных конструкциях на 20–30 лет с проведением минимально необходимых работ по демонтажу и консервации.

В рамках программы TACIS, осуществляемой Европейским Союзом, в 1996 г. фирмой «АЕА Technology» были проведены исследования и рассмотрены следующие варианты снятия Чернобыльской АЭС с эксплуатации.

1. Продленный, расширенный останов. Реактор заглушается и проводится расхолаживание; топливо остается внутри реактора на период, определяемый эксплуатирующей организацией; регулирующие и защитные стержни вводятся в активную зону реактора, приводные механизмы этих стержней обесточиваются; проводятся периодические осмотры состояния топлива и защитной оболочки реактора; выполняются надзор и обслуживание систем и оборудования, находящихся в эксплуатации.

2. Выгрузка топлива, дезактивация, консервация и выдержка. Реактор заглушается, расхолаживается; топливо выгружается из реактора и помещается в место его безопасного хранения; радиоактивное оборудование и трубопроводы дезактивируют-

ся; рабочие среды систем энергоблоков сливаются и отправляются на переработку; проходки контура от реакторного блока к турбинному залу изолируются и герметизируются; проводятся надзор и обслуживание систем и оборудования, находящихся в эксплуатации.

3. Изолирование и вывод из эксплуатации турбинного зала и вспомогательных систем станции. Выполняются работы, указанные в предыдущем варианте, однако при этом производится демонтаж систем, оборудования и трубопроводов, установленных в турбинном зале, а затем и демонтаж строительных конструкций турбинного зала и вспомогательных систем; проводятся надзор и обслуживание систем и оборудования реакторного отделения и вспомогательных обеспечивающих систем.

4. Демонтаж первого контура. Выполняются работы, указанные в предыдущем варианте; кроме того, производятся герметизация технологических каналов и демонтаж оборудования контура многократной принудительной циркуляции и вспомогательных систем; проводятся надзор и обслуживание реактора.

5. Демонтаж активной зоны реактора. Выполняются работы, указанные в предыдущем варианте; после этого производится демонтаж активной зоны реактора – технологических каналов, графитовой кладки, устройств крепления активной зоны реактора; на месте остается шахта реактора, внутреннюю поверхность которой дезактивируют.

Наиболее целесообразным признан вариант консервации оборудования энергоблоков в течение длительного времени, предусматривающий консервацию оборудования энергоблоков в имеющихся строительных конструкциях на период не менее 30 лет с проведением минимально не-

обходимых работ по демонтажу и консервации. Выбор данного варианта обусловлен следующими причинами:

с минимальными трудовыми затратами обеспечивается перевод объекта в ядерно-безопасное состояние и существенно снижается радиационная опасность;

исключается необходимость немедленных значительных финансовых затрат на проведение работ по демонтажу оборудования;

исключается необходимость первоначальных значительных финансовых и материальных ресурсов, включая дорогостоящие опытно-конструкторские и проектно-исследовательские работы по созданию новой техники и технологии;

общая экологическая обстановка, сложившаяся в зоне расположения Чернобыльской АЭС, характеризуется устойчивым длительным загрязнением долгоживущими изотопами, и влияние на нее АЭС после реализации данного варианта незначительно (возврат территории вокруг Чернобыльской АЭС для хозяйственного использования вряд ли возможен в обозримом будущем);

длительная выдержка перед демонтажом загрязненного высокоактивного оборудования значительно снижает дозозатраты и финансовые затраты на производство работ;

обеспечивается достаточный запас времени на разработку необходимых технологий и оборудования для ликвидации основных загрязненных объектов.

Во всех вариантах в качестве первых этапов предусматриваются останова блоков с эксплуатацией систем жизнеобеспечения и последующий перевод блоков в ядерно-безопасное состояние с выгрузкой отработавшего топлива в ХОЯТ, а также перера-

ботка накопленных на АЭС жидких и твердых РАО на существующих и вновь построенных установках.

Все варианты предусматривают выполнение комплексного инженерного и радиационного обследования состояния энергоблоков с целью анализа состояния систем, определения необходимых мероприятий по длительному жизнеобеспечению, сбора необходимой информации по радиационной обстановке и подготовке необходимой базы данных для проведения технико-экономического исследования и технико-экономического обоснования по выбору оптимального варианта и разработки проекта снятия станции с эксплуатации.

Во всех вариантах осуществляется консервация реактора на определенный период. Вопрос целесообразности демонтажа технологических каналов уточняется на стадии проведения технико-экономических исследований.

Реализация дальнейших этапов требует разработки технологий для переработки РАО, других видов отходов, технологий для демонтажа оборудования и строительных конструкций, а также создания промежуточных хранилищ отходов различной активности.

Оптимальный вариант снятия с эксплуатации выбирается на стадии технико-экономического исследования; при этом учитываются результаты, полученные при комплексном инженерном и радиационном обследовании, а также экономическая и экологическая оценка. Критериями такой оценки следует считать снижение уровня риска и вреда воздействия радиационно-загрязненных объектов на население и территории, а критерием оптимизации – отношение снижения коллективной дозы и ущерба, в том числе вероятностного, выра-

женных в стоимостных величинах, к затратам на их уменьшение.

Подготовительный этап, называемый *этапом прекращения эксплуатации*, предшествует непосредственному снятию с эксплуатации и включает в себя следующие виды работ:

останов энергоблоков, обеспечение надежной эксплуатации систем жизнеобеспечения остановленных энергоблоков, в том числе систем радиационного и технологического контроля, выдержка отработавшего ядерного топлива в реакторе в течение проектного срока;

перевод блоков в ядерно-безопасное состояние после выполнения последовательных операций по выгрузке отработавшего ядерного топлива из реактора в бассейн выдержки, выдержке топлива в бассейне и последующего вывоза его с блоков в общестанционное ХОЯТ;

переработку накопленных РАО;

доработку систем жизнеобеспечения – строительство новых объектов, необходимых для снятия с эксплуатации, реконструкцию систем отопления, вентиляции, водоснабжения, электроснабжения, систем радиационного и технологического контроля с целью обеспечения поддержания станции в законсервированном состоянии в течение длительного периода;

комплексное инженерное и радиационное обследование систем и оборудования, зданий и сооружений.

На блоке АЭС при проведении работ по снятию с эксплуатации контроль радиационной обстановки на блоке и в окружающей среде должен осуществляться с помощью имеющейся системы радиационного контроля, которая оптимизируется с учетом специфики выполняемых работ. Устанавливаемый объем радиационного контроля

обеспечивает своевременное обнаружение изменений радиационной обстановки, правильную оценку возможного уровня облучения персонала, локализацию радиоактивных загрязнений.

После останова энергоблока АЭС, а особенно после завершения этапа прекращения эксплуатации (т. е. после освобождения энергоблока от отработавшего ядерного топлива), радиационная обстановка в помещениях АЭС стабилизируется. Исчезают такие факторы радиационной опасности, как наличие инертных радиоактивных газов и паров йода. Количество радиоактивных веществ, находящихся на энергоблоке, значительно снижается, резко сокращается количество участков и операций, где возможны резкие изменения радиационной обстановки.

Наибольшую сложность на данном этапе представляет проведение анализа безопасности при различных авариях, которые могут произойти на энергоблоке при проведении работ по снятию с эксплуатации. Анализ возможных аварий на энергоблоке, находящемся в эксплуатации, проводится проектной организацией на стадии проектирования реакторной установки. Для проектных аварий определяются исходные события, пути протекания и проводится оценка последствий. На каждой АЭС разработаны планы защиты персонала на случай радиационной аварии и определены мероприятия по их ликвидации.

На ядерной установке, находящейся на этапе снятия с эксплуатации, радиационные риски для персонала и населения значительно снижаются, что делает возможным пересмотр аварийных планов и оптимизацию радиационной защиты путем отмены отдельных мероприятий и ограничений, не являющихся необходимыми для данного

этапа жизненного цикла АЭС. Оптимизация радиационной защиты позволит снизить затраты на поддержание ядерной установки в безопасном состоянии и снятие ее с эксплуатации. Вместе с тем такая оптимизация должна производиться без снижения достигнутого уровня безопасности, что требует проведения соответствующих исследований и обоснований безопасности.

Потенциальные аварии при проведении работ по снятию с эксплуатации энергоблоков Чернобыльской АЭС на этапе окончательного закрытия не окажут повышенного радиационного воздействия на население. Перечень организационно-технических и защитных мероприятий, предусмотренных действующей на Чернобыльской АЭС эксплуатационно-технической документацией, достаточен для предотвращения аварий, минимизации их последствий и обеспечения защиты персонала, населения и окружающей среды.

Большая часть потенциальных аварий при проведении работ по снятию с эксплуатации энергоблока на этапе окончательного закрытия не приведет к облучению персонала и населения дозами, превышающими предел, установленный действующими в Украине национальными гигиеническими нормативами.

Авария с максимальными последствиями для персонала и окружающей среды при снятии с эксплуатации энергоблока на этапе окончательного закрытия возможна только при возгорании графитовой кладки реактора в результате нарушения правил пожарной безопасности при проведении работ либо вследствие падения летательного аппарата на здание реакторного отделения энергоблока.

Поскольку на этапе окончательного закрытия энергоблока не планируется мас-

штабных работ, связанных с воздействием на конструкции реактора, вероятность аварии из-за возгорания графитовой кладки можно принять равной $1 \cdot 10^{-7}$ в год.

По консервативным оценкам; последствиями аварии, вызванной возгоранием графитовой кладки, могут являться:

- облучение до 5 человек из числа персонала дозами до 17 мЗв (85 % годового предела дозы, в основном ингаляционной);

- дополнительное ингаляционное облучение всего персонала, находящегося в пределах площадки, коллективной дозой до 5,5 мЗв;

- выход в окружающую среду вместе с продуктами горения радиоактивных веществ суммарной активностью до $1,1 \cdot 10^{14}$ Бк;

- прирост уровня риска для персонала станции в результате максимальной аварии до $9,4 \cdot 10^{-7}$ летальных исходов в год.

На основании этого анализа рекомендуются следующие мероприятия по снижению риска возможных аварий при проведении работ по снятию с эксплуатации:

- удаление с энергоблока высокоактивных изделий;

- освобождение от рабочих сред бассейнов выдержки с очисткой от иловых отложений;

- демонтаж и удаление из центрального зала разгрузочно-загрузочной машины и мостовых кранов;

- сокращение количества сгораемых материалов, находящихся на блоке.

Радиационная авария при снятии с эксплуатации блока АЭС – нарушение безопасного проведения работ, приводящее к выходу радиоактивных продуктов за предусмотренные защитные барьеры и создающее радиационную обстановку, параметры которой превышают допустимые значения, определенные проектом. Целью действий

персонала при аварии является предупреждение ее развития, ограничение масштабов и последствий, что обеспечивается техническими и организационными мероприятиями. Действия персонала при авариях должны регламентироваться «Планом защиты персонала и населения в случае аварии при снятии с эксплуатации АЭС». Порядок оценки и сообщения о возникших авариях или происшествиях должен соответствовать Международной шкале ядерных инцидентов (INES) МАГАТЭ.

При разработке проекта снятия с эксплуатации необходимо выполнить оценку стоимости его реализации и основных этапов с учетом работ как непосредственно на блоке, так и всех сопутствующих и вспомогательных работ на площадке АЭС.

Затраты в значительной степени зависят от типа, мощности, продолжительности и истории эксплуатации ядерного реактора к моменту его окончательного останова; характеристик площадки, объема, специфики и используемой технологии демонтажных работ; длительности реализации различных этапов выбранного варианта снятия с эксплуатации; объемов и характеристик РАО, а также количества мероприятий по обеспечению радиационной безопасности персонала, населения и окружающей среды. При определении удельных затрат на вывод из эксплуатации ядерной установки следует исходить из условий предварительной выдержки блока перед началом демонтажных работ в течение не менее пяти лет, дезактивации оборудования перед демонтажом и в период проведения работ по демонтажу.

Затраты зависят также от реализуемого подхода – планового или досрочного сценария снятия с эксплуатации, снятия с эксплуатации блока или АЭС в целом, конеч-

ного состояния площадки. Естественно, что масштабы затрат для блока и всей АЭС будут существенно различаться. В случае досрочного снятия с эксплуатации наряду с прямыми затратами возникают дополнительные, связанные с необходимостью сооружения на площадках АЭС не предусмотренных проектом установок для переработки РАО, строительства дополнительных хранилищ для отработавшего ядерного топлива и т. д. В случае планового снятия с эксплуатации эти работы должны быть выполнены еще на стадии эксплуатации, поэтому данные затраты относятся на счет эксплуатационных расходов. При досрочном снятии с эксплуатации такие работы выполняются на этапе подготовки блока к снятию с эксплуатации.

Кроме этого, суммарные затраты должны учитывать некоторые дополнительные составляющие, обусловленные возможными социально-экономическими последствиями. В ряде исследований определены технико-экономические показатели работ, требуемых для реализации этапов снятия с эксплуатации, за исключением работ по демонтажу общестанционных сооружений и рекреации площадки станции в случае планового и досрочного вывода, а также дана оценка затрат с учетом возможных социально-экономических последствий в случае досрочного снятия. Затраты на обращение с образующимися после демонтажа реактора и строительных конструкций главного корпуса отходами вследствие неопределенности в настоящее время решений в отношении дальнейшего обращения с ними в приведенных оценках не учитывались.

Для оценки максимального масштаба экономических последствий решения о досрочном снятии с эксплуатации АЭС

принят самый неблагоприятный сценарий, когда вместе с остановкой АЭС закрываются и пристанционные города, а персонал станций, их семьи и население городов переселяются. Подобный сценарий нельзя считать гипотетическим. Он может быть объяснен спецификой подхода к выбору площадок для строительства АЭС и монопрофильностью пристанционных городов. В результате изолированности и территориальной удаленности площадок АЭС от больших городов и промышленных центров, значительной зависимости социально-бытовой инфраструктуры пристанционных городов от функционирования станций решение о досрочном снятии с эксплуатации может привести к серьезным социальным последствиям для большинства пристанционных городов. Наибольшие социальные последствия и экономические издержки будут вызваны решением о досрочном снятии с эксплуатации АЭС при одновременной остановке всех энергоблоков, что, впрочем, и произошло с энергоблоками Чернобыльской АЭС.

Мероприятия по предупреждению социальных последствий являются частью программы социальной защиты, включающей в себя переобучение высвобождаемого персонала АЭС, компенсационные выплаты для перемещаемого персонала и населения пристанционного города, переселение семей персонала и населения к новому месту жительства. С учетом социально-экономических издержек на реализацию программы мер социальной защиты в случае досрочного снятия с эксплуатации АЭС суммарные затраты увеличиваются на 15–30 %.

Масштаб экономического ущерба в значительной степени зависит от выбранной стратегии снятия энергоблоков АЭС с экс-

плуатации и реализации программы социальной реабилитации для персонала атомных станций и населения пристанционных городов. Снижение социально-экономических издержек возможно за счет оптимизации стратегии вывода из эксплуатации энергоблоков АЭС, в частности, при последовательном выводе из эксплуатации блоков АЭС. Предполагается, что персонал АЭС по мере останова энергоблоков будет мигрировать на другие площадки и, тем самым, социальная напряженность в городе по мере уменьшения количества жителей будет снижаться. Но подобная ситуация возможна при наличии вакансий на других площадках, стабильном развитии атомной энергетики и соответствующем отношении руководства отрасли и государства к проблеме. К сожалению, опыт закрытия Чернобыльской АЭС показывает, что социальная напряженность в расчет не бралась.

Особенность снятия с эксплуатации Чернобыльской АЭС состоит в том, что затраты необходимо планировать с учетом последствий тяжелой запроектной аварии. В сложившейся ситуации многие аспекты встречаются впервые; не все можно достаточно точно определить на подготовительном этапе. Очевидно, что потребуются дополнительные финансовые и трудовые ресурсы и оборудование, которые не учитываются в оценках для снятия с эксплуатации АЭС в нормальных условиях. Избыточные затраты также обусловлены и специфическими условиями труда в зоне отчуждения станции:

В соответствии с расчетами, выполненными международными экспертами, общие затраты по выводу из эксплуатации первых трех блоков Чернобыльской АЭС оцениваются в сумме 1396 млн дол. США, из кото-

рых 410 млн дол. – затраты на подготовительные работы, 376 млн дол. – затраты, которые непосредственно связаны с выводом станции из эксплуатации и ее техническим обслуживанием в течение 10 лет, 610 млн дол. – затраты на переподготовку персонала, создание рабочих мест и другие социальные мероприятия.

Оценки, сделанные к настоящему времени, позволяют прийти к выводу, что стоимость работ непосредственно по снятию с эксплуатации атомных реакторов мощностью 1000 МВт можно рассматривать в ценовом диапазоне от 210 до 240 евро/кВт. Но применить эти методы расчета затрат на снятие с эксплуатации непосредственно к Чернобыльской АЭС практически невозможно как из-за отсутствия опыта снятия с эксплуатации подобных типов реакторов, так и из-за специфических особенностей площадки, подвергшейся воздействию радиационных факторов последствий аварии 1986 г. на 4-м энергоблоке.

В настоящее время на всех энергоблоках планируются или находятся в состоянии выполнения работы:

- по отключению и демонтажу отдельных систем, использование которых не предусматривается;

- по удалению рабочих сред из контуров установки, освобождению их от потенциально опасных субстанций;

- по дезактивации систем и элементов;

- по освобождению установок от накопленных за время их эксплуатации жидких РАО и частичному освобождению от твердых РАО;

- по реконструкции и замене оборудования с целью снижения энергопотребления.

Основные работы по снятию с эксплуатации не могут быть начаты из-за фактического отсутствия проекта таких работ.

Еще одним препятствием является неготовность инфраструктуры площадки Чернобыльской АЭС к выполнению работ по снятию с эксплуатации, прежде всего – отсутствие хранилища для отработавшего ядерного топлива.

В период прекращения эксплуатации Чернобыльская АЭС приступила к демонтажу внешнего по отношению к реакторному отделению оборудования и трубопроводов систем, не влияющих на безопасность, которые в установленном порядке выведены из эксплуатации и сняты с регистраций и учета в надзорных органах. До начала демонтажных работ разработано «Положение о порядке демонтажа оборудования, трубопроводов и систем, выведенных из эксплуатации», где установлены требования по организации проведения демонтажа оборудования и трубопроводов, выведенных из эксплуатации, единый подход к документированию результатов выполненных работ, распределение ответственности при проведении работ по демонтажу.

5.3. КОМПЛЕКСНЫЕ ИНЖЕНЕРНЫЕ И РАДИАЦИОННЫЕ ОБСЛЕДОВАНИЯ

Для разработки проекта снятия с эксплуатации энергоблоков Чернобыльской АЭС необходима исходная информация о фактическом состоянии оборудования, систем, строительных конструкций, а также о радиационной обстановке в помещениях и на промплощадке.

В целях получения необходимых сведений проводится комплексное инженерное и радиационное обследование энергоблока, которое состоит из трех самостоятельных частей:

инженерного обследования оборудования и систем блока;

инженерного обследования строительных конструкций, зданий, сооружений и помещений;

радиационного обследования блока.

По их результатам на специальном программном комплексе создаются взаимосвязанные базы данных инженерного и радиационного обследования, что существенно облегчает поиск и использование необходимой информации.

В отдельную часть необходимо выделить исследования, обусловленные спецификой Чернобыльской АЭС – радиоактивным загрязнением окружающей территории после аварии 1986 г. Это исследование пруда-охладителя, а также определение критериев и нормативов достижения целей снятия с эксплуатации на территории зоны отчуждения.

При инженерном обследовании энергоблока АЭС собирается информация о состоянии:

архитектурно-строительного комплекса;

отдельных помещений на блоке, в зданиях и сооружениях;

тепломеханического оборудования и систем;

электрооборудования и контрольно-измерительных приборов;

оборудования по обращению с ядерным топливом;

грузоподъемных механизмов;

систем радиационного контроля блока и окружающей среды;

систем водоснабжения, канализации, включая спецканализацию;

систем отопления и вентиляции.

Цель инженерного обследования строительных конструкций зданий и сооружений – уточнение остаточного ресурса стро-

ительных конструкций, по окончании которого их дальнейшая эксплуатация невозможна. Данное обследование разделено на две взаимосвязанные стадии: стадию подготовки исходных данных и стадию комплексного расчета строительных конструкций.

На стадии подготовки исходных данных производятся расчетно-теоретическая оценка внешних и внутренних силовых воздействий на строительные конструкции, натурное обследование зданий и сооружений ядерной энергетической установки, уточнение проектных и определение дополнительных нагрузок, установление фактического технического состояния несущих строительных конструкций. Другими словами, на первой стадии уточняются параметры нагрузок расчетных схем для комплексного расчета зданий и сооружений.

На второй стадии обследования проводятся комплексный статический и динамический расчет несущих строительных конструкций с учетом требований действующих нормативных документов, а также оценка прочности, устойчивости, деформированности и герметичности строительных конструкций.

В результате инженерного обследования должна быть подготовлена информация о фактическом техническом состоянии энергоблока АЭС в виде отчета и базы данных для каждой системы, каждого помещения и каждой строительной конструкции.

Радиационное обследование способствует обеспечению радиационной безопасности при проведении работ, созданию баз данных о радиационном состоянии энергоблока. Это достигается непосредственными измерениями с помощью приборов и инструментов по соответствующим методикам и выполнением расчетов с ис-

пользованием косвенных измерений. Цели радиационного обследования – инвентаризация радиоактивных веществ, находящихся на энергоблоке в момент обследования; создание баз данных о радиационном состоянии энергоблока, позволяющих прогнозировать изменения радиационных характеристик отдельных систем и помещений на различных этапах снятия с эксплуатации.

Информация, полученная в ходе радиационного обследования, позволяет;

прогнозировать количество РАО, образующихся при проведении работ по снятию блока с эксплуатации; радиационную обстановку в помещениях и на площадке с учетом спада активности радионуклидов с течением времени; радиационное воздействие на персонал, выполняющий работы по снятию энергоблока с эксплуатации, а также оценить трудозатраты на дезактивацию и удаление радиоактивно загрязненного оборудования.

По результатам проведенного в 1998 г. комплексного инженерного и радиационного обследования энергоблока № 1 были сделаны следующие выводы.

1. Более 99 % радиоактивности блока сосредоточено в пределах конструкций реактора.

2. Суммарная расчетная активность конструкций реактора на момент его окончательного останова (при предположении, что топливо и поглотители выгружены из активной зоны реактора) находилась на уровне $7 \cdot 10^{17}$ Бк (20 МКи). На момент проведения обследования суммарная расчетная активность конструкций реактора снизилась за счет естественного распада радионуклидов до $3 \cdot 10^{17}$ Бк (8 МКи).

3. Основной вклад в суммарную расчетную активность конструкций реактора вно-

сят активности канальных труб (84 %) и графитовой кладки реактора (10 %). Эти же конструкции реактора будут определять суммарную активность в течение любого времени выдержки конструкций реакторной установки.

4. В результате длительной выдержки конструкций реактора их суммарная активность снизится по сравнению с суммарной активностью на момент останова: при выдержке 20 лет – в 20 раз, при выдержке 50 лет – в 125 раз, при выдержке 100 лет – в 740 раз, при выдержке 150 лет – в 1200 раз.

5. Согласно расчетным оценкам мощности дозы γ -излучения вблизи основных конструкций реактора, основными дозообразующими радионуклидами в элементах конструкций реактора являются ^{60}Co , ^{94}Nb , ^{152}Eu и ^{154}Eu .

6. За счет выдержки в течение 100 лет мощность дозы γ -излучения вблизи большей части конструкций, входящих в состав активной зоны и отражателя, и конструкций, непосредственно граничащих с отражателем, может снизиться до уровня, допускающего осуществление работ по их демонтажу без ограничений по времени для персонала.

7. Технологические каналы в пределах графитовой кладки будут относиться к группе высокоактивных твердых отходов в течение 150 лет выдержки.

8. Графитовая кладка будет относиться к группе высокоактивных отходов при времени выдержки до 40 лет, после – к среднеактивным.

9. Согласно расчетным оценкам вклада в активность графитовой кладки реактора от аварийной технологической ячейки, образовавшейся в результате аварии 1982 г., за счет загрязнения графита остатками топлива, вклад активности остатков топливной

композиции в полную активность графитовой кладки из-за выгорания топлива в течение более 10 лет не превосходит 1 % на момент останова реактора. Несмотря на то, что топливо аварийной ячейки в настоящее время не оказывает большого влияния на общую активность графитовой кладки, удельная активность графитовых колонн в районе аварийной ячейки с течением времени будет значительно выше активности остальной графитовой кладки.

10. Радиоактивное загрязнение большей части оборудования превышает уровни освобождения материалов от регулирующего контроля.

11. Условно чистым может считаться только часть электротехнического оборудования.

12. Все радиоактивные вещества, находящиеся на энергоблоке, можно условно разделить на радионуклиды аварийного и эксплуатационного происхождения. Эксплуатационное загрязнение встречается только на внутренних поверхностях оборудования, содержащего ранее радиоактивные среды, и в фильтрующих элементах установок спецводоочистки.

13. Большое количество радионуклидов сосредоточено в отложениях на внутренних поверхностях оборудования первого контура и в ионообменных смолах систем спецводоочистки. Радиационную обстановку в помещениях с данным оборудованием можно существенно улучшить выгрузкой отработанных смол и проведением глубокой дезактивации первого контура.

14. Фиксируется большая величина активности вентиляционного оборудования за счет отложений радионуклидов аварийного происхождения на внутренних поверхностях вентиляционных коробов.

15. Загрязнение строительных конструкций в основном незначительно. Боль-

шая часть строительных конструкций не является радиоактивными отходами.

16. Альфа-загрязненность в основном сосредоточена в контуре первичного теплоносителя, графитовой кладке и газовом контуре реакторной установки из-за их загрязнения в результате аварии 1982 г.

Методология проведения комплексного инженерного и радиационного обследования не зависит от типа реакторной установки, входящей в состав энергоблока. Поэтому опыт комплексного инженерного и радиационного обследования, полученный при проведении работ на энергоблоке № 1 Чернобыльской АЭС, был использован при аналогичных обследованиях на других ее энергоблоках и может быть применен на АЭС с реакторами ВВЭР.

По результатам комплексных инженерных и радиационных обследований реакторной установки энергоблока № 2 были сделаны следующие выводы.

1. Суммарная активность реактора с момента останова снизилась примерно на два порядка и через 10 лет после останова составила $9,96 \cdot 10^{15}$ Бк ($2,62 \cdot 10^5$ Ки). Через 20 лет после останова реактора активность будет измеряться $5,17 \cdot 10^{15}$ Бк ($1,36 \cdot 10^5$ Ки), через 50 лет – $1,74 \cdot 10^{15}$ Бк ($4,58 \cdot 10^4$ Ки), через 100 лет – $8,12 \cdot 10^{14}$ Бк ($2,13 \cdot 10^4$ Ки), через 150 лет – $6,14 \cdot 10^{14}$ Бк ($1,61 \cdot 10^4$ Ки). Таким образом, при выдержке в течение 150 лет активность конструкций реактора снизится приблизительно в 1200–1500 раз.

2. Определяющий вклад в активность конструкций реактора на всем временном интервале до 150 лет выдержки вносят центральные циркониевые части технологических каналов. Их активность в течение всего времени выдержки будет равна 85–95 % суммарной активности конструкций реактора. Вклад активности графитовой кладки в

интервале времени 10–150 лет после останова составит 1,3–11,1 %. Эти же конструкции реактора дадут основной вклад в суммарную активность на протяжении любого времени выдержки конструкций реакторной установки.

3. В результате выдержки и, соответственно, снижения мощности дозы γ -излучения от конструкций реактора до 1,4 мБэр/ч и менее обращение с ними без ограничения по времени работы для персонала и без использования специальных средств защиты станет возможным: через 70 лет – с блоками графитовой кладки, через 35 лет – с каналами охлаждения отражателя, через 20–25 лет – с верхними и нижними трактами технологических каналов.

4. Технологические каналы в пределах графитовой кладки суммарной массой 106,5 т будут относиться к группе высокоактивных твердых отходов в течение всего (до 150 лет) времени выдержки.

5. Графитовая кладка суммарной массой 1905 т будет относиться к группе среднеактивных отходов при любом времени выдержки до 150 лет.

6. Большинство металлоконструкций реакторной установки будет относиться к среднеактивным отходам при времени выдержки до 80 лет, а свыше 80 лет – к низкоактивным.

При проведении комплексных инженерных и радиационных обследований 2-го и 3-го энергоблоков Чернобыльской АЭС с помощью практических измерений и анализа технической проектной и эксплуатационной документации была получена информация по основному оборудованию энергоблоков, исключая реакторные конструкции.

Суммарная масса и объем оборудования 2-го энергоблока составляют соответственно

32 300 т и 87 400 м³, суммарная масса и объем оборудования 3-го энергоблока – 39 200 т и 100 000 м³. В зданиях этих энергоблоков и во вспомогательных зданиях и сооружениях находится 10 720 м³ стораемых материалов (на втором блоке – 2070 м³, на третьем – 8650 м³).

Без учета внутриреакторных конструкций и элементов, в оборудовании и помещениях 2-го энергоблока на момент обследования суммарная радиоактивность – приблизительно $1,8 \cdot 10^{12}$ Бк (49 Ки), а в оборудовании и помещениях 3-го энергоблока – приблизительно $1,1 \cdot 10^{13}$ Бк (302 Ки). Различия в суммарной активности обусловлены разным временем после останова (для 2-го энергоблока – 12 лет, для 3-го энергоблока – 4 года) и большим загрязнением 3-го энергоблока во время аварии 1986 г.

Практически вся радиоактивность в оборудовании энергоблоков (суммарно 99 %) сконцентрирована в оборудовании реакторного отделения (71,5 %) и оборудовании систем вентиляции (27,5 %).

Основными дозообразующими радионуклидами в составе радиоактивного загрязнения оборудования и строительных конструкций энергоблоков, имеющих эксплуатационный состав загрязнений, являются ⁶⁰Co, ⁵⁵Fe, ¹³⁷Cs, а оборудования и строительных конструкций, имеющих аварийный состав загрязнений, – ¹³⁷Cs.

Усредненный вклад внутреннего загрязнения оборудования и трубопроводов в суммарную активность оборудования 2-го энергоблока на момент обследования составляет 51 %, а 3-го – 74 %. Большой удельный вклад внутреннего загрязнения на 3-м энергоблоке объясняется меньшим временем после останова.

Значимое наличие α -излучающих радионуклидов зафиксировано в оборудова-

нии первого контура, в оборудовании по обращению с отработавшим ядерным топливом, а также в оборудовании системы очистки вод оргпротечек на 2-м энергоблоке и системы баков и насосов на 3-м энергоблоке. Суммарная α -радиоактивность на 2-м энергоблоке – около $2,6 \cdot 10^{10}$ Бк (0,7 Ки), а на 3-м – $5,23 \cdot 10^{11}$ Бк (14 Ки). Значительно меньшее значение α -радиоактивности на 2-м энергоблоке можно объяснить тем, что перед окончательным остановом была проведена углекислотная дезактивация первого контура.

Суммарное количество предполагаемых *высокоактивных* отходов на 2-м энергоблоке оценивается 63 м^3 суммарной массой 90 т, а на 3-м – 54 м^3 суммарной массой 80 т.

Часть оборудования энергоблоков № 2 и № 3 при демонтаже не будет относиться к радиоактивным отходам. Ориентировочно во 2-м энергоблоке содержится 5100 м^3 *нерадиоактивных* отходов суммарной массой 2300 т, что соответствует 6 % общего объема оборудования и 7 % общей массы, а в 3-м энергоблоке – 970 м^3 суммарной массой 430 т, что соответствует приблизительно 1 % общего объема и массы оборудования. Значительно меньшее количество нерадиоактивных отходов на 3-м энергоблоке обусловлено последствиями аварии 1986 г.

Основными РАО при демонтаже оборудования энергоблоков № 2 и № 3 будут *низкоактивные* отходы. Их ориентировочное количество при демонтаже всего оборудования 3-го энергоблока на момент обследования составляет $80\text{--}400 \text{ м}^3$ суммарной массой 28 500 т, или 92 % суммарного объема оборудования энергоблока и 88 % суммарной массы. Ориентировочное количество низкоактивных отходов, образующих-

ся при демонтаже всего оборудования 3-го энергоблока на момент обследования, – $94\text{--}200 \text{ м}^3$ общей массой 35 000 т, или 89 % всего объема и 92 % суммарной массы.

Ориентировочное количество *среднеактивных* отходов, образующихся при демонтаже всего оборудования 2-го энергоблока, включая специальные изделия, находящиеся в приреакторных бассейнах выдержки, составляет 2100 м^3 суммарной массой 1800 т, или 2,2 % общего объема оборудования энергоблока и 5 % общей массы. Ориентировочное количество среднеактивных отходов, образующихся при демонтаже всего оборудования 3-го энергоблока, включая специальные изделия, находящиеся в приреакторных бассейнах выдержки, составляет 4300 м^3 суммарной массой 2700 т, или 4,8 % общего объема оборудования энергоблока и 6,3 % суммарной массы. В случае выдержки оборудования в течение 10 лет количество среднеактивных отходов сократится приблизительно в 2 раза.

На энергоблоках Чернобыльской АЭС находится значительное количество оборудования, необходимого в процессе снятия с эксплуатации, ресурс которого истекает в ближайшее время, поэтому нужно провести работы по продлению ресурса этого оборудования, остающегося в работе на этапе прекращения эксплуатации и последующих этапах снятия энергоблоков с эксплуатации.

Информация о состоянии строительных конструкций зданий и сооружений энергоблоков Чернобыльской АЭС получена способом практических измерений и исследований, а также из анализа документации. При проведении обследований строительных конструкций выявлен ряд отступлений от проектов и ряд дефектов металлических и строительных конструкций, ко-

торые на данном этапе не снижают несущую способность и жесткость каркасов, но снижают эксплуатационную надежность конструкций. Также отмечено неудовлетворительное состояние кровель.

В целом, состояние строительных конструкций зданий энергоблоков позволяет осуществлять их безопасную эксплуатацию в течение не менее 50 лет с момента завершения обследований. Общее техническое состояние зданий – работоспособное и ограниченно работоспособное. Однако безопасная эксплуатация зданий энергоблоков Чернобыльской АЭС в течение последующих 50 лет возможна только после выполнения ремонтных работ, обеспечивающих работоспособное техническое состояние несущих и ограждающих конструкций, и при соблюдении в последующем требований нормативных документов по организации их эксплуатации, ремонта, контроля и технического обслуживания.

Сейсмостойкость зданий и сооружений энергоблоков достаточна для землетрясения силой 6 баллов, что соответствует максимальному расчетному землетрясению для площадки Чернобыльской АЭС.

По результатам проведенных комплексных инженерных и радиационных обследований энергоблоков Чернобыльской АЭС было предложено:

1. Принять результаты, полученные в ходе комплексных инженерных и радиационных обследований, в качестве исходной информации при разработке документации, необходимой для ведения деятельности по прекращению эксплуатации и снятию с эксплуатации энергоблоков.

2. Провести работы по расчету наведенной активности и радиационных характеристик конструкций реактора 3-го энергоблока.

3. Экспериментально определить нуклидный состав и активность конструкций реакторов. Реализация данного предложения позволит либо сделать окончательный вывод об удовлетворительной точности расчетных оценок активности и радиационных параметров элементов конструкций реактора, либо внести соответствующие корректировки в расчетную модель и выполнить уточняющий расчет.

4. Разработать мероприятия по продлению ресурса оборудования, остающегося в эксплуатации на различных этапах снятия с эксплуатации.

5. Разработать программу дезактивации участков поверхностей помещений, в которых в ходе проведения обследования выявлены повышенные уровни радиоактивного загрязнения.

6. Рекомендовать периодическое (не реже одного раза в 5 лет) привлечение специализированных организаций для полномасштабного обследования состояния строительных конструкций зданий и металлоконструкций оборудования энергоблоков.

5.4. СОЗДАНИЕ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Вывод установок из эксплуатации должен осуществлять подготовленный персонал. До полного завершения вывода энергоблока из эксплуатации необходимо максимально использовать опытных штатных сотрудников, поскольку многие работы по демонтажу подобны обычным ремонтным операциям. К выполнению рутинных операций, связанных с проведением демонtajных работ, можно привлекать специалистов сторонних организаций.

На АЭС штатный персонал сохраняет- ся до полной выгрузки ядерного топлива и

проведения дезактивации оборудования первого контура реакторной установки. По оценкам, в США для демонтажа одного блока АЭС с ядерным реактором требуется от 100 до 200 сотрудников, что составляет примерно треть общей численности персонала АЭС. В период выдержки демонтируемого оборудования для снижения его активности численность уменьшается до 20–70 человек, а затем, на завершающем этапе вывода АЭС из эксплуатации, увеличивается до 100–200 человек. Но этот опыт практически невозможно применить на АЭС Украины, что объясняется другой структурной организацией. Например, на момент останова Чернобыльской АЭС работало более 6000 человек, а в настоящее время – около 4000. По оценкам различных источников, трудовые ресурсы для выполнения демонтажа, обращения с РАО и другой деятельности на площадке в течение процесса снятия с эксплуатации составляют приблизительно 20–40 % численности персонала, необходимого для нормальной эксплуатации. Исходя из этого, на площадке Чернобыльской АЭС должны работать 1200–2400 человек.

На этапе прекращения эксплуатации производятся удаление отработавшего топлива, дезактивация оборудования и удаление образовавшихся отходов. В этот период специалисты должны следить за изменением обстановки, давать разрешение на продолжение работ в новых условиях и рекомендации по снижению их опасности. Для вывода из эксплуатации атомной станции «ДРЕЗДЕН-1» в аналогичный период требовалась группа лишь из 7 специалистов и 27 человек обслуживающего персонала.

Значительную проблему при снятии с эксплуатации Чернобыльской АЭС представляют социальные аспекты: переквали-

фикация сотрудников, развитие новых промышленно-деловых видов деятельности, создание новых рабочих мест. Вопросы подготовки и использования персонала на этапе снятия с эксплуатации Чернобыльской АЭС необходимо рассматривать наряду с социальными последствиями закрытия станции.

Вывод Чернобыльской АЭС из эксплуатации неизбежно влечет за собой сокращение объема работ и, соответственно, значительной части персонала. Прогнозируемое снижение численности промышленного персонала в существующих структурах станции при выводе ее из эксплуатации составит (от даты окончательного закрытия) 1500 человек без учета работ на объекте «Укрытие».

На последующие 15 лет потребность в персонале, непосредственно занятом на работах по снятию с эксплуатации и обращению с РАО, оценивается в 10 000–12 000 чел. лет, что составляет ежегодную потребность в 670–800 человек. К этому количеству следует добавить еще 9 750–12 000 чел. лет трудовых затрат, необходимых для обеспечения текущего обслуживания остановленных блоков и поддержки деятельности по снятию с эксплуатации.

В 2001 г. постановлением Кабинета Министров Украины на базе обособленного подразделения «Чернобыльская АЭС» Национальной атомной энергогенерирующей компании «Энергоатом» было создано государственное специализированное предприятие «Чернобыльская АЭС», основными задачами которого являются:

безопасное снятие с эксплуатации первого–третьего энергоблоков Чернобыльской АЭС и других атомных электростанций;

преобразование объекта «Укрытие» в экологически безопасную систему;

обеспечение безопасности при обращении с РАО, которые накопились на Чернобыльской АЭС и образуются в процессе снятия ее с эксплуатации и преобразования объекта «Укрытие» в экологически безопасную систему;

обеспечение безопасности при обращении с отработавшим ядерным топливом Чернобыльской АЭС;

строительство и эксплуатация объектов инфраструктуры, необходимых для снятия с эксплуатации Чернобыльской АЭС и преобразования объекта «Укрытие» в экологически безопасную систему.

Для выполнения условий лицензии на снятие с эксплуатации Чернобыльской АЭС руководством предприятия постоянно осуществляется работа по совершенствованию действующей структурной схемы управления. В настоящее время по структуре управления практически достигнуты цели, поставленные органом государственного регулирования ядерной и радиационной безопасности. Функциональная часть структуры управления в основном отвечает типовой структуре управления на действующих АЭС Украины. Производственная часть отображает изменения в системе организации труда, которые характерны для энергоблоков на этапе прекращения эксплуатации, учитывает специфические для площадки Чернобыльской АЭС работы на объекте «Укрытие», а также создает необходимые условия для инвестиционных проектов.

Структура управления представляет смешанный тип: линейно-функциональный и проектно-ориентированный. Линейно-функциональный подход к административному управлению применяется в условиях постоянного производственного цикла – при стабильных сформированных

технологических процессах с определенными объемами работ (обеспечение производства, эксплуатация, ремонт, вывод оборудования из эксплуатации). Проектно-ориентированный подход применяется к управлению строительством новых объектов на площадке Чернобыльской АЭС. Эксплуатационные подразделения службы главного инженера привлекаются к участию в проектах по снятию с эксплуатации энергоблоков и преобразованию объекта «Укрытие». Они курируют монтажные и специальные работы; осуществляют процедуры допуска персонала подрядных организаций; выполняют программы индивидуальных, комплексных испытаний оборудования и систем, а также пусконаладочных работ; обеспечивают регистрацию смонтированного оборудования.

С целью рационального использования бюджетных средств и трудовых ресурсов на время выполнения работ по снятию Чернобыльской АЭС с эксплуатации и в соответствии с программой поддержания в безопасном состоянии энергоблоков и объекта «Укрытие» введены нормативы численности руководителей, специалистов, технических служащих и рабочих. Установленный норматив численности на 2005 г. составляет около 3600 человек.

Обращение с радиоактивными отходами и отработавшим ядерным топливом – тесно связанные области деятельности. Предполагается целесообразным создание на базе Чернобыльской АЭС мобильной структуры по снятию с эксплуатации ядерных установок и других промышленных объектов с ядерно-радиационными технологиями и обращению с РАО и ОЯТ. Возможными источниками финансирования создания и жизнедеятельности такого центра могут быть:

государственный бюджет Украины;
международные субсидии и инвестиции;

фонд снятия с эксплуатации;

целевое финансирование государственных программ, касающихся обращения с РАО и ОЯТ;

доходы от хозяйственной деятельности.

Инфраструктуру для обращения с РАО следует развивать для своевременного выполнения всех операций, необходимых для обращения с отходами, накопленными за период эксплуатации, а также с теми отходами, которые будут образовываться при снятии энергоблоков с эксплуатации. Стоимость инфраструктур во многом зависит от местонахождения площадок для размещения мощностей, возможности использования имеющейся инфраструктуры и потребности в ее развитии. Составляющими инфраструктуры, обеспечивающей деятельность по снятию установки с эксплуатации и объектов по обращению с РАО и ОЯТ, являются:

подъездные дороги;

железнодорожные пути;

электрообеспечение;

элементы системы радиационной защиты и мониторинга;

телекоммуникации и связь;

системы пожарной сигнализации и пожаротушения;

хозяйственно-питьевое водоснабжение;

техническое водоснабжение;

теплоснабжение;

газоснабжение;

промышленно-ливневая и спецканализация;

элементы физической защиты;

объекты санитарно-гигиенического назначения и др.

Для удовлетворения вышеперечисленных потребностей необходимо модернизи-

ровать большую часть имеющихся на площадке промышленных установок, объектов и систем.

Необходимость сооружения на площадке Чернобыльской АЭС дополнительных сооружений обуславливается обеспечением безопасности энергоблоков, находящихся на этапах снятия с эксплуатации, и новыми подходами к вопросам обращения с радиоактивными отходами.

При проведении работ по снятию энергоблоков с эксплуатации, преобразованию объекта «Укрытие» необходим ряд систем, влияющих на безопасность и обеспечивающих безопасность этих работ. К ним относятся системы, обеспечивающие здания и оборудование технологическими средами – теплом, водой, воздухом, электричеством, вентиляцией, канализацией, а также системы, контролирующие безопасное состояние, – системы радиационного мониторинга. Практически все эти системы существуют и используются на этапе эксплуатации АЭС. Их надо обследовать, при необходимости доработать, привести в соответствие с требованиями для использования их на этапе снятия с эксплуатации в полном или усеченном вариантах. Некоторые системы к окончанию срока эксплуатации АЭС полностью вырабатывают свой ресурс и требуют полной замены либо строительства новых.

Эксплуатация существующей на Чернобыльской АЭС пускорезервной котельной после аварии 1986 г. показала, что даже с учетом ремонтно-восстановительных работ эта котельная не годится как источник теплоснабжения для длительного режима эксплуатации. Она по производительности не соответствует установленным параметрам и полностью выработала свой ресурс. Поэтому, учитывая длительный период

вывода Чернобыльской АЭС из эксплуатации, работ по обращению с РАО, преобразованию объекта «Укрытие» в экологически безопасную систему, в 1991 г. правительством Украины принимается постановление «О неотложных мерах в связи с выводом из эксплуатации Чернобыльской АЭС», где предусматривается строительство новой производственно-отопительной котельной.

Тепловая мощность новой котельной учитывает потребности станции в горячей воде и паре при остановленных энергоблоках и отсутствии других источников теплоснабжения. В состав основного оборудования котельной входят три паровых котла производительностью по 50 т/ч и три водогрейных котла производительностью по 50 Гкал/ч.

Тепловые нагрузки по горячей воде определены на основании анализа всех потребителей площадки, а также других потребителей зоны отчуждения, находящихся в непосредственной близости от станции, которые могут быть обеспечены теплоснабжением после останова энергоблоков. Это объект «Укрытие», хранилище отработавшего ядерного топлива, заводы по переработке РАО и другие производственные мощности, необходимые на этапе снятия с эксплуатации.

Нагрузки по пару рассчитаны на основании анализа потребителей площадки с учетом ведения необходимых технологических процессов на остановленных блоках (что, в первую очередь, относится к выпарным установкам для переработки трапных вод и сливов спецканализации) и составляют не менее 100 т/ч пара.

В 1992–1993 гг. проводятся работы по строительству новой котельной и монтажу оборудования общим объемом порядка

60 % всех проектных работ; впоследствии из-за отсутствия финансирования работы прекращаются. В 1997 г. в рамках двустороннего технического сотрудничества между США и Украиной предлагается проект по завершению строительства производственно-отопительной котельной. В 2001 г. проект успешно завершается с вводом новой котельной в эксплуатацию.

Функционирование систем теплоснабжения Чернобыльской АЭС в последние годы обеспечивается в полном объеме, предусмотренном проектом. Бесперебойное газоснабжение производственно-отопительной котельной Чернобыльской АЭС обеспечивается в соответствии с заключенными договорами на поставку и транспортировку природного газа. На случай возникновения непредвиденной ситуации создан запас резервного топлива (мазута) массой 8000 т.

Одна из самых сложных проблем при снятии с эксплуатации – обращение с отработавшим ядерным топливом. Существующее на сегодняшний день хранилище отработавшего ядерного топлива ХОЯТ-1 не удовлетворяет современным требованиям по безопасности и полностью заполнено. В связи с этим было принято решение о строительстве нового хранилища ХОЯТ-2, удовлетворяющего современным национальным и международным требованиям по безопасности и способного вместить все отработавшее ядерное топливо с реакторов энергоблоков Чернобыльской АЭС, а также топлива, находящегося в старом хранилище ХОЯТ-1.

На площадке Чернобыльской АЭС накоплено большое количество жидких и твердых РАО, образовавшихся как в процессе эксплуатации, так и в процессе ликвидации аварии 1986 г. При решении кон-

кретных задач по снятию с эксплуатации возникла потребность в строительстве установок по переработке жидких и твердых РАО, а также мест для их хранения. Эти установки и хранилища должны быть рассчитаны таким образом, чтобы переработать и захоронить все имеющиеся РАО.

5.5. ОБРАЩЕНИЕ С ОТРАБОТАВШИМ ЯДЕРНЫМ ТОПЛИВОМ

Для безопасности хранения отработавшего ядерного топлива на площадке Чернобыльской АЭС предполагается строительство промежуточного хранилища отработавшего ядерного топлива реакторов РБМК на 25 000 топливных сборок и 3000 поглощающих стержней сроком до 100 лет.

Новое хранилище ХОЯТ-2 рассчитано на прием минимум 5200 отработавших топливных сборок в год. Проектом предусмотрены лицензирование, строительство, поставка оборудования, монтажные и пусконаладочные работы, испытания, разработка эксплуатационной документации и подготовка персонала. В объемы поставок включены расходные материалы для обеспечения эксплуатации объекта в течение двух лет. В 2003 г. планировалось завершить работы по этому проекту.

Проект строительства ХОЯТ-2 финансируется со Счета ядерной безопасности, распорядителем которого, от имени стран «Большой семерки», является Европейский банк реконструкции и развития. Первоначальная стоимость контракта с французской фирмой «Framatom», выигравшей в 1997 г. тендер, составила 52 467 000 евро плюс 18 510 600 дол. США. По условиям контракта компания должна осуществить

работы по проектированию и строительству хранилища отработавшего ядерного топлива на условиях реализации проекта «под ключ».

В 2000–2001 гг. компания «Framatom», после слияния ядерных подразделений компаний «Framatom» и «Simms», получила название «Framatom-ANP». Новообразовавшийся консорциум – мировой лидер по числу построенных ядерных энергоблоков. Он занимает ведущие позиции по снабжению АЭС ядерным топливом и предоставлению услуг для ядерной энергетики.

В соответствии с заключенным контрактом на строительство ХОЯТ-2 предусматривалось сооружение и сдача в эксплуатацию в 2003 г. промышленного комплекса, который состоит из двух основных частей: в одной находятся оснащение и оснастка для приемки отработавшего ядерного топлива, в другой – комплекс бетонных контейнеров для хранения отработавшего ядерного топлива.

В ходе оценки тендерных предложений на строительство ХОЯТ-2 отечественными и зарубежными экспертами отмечался ряд недостатков технологии, которая закладывалась в проекте. Так, согласно выводам экспертизы, проведенной в сентябре 1998 г., технология горизонтального хранения ядерного топлива в модулях была признана устаревшей, а радиационный контроль состояния пеналов с топливом – недостаточным. Система резки топливных кассет на фрагменты не прошла соответствующих практических испытаний.

На недостатки технологии, предложенной «Framatom» для строительства ХОЯТ-2, указывали не только отечественные специалисты, но и международные эксперты. В частности отмечалось, что выбранная технология не отвечает как требованиям

радиационной безопасности, так и условиям международного тендера. Эта технология разработана в конце 1970-х гг. американской компанией «Vectra System» и впоследствии приобретена «Framatom». Комиссия США по ядерному регулированию нашла ряд серьезных недостатков этой технологии, вследствие чего в 1997 г. вынесла решение о прекращении изготовления всех компонентов и систем, в которых было выявлено около 2000 дефектов; в дальнейшем это привело к банкротству компании «Vectra System». Значительные финансовые потери понесли заказчики хранилищ, среди которых были такие энергетические компании США, как «Pennsylvania Power & Light Company», «Baltimore Gas & Electric Company», «Duke Power» и др.

На принципах технологии «Vectra System» построено приблизительно полтора десятка хранилищ и комплексов по переработке ядерных материалов. Опыт их эксплуатации свидетельствует о необходимости существенной доработки технологических процессов.

Несмотря на это, победителем тендера на строительство ХОЯТ-2, проведенного Европейским банком реконструкции и развития, стала компания «Framatom-ANP». В тендерных процедурах принимали участие компании с более современными технологическими решениями, но стоимость их предложений была выше, чем у «Framatom-ANP». Скупой, как известно, платит дважды. Все точно по Кину Хаббарду: «Если кто-то говорит, что дело не в деньгах, а в принципе, — значит, дело в деньгах». Уже в ходе строительства ХОЯТ-2 были выявлены следующие недостатки:

в проекте французскими специалистами не были учтены конструктивные особенности топливных сборок и осо-

бенности процесса их извлечения из реакторов;

не учтены условия радиационного фона и повышенной влажности, вследствие чего возникли предпосылки к невозможности технической реализации проекта;

в бетонных модулях выявлены трещины, которые могут привести к уменьшению срока эксплуатации объекта;

система технологического процесса транспортировки и хранения отработавшего ядерного топлива не отвечает требованиям правил безопасности.

Кроме того, установлен факт утаивания от заказчика обстоятельств повреждения уникального технологического оснащения (стола для резки отработавших топливных сборок на фрагменты) вследствие автомобильной аварии при транспортировке по территории Украины.

В ходе реализации проекта было принято семь дополнительных соглашений к первоначальному контракту. По дополнительному соглашению 2003 г. стоимость контракта уже составляла 73 562 718 евро плюс 19 498 375 дол. США, а срок окончания работ по проекту в соответствии с дополнительным соглашением был перенесен на 2005 г.

В апреле 2004 г., после освоения 75 % средств начальной стоимости контракта, консорциум «Framatom-ANP» официально сообщил о приостановлении работ на строительной площадке ХОЯТ-2 на неопределенный срок в связи с ошибками в проектировании установки по подготовке отработавшего ядерного топлива для размещения в бетонные модули для долгосрочного хранения. Основной официальной причиной остановки работ специалисты консорциума назвали неудовлетворительное состояние отработавших тепловыделяющих

сборок (коррозия металла и искривление стержней), а также высокий уровень радиационного загрязнения, что, по их мнению, может привести к образованию РАО свыше установленного объема.

Такая позиция иностранной стороны не обоснована, поскольку фактическое состояние топливных сборок необходимо было учесть в проекте ХОЯТ-2, ответственность за разработку которого несет подрядчик – консорциум «Framatom-ANP».

Кроме того, о высоком уровне радиоактивного излучения французские специалисты знали еще до начала работ, так как в тендерном предложении на строительство хранилища оговаривалось, что обращение с отработавшими топливными сборками будет производиться в условиях высокого уровня радиоактивного загрязнения.

По оценкам специалистов, приостановление строительства ХОЯТ-2 автоматически переносит срок начала основного этапа работ по выводу Чернобыльской АЭС из эксплуатации и существенно увеличивает затраты на содержание остановленных ядерных реакторов, что ежегодно составляет около 240 млн грн. По расчетам экспертов консорциума «Framatom-ANP», исправление недостатков влечет за собой увеличение срока реализации проекта на три-четыре года и повышение стоимости работ на 71 млн евро. Запоздывание в выполнении графика становится наиболее угрожающим на тех его этапах, когда плата за сверхурочную работу максимальна, – таков «закон сверхурочных» по Бойлю.

Приостановление строительства ХОЯТ-2 автоматически отодвигает сроки строительства новой защитной оболочки над объектом «Укрытие» и всех работ по снятию с эксплуатации энергоблоков Чернобыльской АЭС, поскольку без функционирования хра-

нилища невозможна выгрузка ядерного топлива, которое находится в реакторах станции.

Таким образом, приостановление строительства хранилища отработавшего ядерного топлива ХОЯТ-2 задерживает решение экологических проблем Чернобыльского региона и выполнение обязательств Украины по международным соглашениям.

Имеются и другие факты недобросовестного выполнения консорциумом «Framatom-ANP» своих международных контрактов. Например, причинами инцидента на втором энергоблоке венгерской АЭС «Пакш», который имел место в конце апреля 2003 г., являются недостатки системы промывки тепловыделяющих сборок. Ошибки специалистов компании «Framatom», являющейся разработчиком и поставщиком оснащения для промывки, во время проведения соответствующих работ привели к радиоактивному выбросу и облучению персонала АЭС. Комиссия по расследованию причин инцидента, в состав которой входили представители правительственных, инженерных и научных организаций Венгрии и России, пришла к выводу, что полную ответственность за него должна нести компания «Framatom-ANP». По результатам расследования венгерское правительство запретило компании «Framatom-ANP» проводить соответствующие работы на атомной электростанции, а также подало иск в суд на компанию в связи с тем, что ее действия нанесли стране значительные экономические убытки.

Заказчик в лице Чернобыльской АЭС предложил компании «Framatom» следующую схему завершения реализации проекта: на первом этапе выполняются все работы по достройке объекта, связанные с разделкой и хранением в ХОЯТ-2 только

герметичных топливных сборок. На втором этапе решаются вопросы приема, подготовки и отправки на хранение негерметичного топлива. За время перевозки на захоронение герметичного топлива специалисты компании «Framatom» должны разработать концептуальное решение и проект модернизации ХОЯТ-2 с целью принятия на хранение негерметичного топлива. После утверждения проекта модернизации «Framatom», соответственно, выполняет все работы по модернизации объекта.

В настоящее время строительно-монтажные работы выполнены на 95 % проектного объема; поставка оборудования – на 70 % запланированного по контракту объема поставок, монтаж оборудования – на 40 %.

Осуществлена заделка трещин бетонных модулей хранилища, обнаруженных на этапе строительства хранилища.

Отработавшее ядерное топливо находится в приреакторных бассейнах выдержки первого–третьего энергоблоков, в реакторах первого и третьего энергоблоков, а также ХОЯТ-1, в количестве 21 284 топливных сборок, из них:

- на 1-м энергоблоке – 2100 топливных сборок (812 – в реакторе, 1288 – в бассейнах выдержки);

- на 2-м энергоблоке – 1057 топливных сборок в бассейнах выдержки;

- на 3-м энергоблоке – 2524 топливных сборки (1563 – в реакторе, 961 – в бассейнах выдержки);

- в хранилище мокрого типа ХОЯТ-1 – 15 603 топливных сборки.

Процесс обращения с отработавшим ядерным топливом до выгрузки его в ХОЯТ-2 определяется действующими регламентами эксплуатации энергоблоков на этапе прекращения эксплуатации. Программы прекращения эксплуатации энергоблоков

устанавливают требования к освобождению энергоблоков от ядерного топлива с указанием:

- графика освобождения энергоблоков от ядерного топлива;

- средней интенсивности освобождения с учетом подготовительных, технологических и транспортных операций;

- начала транспортировки ядерного топлива с вводом в эксплуатацию ХОЯТ-2;

- ожидаемой коллективной дозы при подготовительных, технологических и транспортных операциях с ядерным топливом, исходя из опыта эксплуатации.

На площадке станции обеспечиваются условия безопасного хранения отработавшего ядерного топлива в бассейнах выдержки центральных залов, в ХОЯТ-1 и реакторных установках блоков № 1, № 3 с обязательным осуществлением необходимого контроля, предусмотренного регламентами и инструкциями. Проводится γ -спектрометрический контроль состояния оболочек топливных элементов, находящихся в реакторах энергоблоков и приреакторных бассейнах выдержки.

Состояние герметичности пеналов с отработавшим ядерным топливом в ХОЯТ-1 контролируется по значениям удельной активности ^{137}Cs в воде каждого бассейна выдержки.

Для поддержания в работоспособном состоянии оборудования, участвующего в обращении с отработавшим ядерным топливом, выполняются техническое обслуживание и ремонт с периодичностью, предусмотренной регламентами и инструкциями по техническому обслуживанию и ремонту транспортно-технологического и тепло-механического оборудования.

Непревышение величины эффективного коэффициента размножения 0,95 в хра-

нилищах отработавшего ядерного топлива при нормальной эксплуатации и проектных авариях достигается за счет:

- ограничения шага расположения пеналов с топливом;

- контроля за расположением топливных сборок;

- контроля за наличием, состоянием и составом охлаждающей среды;

- контроля технологических параметров комплекса системы хранения и обращения с ядерным топливом.

Приреакторные бассейны выдержки отработавшего топлива на энергоблоках Чернобыльской АЭС и бассейны выдержки ХОЯТ-1 оборудованы необходимыми технологическими системами для обеспечения безопасной эксплуатации.

Обеспечением физической защиты ядерных материалов и ядерных установок занимается отдел режима физической защиты, осуществляющий свои функции на основании законов Украины:

- «Об использовании ядерной энергии и радиационной безопасности»;

- «Об обращении с радиоактивными отходами»;

- «О физической защите ядерных установок, ядерных материалов, радиоактивных отходов, других источников ионизирующего излучения».

Соблюдение гарантий сохранности ядерных материалов на АЭС определяется «Положением о государственной системе учета и контроля ядерных материалов» и «Правилами ведения учета и контроля ядерных материалов на установке». За последнее время проведено четыре инспекции и несколько технических визитов специалистов МАГАТЭ. Отклонений от установленных процедур не выявлено. Введена в эксплуатацию система наблюдения МАГАТЭ.

5.6. ОБРАЩЕНИЕ С РАДИОАКТИВНЫМИ ОТХОДАМИ

При выводе реакторных установок из эксплуатации возникают специфические проблемы, характерные для объектов, использующих ядерную технологию. Это, прежде всего, радиоактивное загрязнение продуктами деления и активированными продуктами коррозии части оборудования, боксов и помещений, а также наведенная активность конструкционных и защитных материалов. При демонтаже реакторных установок образуется большое количество радиоактивных и нерадиоактивных отходов. Оценки показывают, что при демонтаже энергоблока АЭС с реактором мощностью 1000 МВт отходы в виде бетона составят примерно 100 тыс. т, в виде стали – 10 тыс. т. Более 90 % бетона и около 50 % металлических конструкций могут быть утилизированы. К сожалению, эти оценки невозможно применить к Чернобыльской АЭС, оборудование и территория которой загрязнены радиоактивными веществами в результате аварии.

Конечной целью обращения с РАО является организация работ таким образом, чтобы обеспечить защиту здоровья человека и окружающей среды как в настоящем, так и в будущем.

Металлический лом низкой удельной активности подвергают дезактивации или плавлению. Последний процесс приводит к существенному снижению объема металлических отходов по сравнению с другими методами дезактивации. При плавлении происходит частичная очистка лома за счет перехода радионуклидов из расплава в шлаки; в результате часть этих отходов может перейти в категорию низкоактивных. В зависимости от конечной удельной

активности продукты плавления лома можно использовать для изготовления контейнеров и защитного оборудования для предприятий атомной промышленности. Это позволит осуществить программу по выводу из эксплуатации ядерных установок за более короткий срок, при более низких затратах и пониженном риске для здоровья и безопасности персонала, населения и окружающей среды. Исходя из наличия в зоне отчуждения Чернобыльской АЭС значительного количества металлического лома, загрязненного радиоактивными веществами, а также предстоящих в будущем работ по демонтажу оборудования энергоблоков и преобразованию объекта «Укрытие» в экологически безопасную систему, представляется рациональным строительство установки по плавлению металла в районе Чернобыльской АЭС.

Все отходы, как жидкие, так и твердые, образовавшиеся в процессе эксплуатации блоков Чернобыльской атомной станции, хранятся на площадке без обработки в хранилищах и резервуарах, которые не отвечают требованиям безопасности для долгосрочного хранения.

В настоящее время ведется строительство установок по обращению с РАО и хранилищ. Вполне реально расширить это направление деятельности с целью создания Национального центра по обращению с РАО для всех атомных станций Украины. Подобные центры действуют в Бельгии, Германии, Франции и Швеции.

Обращение с РАО на этапе снятия с эксплуатации должно соответствовать требованиям, принятым для нормальной эксплуатации энергоблока.

К началу проведения работ по снятию с эксплуатации блока необходимо ввести в строй мощности, достаточные для перера-

ботки всех РАО, предусмотренных проектом снятия с эксплуатации.

Для нерадиоактивных промышленных твердых отходов целесообразно предусматривать специальную площадку в пределах санитарно-защитной зоны атомной электрической станции.

В рамках мероприятий по подготовке безопасного закрытия Чернобыльской АЭС, финансируемых Комиссией европейских сообществ по программе TACIS, выполняется проект по *строительству завода по переработке твердых РАО*, согласно которому предусматривается возведение следующих объектов:

установки по извлечению твердых РАО из хранилищ, эксплуатировавшихся в период работы Чернобыльской АЭС;

завода по сортировке и переработке твердых отходов;

приповерхностного хранилища для низко- и среднеактивных отходов.

Установка по извлечению твердых РАО предназначена для удаления отходов из хранилища твердых отходов, частичного демонтажа оборудования и элементов энергоблоков при подготовке к консервации, а также фрагментов длинномерных и крупногабаритных предметов, квалифицированных как радиоактивные отходы.

Завод по сортировке и переработке твердых РАО (измельчение, уплотнение, сжигание, упаковка) предназначен для сортировки и переработки извлеченных из хранилищ отходов и отходов, образовавшихся в процессе выполнения работ по снятию с эксплуатации.

Специально оборудованное приповерхностное хранилище вместимостью 55 000 м³ предназначено для захоронения кондиционированных твердых короткоживущих отходов низкой активности, получаемых

после переработки твердых РАО и отверждения жидких.

Подрядчиком работ по выполнению проекта «под ключ» является немецкая фирма «RWE NUKEM GmbH». Стоимость контракта составляет 47 722 000 евро. Срок реализации проекта – июль 2006 г. Проект был разработан подрядчиком, прошел государственную экспертизу и утвержден в конце 2003 г. Разработка рабочей документации выполнена на 95 % общего объема проектных работ.

В настоящее время завершен монтаж бетонного завода производительностью 80 м³/сут и проведены пусконаладочные работы; идут работы выше нулевого цикла по армированию и заливке бетона в полы и стены здания.

Долгоживущие отходы низкой активности и высокоактивные отходы, поступающие на комплекс по обращению с отходами, будут упакованы в двухсотлитровые бочки и установлены в существующие и реконструированные ячейки здания хранилища жидких и твердых РАО.

Низко- и среднеактивные твердые РАО, образовавшиеся за период нормальной эксплуатации энергоблоков, а также те, которые образуются сейчас на этапе прекращения эксплуатации, без сортировки отправляются на пункт захоронения отходов «Буряковка», расположенный в зоне отчуждения Чернобыльской АЭС. Высокоактивные отходы по существующей схеме временно отправляются в существующие ячейки здания хранилища твердых отходов.

Основное хранилище твердых отходов является наземной, экранированной бетонной структурой, которая подразделяется на три отсека в соответствии с тремя категориями отходов. Вместимость трех отсеков

для различных групп отходов составляет 1087 м³, 1005 м³ и 1884 м³ соответственно. При заполнении отсеков сортировка твердых отходов не проводилась, и отходы размещены навалом без упаковок.

Для уменьшения количества твердых РАО на площадке станции имеются установки по дезактивации с использованием химического, парозежкторного, электрохимического, водоструйного, ультразвукового, механического методов.

В процессе реализации этапов снятия с эксплуатации Чернобыльской АЭС и преобразования объекта «Укрытие» в экологически безопасную систему до создания собственных мощностей по обращению с отходами предполагается образование РАО всех типов активности в таких объемах: около 26 000 м³ твердых и 6000 м³ жидких. Предположительными источниками образования радиоактивных отходов при этом являются: отходы, образующиеся при демонтажных работах; отходы, образующиеся при строительно-монтажных работах; отработанные спецодежда и средства индивидуальной защиты; отработанные фильтры спецвентиляции.

Предполагается такая схема обращения с накопленными и образующимися РАО:

- минимизация РАО путем дезактивации;
- переработка образующихся РАО на специальных установках;

- сортировка, прессование и сжигание поступивших отходов в зависимости от их физического состояния;

- цементирование переработанных РАО в контейнерах для захоронения;

- отправка зацементированных твердых РАО в хранилище на площадке «Вектор»;

- временное хранение долгоживущих и высокоактивных отходов в ячейках ХЖТО;

временное хранение демонтируемых технологических каналов и извлекаемых высокоактивных отходов в бассейнах выдержки или в других сооружениях;

временное хранение загрязненного металла перед отправкой на переработку на специальной площадке;

захоронение долгоживущих и высокоактивных отходов во вновь строящихся хранилищах зоны отчуждения.

Накопленные жидкие РАО должны быть переработаны на строящемся заводе по переработке жидких РАО. Образующиеся в результате переработки зацементированные отходы будут захоронены в хранилище, которое строится в рамках проекта промышленного комплекса по обращению с твердыми РАО.

Возникающие в процессе этапа прекращения эксплуатации жидкие радиоактивные отходы поступают в емкости существующего хранилища жидких отходов Чернобыльской АЭС и будут переработаны вместе с накопленными.

Источниками образования ожидаемых жидких РАО являются:

отработанные растворы дезактивации оборудования;

растворы дезактивации помещений и строительных конструкций;

воды санпропускников и саншлюзов;

отработанные ионообменные материалы;

воды дезактивации спецодежды и дополнительных средств индивидуальной защиты;

опорожнения и протечки технологического оборудования;

проведение отмылок после регенерации ионообменных смол установок очистки;

атмосферные осадки, поступающие сквозь неплотности строительных конструкций в спецканализацию;

стоки пробоотборов, поступающие в спецканализацию;

воды объекта «Укрытие».

На территории Чернобыльской АЭС имеется два участка для хранения жидких отходов: ХЖО и ХЖТО. В хранилище жидких отходов (ХЖО) расположены основные емкости для хранения жидких РАО с установкой для обработки воды и жидких стоков; полный объем их составляет 25 000 м³. Меньшего размера емкости для хранения жидкостей расположены в ХЖТО с объемом хранения 12 000 м³. Общий объем жидких РАО составляет 19 798,66 м³ суммарной активностью 358,96 ТБк.

На территории ХЖО находятся пять емкостей из нержавеющей стали объемом 5000 м³ каждая. Они частично размещены под землей и окружены слоем бетона. Две из таких емкостей предназначены для концентратов испарителей, одна служит для ионообменной смолы, две — для материала смывки с поверхностей фильтров. Хранилища для концентратов испарителей практически заполнены, емкость для ионообменной смолы — примерно наполовину, а емкость для материала смывки с поверхностей фильтров — меньше, чем наполовину. Все имеющиеся жидкие РАО по объемной активности относятся к низко- и среднеактивным, причем большая часть из них представляет собой среднеактивные. Проверка существующих характеристик жидких РАО будет проводиться перед отправлением их на переработку. Жидкие РАО делятся на три вида:

ионообменные смолы;

пульпа фильтроперлита;

кубовый остаток.

В ХЖТО имеется двенадцать емкостей для хранения жидкости по 1000 м³ каждая. В них хранятся такие же отходы, как и в

основном хранилище жидких радиоактивных отходов. Отдельный трубопровод соединяет емкости ХЖО с ХЖТО. Переработке подлежат отходы, хранящиеся в пяти баках по 5000 м³ и девяти баках по 1000 м³. В оставшихся баках содержится низкоактивная трапная вода, перерабатываемая существующими на Чернобыльской АЭС установками по упариванию жидких РАО.

Предусматриваются следующие основные положения схемы обращения с накопленными и образующимися жидкими РАО:

- приемка образующихся радиоактивных сред в существующие емкости ХЖТО;

- переработка всех накопленных и образующихся радиоактивных сред на существующих или вновь строящихся, вместо исчерпавших свой ресурс, испарительных установках Чернобыльской АЭС;

- промежуточное хранение кубовых остатков, образующихся после упаривания, в существующих емкостях ХЖТО;

- переработка накопленных и вновь образующихся жидких РАО на заводе по переработке жидких РАО;

- отправка зацементированных жидких РАО в хранилище на площадке «Вектор».

Для переработки жидких РАО необходим завод по цементированию средне- и низкоактивных жидких РАО, накопленных на Чернобыльской АЭС с момента начала ее эксплуатации, со сроком службы 20 лет и производительностью 2500 м³/год. Его проект включает в себя подготовку площад-

ки, разработку проектной документации, строительство, поставку, монтаж и испытания оборудования, разработку документации и обучение персонала.

Завод должен перерабатывать как накопленные во время эксплуатации жидкие отходы, так и образующиеся при работах по снятию Чернобыльской АЭС с эксплуатации, фиксировать или связывать кубовые остатки доупаривателя, ионообменные смолы, перлиты в цементной матрице для последующего захоронения в качестве твердых короткоживущих низко- и среднеактивных отходов. Отработанные масла и органические растворители будут не перерабатываться на этом заводе, а отделяться от водянистых отходов и временно храниться с последующей транспортировкой на установку сжигания.

Контракт на строительство завода заключен с международным консорциумом во главе с фирмой «Belgatom». Начальная стоимость контракта составляла 17 400 000 евро. В ходе реализации проекта принято шесть дополнительных соглашений, и в настоящее время стоимость завода оценивается в 25 700 005 евро.

На сегодня выполнены строительные работы и ведутся поставка, монтаж и наладка основного оборудования, установки по извлечению отходов из емкостей станции, систем электроснабжения, связи, системы радиационного контроля, разработка эксплуатационной документации.

Глава 6. ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ОБЪЕКТА «УКРЫТИЕ» В ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНУЮ СИСТЕМУ

Чтобы оправдаться в собственных глазах, мы нередко убеждаем себя, что не в силах достичь цели; на самом же деле мы не бессильны, а безвольны.

Ф. де ЛАРОШФУКО

6.1. ФАКТОРЫ ОПАСНОСТИ И СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ОБЪЕКТА

На протяжении длительного времени объект «Укрытие», оставаясь в целом надежным сооружением, тем не менее продолжает вызывать озабоченность специалистов и общественности как источник потенциальной опасности. В частности, кровля этого сооружения имеет многочисленные неплотности, что приводит к нарушению герметичности и к проникновению в объект большого количества дождевой воды. В результате этого внутри объекта существенно возрастает влажность, что вызывает коррозию несущих металлических конструкций. Кроме того, ряд монолитных бетонных конструкций, разрушенных или поврежденных взрывом реактора, являются неустойчивыми, а возможное их ослабление из-за дополнительных повреждений или внешних воздействий может привести к обрушению кровли или к обвалу строительных конструкций.

По различным оценкам можно допустить развитие нескольких потенциально опасных сценариев. Среди них можно назвать образование критической массы в результате изменения конфигурации расплавленного ядерного топлива и просачивания воды через кровлю; повторное образование облака радиоактивной пыли из-за обвала строительных конструкций; возможную длительную миграцию радионук-

лидов в грунтовые воды. Первые два сценария угрожают выходом радионуклидов в атмосферу с радиоактивным загрязнением близлежащей к Чернобыльской АЭС территории. При этом серьезные радиационные последствия на значительных расстояниях не прогнозируются.

Процесс выщелачивания радионуклидов из топливной массы за счет проникновения воды в объект «Укрытие» и их дальнейшей миграции в грунтовые воды будет протекать очень медленно. Оценки показывают, что потребуется от 45 до 90 лет для того, чтобы отдельные радионуклиды, такие как ^{90}Sr , попали через грунтовые воды в водосборный бассейн р. Припяти. Ожидаемые радиационные последствия такого явления в полной мере не изучены, поэтому необходимо проводить постоянный мониторинг миграции радионуклидов в грунтовые воды.

Сооружение объекта «Укрытие» создало барьеры на пути распространения радионуклидов и позволило в течение всех послеварийных лет эксплуатировать энергоблоки Чернобыльской АЭС с дозами облучения эксплуатационного персонала, не превышающими установленных правилами и нормами по безопасности. Но объект, возведенный в условиях сложной радиационной обстановки, представляет значительную опасность для окружающей природной среды, требует постоянного контроля и применения корректирующих меропри-

ятий при возможных отклонениях параметров безопасности.

Имеются, как минимум, две точки зрения на объект «Укрытие», причем обе с успехом эксплуатируются одними и теми же людьми. Одна из них заключается в положительном представлении результатов: системы контроля у нас хорошие, персонал – замечательный, ядерной опасности объекта не существует, вентиляционная труба и балки укреплены надежно, средства международной помощи осваиваются эффективно. Подобные выводы озвучиваются в случае достижения успеха по реализации достаточно небольших проектов и в период хорошего, стабильного финансирования. В случае же снижения объемов финансирования, а также при получении отрицательных или непонятных результатов начинает превалировать другая точка зрения: объект «Укрытие» не полностью изучен, ядерная опасность существует, в любой момент может произойти ядерный взрыв, качественный контроль отсутствует, строительные конструкции ненадежны, топливо превращается в пыль, грамотных специалистов не хватает, правительственные чиновники ничего не делают, а средства международной технической помощи расходуются неэффективно. Истина, по всей видимости, как всегда находится посередине.

Обрушение строительных конструкций объекта «Укрытие» – одно из основных возможных исходных событий, реализация которого представляет значительную потенциальную опасность для обслуживающего персонала, населения и окружающей среды. Поэтому в перечень актуальных работ, которые выполнялись на протяжении всего срока эксплуатации объекта, входили работы по пересмотру и дополнитель-

ному обоснованию критериев и методов решения задач эксплуатации и стабилизации объекта «Укрытие»:

- определение уровня расчетных нагрузок по стабилизации объекта с учетом конечного периода его эксплуатации от воздействий снега, ветра, температуры, землетрясений и др.;

- обоснование критериев надежности несущих конструкций объекта;

- расчет необходимого уровня запасов, складываемых при проектировании, для компенсации влияния радиационных условий на качество строительно-монтажных работ;

- разработка числовой модели для исследования напряженно-деформированного состояния объекта «Укрытие» с учетом возможных его преобразований при действии эксплуатационных и экстремальных нагрузок;

- проведение анализа критических зон строительных конструкций и выдача предложения по техническим решениям и критериям их стабилизации;

- обоснование рационального комплекса стабилизационных мероприятий с учетом возможности последующей разработки и контроля состояния объекта;

- выбор технологии строительно-монтажных работ при стабилизации и оценка их эффективности.

В рамках программы работ по исследованию надежности и долговечности ответственных конструкций и грунтов основания объекта «Укрытие» были выделены следующие основные направления:

- первичный анализ и текущее усиление конструкций и основания объекта;

- полная компьютерная проектно-исследовательская база данных о конструкциях и фундаментах объекта;

динамические характеристики внутренних и внешних условий и воздействий, которые определяют степень безопасности объекта;

критерии оценки необходимой и достаточной надежности и долговечности объекта на различных стадиях его эксплуатации;

комбинированная числовая, аналитическая, экспериментальная и научно-исследовательская методика и программа комплексных научно-исследовательских, проектно-изыскательских и опытно-конструкторских работ на объекте;

числовые модели и программно-технический комплекс для оперативного анализа и прогнозирования поведения объекта в условиях эксплуатации и экстремальных воздействий;

комплексная система контроля состояния конструкций и грунтов основания.

Уровень безопасности объекта «Укрытие» в большой степени зависит от готовности технических систем контроля и управления состоянием объекта, а персонала – к эффективным действиям в аварийных ситуациях. Специфика работ на «Укрытии» состоит в том, что после запроектной аварии объект до сих пор не переведен в контролируемое и управляемое состояние. Внутри него есть недоступные необследованные места, в которых может находиться ядерное топливо. Разрушенные строительные конструкции находятся в аварийном состоянии. Поэтому весь текущий процесс эксплуатации объекта «Укрытие» представляет собой не нормальную эксплуатацию регламентного объекта, а работы по обследованию аварийного объекта, контролю и управлению его состоянием.

В случае возникновения неблагоприятных событий персонал объекта «Укрытие» должен оперативно воздействовать на со-

стояние объекта с целью предотвращения ускоренного развития последствий аварии либо уменьшить их негативное влияние на сотрудников станции, зону отчуждения, население и окружающую природную среду. Для координации и обеспечения эффективности действий эксплуатационного персонала объекта «Укрытие» разработаны специальные инструкции, систематически проводятся противоаварийные и противопожарные тренировки.

Целями управления безопасностью объекта «Укрытие» являются: контроль состояния ядерных материалов; контроль эффективности удержания радиоактивных продуктов в установленных границах и количествах; принятие мер, необходимых для обеспечения требуемого уровня эффективности такого удержания в условиях текущей эксплуатации и в условиях аварий.

Стабильные уровни контролируемых параметров состояния топливосодержащих масс – показатель того, что в сложившемся состоянии эти массы являются подкритическими. Однако в настоящее время ядерная безопасность объекта оценивается по результатам только локальных измерений в отдельных точках контроля, а экстраполяция этих результатов на те части объекта, где отсутствуют точки наблюдения, или невозможна, или затруднена. Имеющаяся информация о распределении ядерного топлива по помещениям не позволяет с приемлемой точностью дать оценку его количества для обоснованного прогноза ядерной безопасности.

Негерметичность внешней оболочки объекта «Укрытие» обусловлена конструктивными зазорами между строительными элементами, которые были неизбежны при дистанционных методах строительства, а также технологическими проемами и лю-

ками для контроля и обслуживания объекта. Но при этом объект «Укрытие» не оказывает заметного влияния на общее радиоактивное загрязнение окружающей воздушной среды, которое, главным образом, определяется поверхностным загрязнением прилегающей территории.

Основная проблема заключается в том, как защитить сам объект «Укрытие» от атмосферных воздействий, разрушающих его конструкции, оборудование, системы контроля и создающих угрозу водной миграции радионуклидов за пределы объекта. Работы по герметизации неплотностей кровли начались еще осенью 1992 г. Закрыто около 2000 м² стыков и швов кровли. Для предупреждения проникновения атмосферных осадков в каскадную стену смонтировано 280 т защитных конструкций. Выполнена окраска кровли и фасадов объекта общей площадью 33 тыс. м² для защиты металлических конструкций объекта от воздействия окружающей среды.

Попадающая в объект «Укрытие» вода на своем пути с верхних отметок на нижние постепенно разрушает строительные конструкции, размывает топливосодержащие массы, уносит с собой частицы топлива и растворимые формы радионуклидов. Суммарная активность воды по всем γ -излучающим радионуклидам лежит в пределах от микрокюри до двух десятков милликюри на литр. Основной компонент активности — ¹³⁷Cs.

В результате подтопления территории фундаментно-подвальная часть частично или полностью оказалась заполнена водой. На нижних отметках находится порядка 2500 м³ воды активностью от $2,7 \cdot 10^{-7}$ до $1,9 \cdot 10^{-6}$ Ки/л. Утечка ее за пределы объекта маловероятна, так как она скопилась ниже уровня грунтовых вод.

Активную помощь по выполнению первоочередных работ на объекте «Укрытие» оказывают Соединенные Штаты Америки. Благодаря финансовой поддержке Департамента энергетики США на двусторонней основе были выполнены работы по таким направлениям: контролю критичности; пылеподавлению; повышению технической безопасности; снижению доз облучения персонала.

Одним из особо важных видов работ, финансируемых правительствами США, Канады и Украины, был ремонт основания и креплений вентиляционной трубы 3-го и 4-го энергоблоков Чернобыльской АЭС, который, по признанию органа ядерного регулирования Украины и международных экспертов, являлся неотложной и необходимой мерой стабилизации, так как разрушение трубы могло привести к повреждению конструкций 3-го энергоблока и объекта «Укрытие».

В настоящее время на объекте «Укрытие» проводятся плановые работы по эксплуатации, техническому обслуживанию и ремонту следующих систем и оборудования:

- влияющих на критичность топливных масс и выбросы радиоактивной пыли;
- спецканализации;
- пожарной защиты;
- электроснабжения;
- связи и охранно-пожарной сигнализации;
- контроля и диагностики;
- переносного оборудования и стационарных систем радиационного контроля;
- вентиляции и отопления;
- канализации, хозяйственно-питьевого водоснабжения, сжатого воздуха;
- скважин радиогидрогеологического мониторинга.

Осуществляется постоянный радиационный контроль в соответствии с регламен-

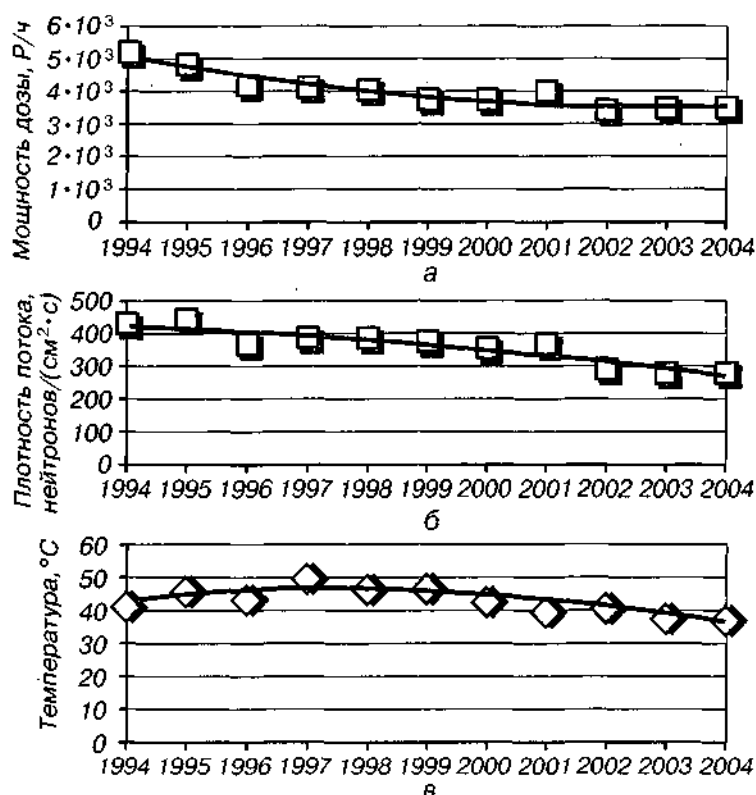


Рис. 6.1. Динамика изменения зарегистрированных максимальных значений:

а – мощности дозы γ -излучения в бассейне выдержки; *б* – плотности потока нейтронов в бассейне выдержки; *в* – температуры на поверхности топливосодержащих масс

том контроля радиационной обстановки и охраны окружающей среды на объекте «Укрытие». Радиационный контроль включает в себя:

- оперативный радиационный контроль при проведении работ;

- радиационный контроль автотранспорта;

- индивидуальный дозиметрический контроль персонала объекта «Укрытие» и подрядных организаций;

- радиационный контроль вывозимых радиоактивных отходов;

- радиационный контроль загрязнений поверхностей помещений, оборудования, инструмента;

- радиационный контроль прилегающей территории и внешних сооружений.

Состояние ядерной безопасности объекта «Укрытие» в настоящее время оценивается с помощью контрольного измерения параметров состояния топливосодержащих

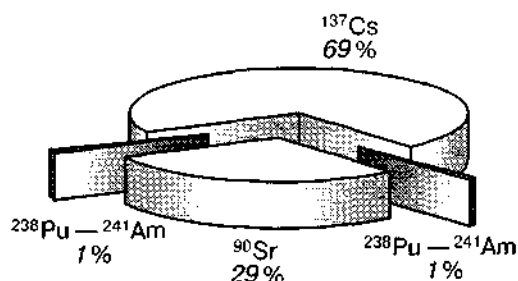


Рис. 6.2. Процентное соотношение радиоизотопов воздуха в помещениях объекта «Укрытие»

масс. Значения мощности дозы γ -излучения и плотности потока нейтронов в местах скопления топливосодержащих масс практически не изменяются на протяжении последних лет.

Динамика изменения значений мощности дозы, плотности потока нейтронов и температуры на поверхности скоплений топливосодержащих масс по годам показана на рис. 6.1.

Результаты регламентных измерений, а также индивидуальные дозовые нагрузки персонала позволяют сделать вывод о достаточной эффективности системы радиационной безопасности, существующей в настоящее время на объекте «Укрытие».

Загрязнение воздуха в помещениях объекта «Укрытие» зависит от свойств аэрозолей, идентичных частицам поверхностного загрязнения помещений, от характера работ, проводящихся в помещении, и атмосферных условий. Соотношение радиоактивных изотопов, находящихся в воздушной среде помещений объекта «Укрытие», показано на рис. 6.2.

Объемные активности аэрозолей во всех помещениях постоянного пребывания персонала объекта «Укрытие» находятся ниже контрольных уровней, установленных для объекта, и составляют по α -аэро-

золям – от $1,6 \cdot 10^{-3}$ до $3,6 \cdot 10^{-2}$ Бк/м³, β -аэрозолям – от $4,2 \cdot 10^{-2}$ до $2,8$ Бк/м³.

Во всех отобранных образцах воздуха, как из помещений постоянного пребывания персонала, так и из необслуживаемых помещений, было зарегистрировано повышение концентраций естественных радиоактивных веществ, дочерних продуктов распада радона и тория, вклад которых в суммарную аэрозольную активность составляет до 96,5 %. Вывод о присутствии в аэрозольной активности дочерних продуктов распада подтверждается динамикой их распада, зафиксированной проведенными радиометрическими и спектрометрическими измерениями.

На протяжении длительного времени сохраняется общая тенденция по стабилизации наблюдаемого уровня загрязнения воздуха в локальной зоне территории расположения объекта «Укрытие». Уровень загрязнения воздуха в локальной зоне зависит от интенсивности вынесения радиоактивных аэрозолей через отверстия на верхних отметках объекта. Уровень загрязнения воздуха в конкретной точке локальной зоны определяется суммой естественных и техногенных факторов:

- интенсивностью вынесения радиоактивных аэрозолей из объекта «Укрытие»;
- интенсивностью и периодичностью выпадения атмосферных осадков;
- метеоусловиями (температурой, влажностью, направлением и скоростью ветра);
- характером и интенсивностью выполняемых в локальной зоне работ.

В периоды выпадения атмосферных осадков даже при высокой интенсивности вынесения радиоактивных аэрозолей уровень загрязнения воздуха относительно низок. И, напротив, в сухую и ветреную погоду даже при низкой интенсивности

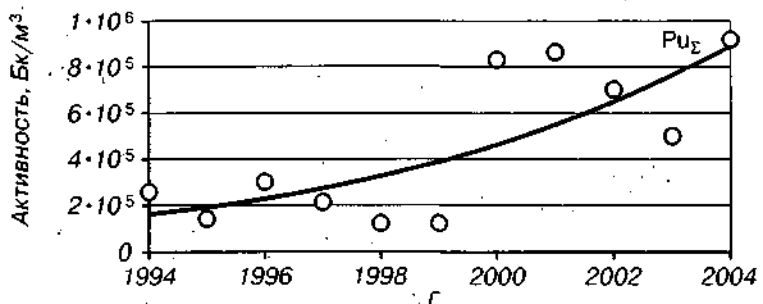
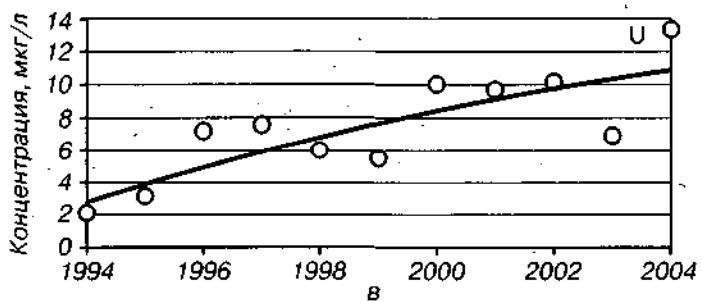
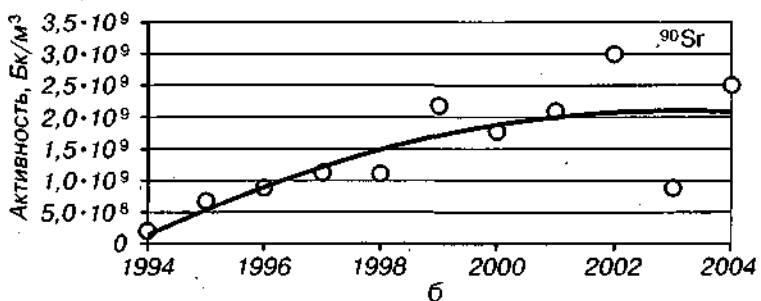
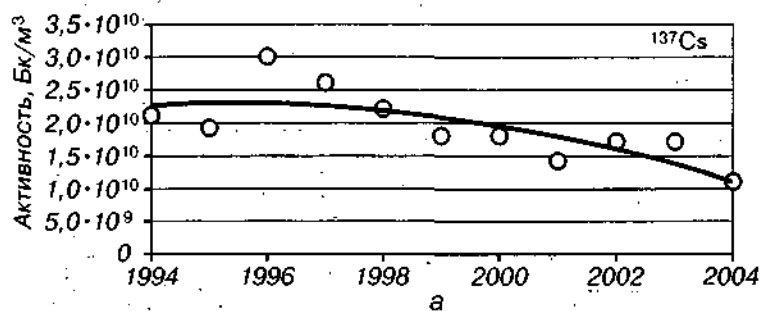


Рис. 6.3. Динамика изменения в блочных водах количества радиоактивных веществ

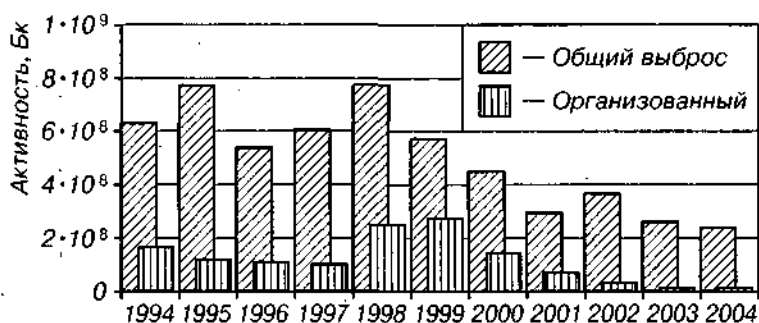


Рис. 6.4. Динамика суммарного и организованного выбросов радиоактивных аэрозолей с объекта «Укрытие»

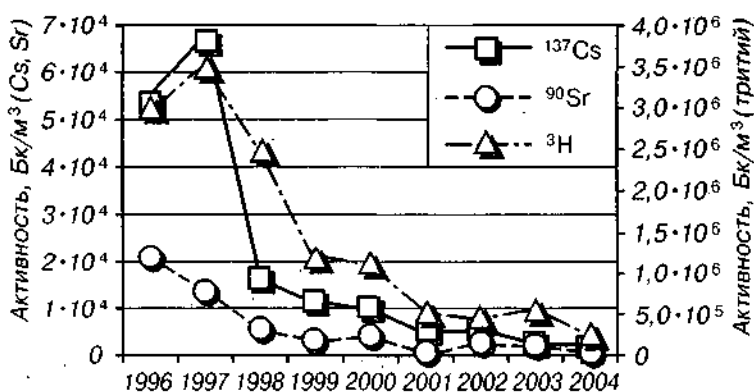


Рис. 6.5. Динамика изменения концентрации радионуклидов в грунтовых водах в локальной зоне объекта «Укрытие»



Рис. 6.6. Динамика образования твердых радиоактивных отходов на объекте «Укрытие»

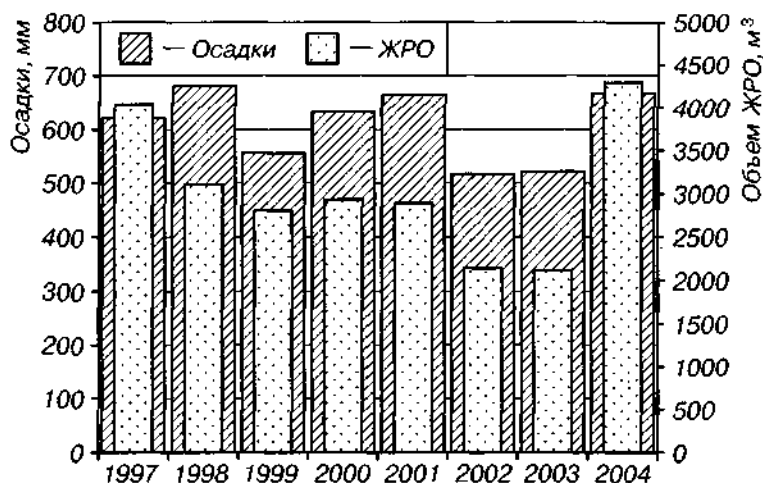


Рис. 6.7. Динамика образования жидких радиоактивных отходов в зависимости от количества атмосферных осадков

вынесения уровень загрязнения воздуха в локальной зоне относительно высок из-за вторичного поднятия пыли с поверхности площадки объекта «Укрытие».

Наблюдается увеличение концентрации радионуклидов и делящихся элементов в блочных водах, обусловленное процессом деструкции лаваобразных топливосодержащих масс с последующим выщелачиванием из них радионуклидов (динамика изменения количества некоторых радиоактивных веществ с течением времени показана на рис. 6.3). Подобные процессы приводят к увеличению миграции радионуклидов по внутренним помещениям объекта «Укрытие».

Сохраняется тенденция к стабилизации средних значений неорганизованного выброса радионуклидов в окружающую среду сквозь различные неплотности в конструкции объекта «Укрытие». Полученная расчетная оценка неорганизованного выброса радиоактивных аэрозолей не превышает контрольного уровня, установленного

для организованного выброса радиоактивных аэрозолей в атмосферу через вентиляционную трубу. Динамика этих выбросов показана на рис. 6.4.

Концентрация радионуклидов в грунтовых водах объекта «Укрытие» имеет стойкую тенденцию к снижению (рис. 6.5).

Источником образования твердых РАО в основном являются работы, проводимые на объекте «Укрытие». Динамика образования этих отходов приведена на рис. 6.6.

Количество жидких РАО в значительной степени обуславливается количеством выпавших атмосферных осадков (рис. 6.7).

Средняя годовая доза облучения персонала Чернобыльской АЭС и подрядных организаций составляет около 0,5 сЗв/чел. Значения средних годовых доз облучения персонала при проведении работ на объекте «Укрытие» показаны на рис. 6.8.

Большинство помещений объекта «Укрытие» находится в условиях высокой влажности, железобетонные конструкции насыщены водой, что ведет к их постепенному

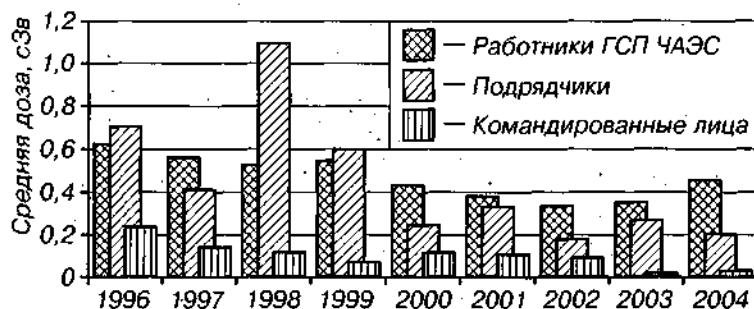


Рис. 6.8. Распределение средней годовой дозы облучения персонала

разрушению. Металлоконструкции усиления во многих помещениях подвержены коррозии, почти на всех металлоконструкциях антикоррозийное защитное покрытие отслаивается. На внешних металлоконструкциях кровли происходит то же. Продолжается процесс разрушения плит перекрытий под воздействием осадков.

Происходит постоянное изменение крена северной каскадной и западной контрфорсной стен объекта «Укрытие», деформация железобетонных конструкций деаэрационной этажерки и других строительных конструкций.

6.2. ВОЗМОЖНЫЕ ПУТИ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ОБЪЕКТА «УКРЫТИЕ»

Построив «Укрытие», человечество только на какое-то время отодвинуло окончательное решение проблемы безопасности Чернобыльской АЭС. Чтобы не перекладывать его на плечи будущего поколения, Украина в течение длительного времени пытается убедить международное сообщество в необходимости объединить свои усилия по преобразованию «Саркофага» в безопасный объект.

Уже в середине 1989 г. появляется концепция долговременного и экологически безопасного захоронения топлива объекта «Укрытие». В ней предлагалось создать над действующим объектом вторую герметичную оболочку, которая позволит полностью изолировать топливные массы внутри объекта от внешней среды и одновременно будет служить надежной конструкцией, под которой можно было бы провести разборку объекта.

Предварительная проработка преобразования объекта проводится в 1990–1991 гг. с рассмотрением вариантов:

«Холм» – полная засыпка объекта грунтом;

«Зеленая лужайка» – полная разборка объекта «Укрытие»;

«Арка» – создание герметичной защитной оболочки над существующим объектом, обеспечивающей длительное хранение топлива, вплоть до окончательной разборки объекта;

«Промежуточное омоноличивание» – последовательная заливка бетоном помещений объекта, а в будущем – разборка.

С 1991 по 1993 гг. группой российских научно-исследовательских и проектных институтов разрабатывается проектно-конст-

рукторская документация и выполняется научное обоснование технических решений по преобразованию объекта «Укрытие» в экологически безопасную систему. За основной реальный вариант признается заключение существующего объекта в бетон – вариант «Монолит». Его главная идея состоит в том, чтобы без предварительного извлечения топлива и топливосодержащих масс, без разборки строительных конструкций поэтапно заполнить бетоном все свободные объемы реакторного блока и машинного зала, превратив его таким образом в монолитно прочное экологически безопасное сооружение.

Концепция преобразования строится на обеспечении долговременного (свыше 500 лет) хранения радиоактивных материалов на месте их образования. Цель выдержки материалов – распад основных дозобразующих радионуклидов до уровня, определяющего более безопасные условия труда при последующих работах. По мнению авторов проекта «Монолит», реализация такого подхода позволяет обеспечить:

- полное исключение радиоактивных выбросов за счет предотвращения обрушения конструкций объекта и переноса радионуклидов в почву и грунтовые воды;

- связывание всех радиоактивных веществ;

- ядерную безопасность в статическом состоянии и при любых внешних воздействиях за счет исключения возможности перемещения топливных масс;

- предотвращение доступа влаги к топливным массам;

- конструктивную надежность в течение пятисот и более лет.

При этом не потребуются конструирование и изготовление дорогостоящих механизмов для извлечения радиоактивных матери-

алов и их захоронения в специальных хранилищах. Стоимость работ по этому проекту оценивается на уровне 200 млн дол. США, дозовые затраты – в 1200 чел. · Зв, продолжительность работ – 4 года, расход бетона для омоноличивания – 200 тыс. м³.

При разработке проекта организации строительства были определены требования к бетонной смеси, последовательность бетонирования, технология укладки бетона и методы производства других строительного-монтажных работ, способы обеспечения ядерной и радиационной безопасности. В проекте представлены предложения по обеспечению надежной и безопасной эксплуатации и технического обслуживания омоноличенного блока, созданию системы радиационно-экологического мониторинга окружающей среды, а также варианты возможного преобразования объекта по истечении проектного срока службы. Для того чтобы бетонная смесь заполнила не только все помещения и объемы, но и самые небольшие пустоты, включая внутренние полости трубопроводов и технологического оборудования, был разработан детальный проект производства работ.

Каждый из вариантов преобразования объекта имел свои преимущества и недостатки. Поэтому в 1992 г. правительство Украины объявляет Международный конкурс проектов и технических решений по преобразованию объекта «Укрытие» в экологически безопасную систему. Многоплановость этой проблемы и сложность достижения конечной цели обусловили ее разделение на две основные задачи:

- преобразование объекта в долговременную экологически безопасную систему;

- создание технологий и осуществление разборки, переработки, транспортировки и захоронения топливосодержащих и ра-

диоактивных материалов, находящихся в объекте.

Из представленных 394 работ, жюри установило, что ни одна из них не отвечает в полной мере условиям конкурса, поэтому первую премию было решено не присуждать. Вторую премию получила французская фирма «Campeon Bernard» за техническое решение «Resolution», предусматривающее сооружение над существующим «Укрытием» герметичной оболочки с последующей разборкой «Укрытия», переработкой и захоронением образовавшихся РАО. В число шести лучших вошли также предложения с участием проектных организаций Украины и проект российских компаний – «Монолит». Авторам этих шести предложений было рекомендовано разработать оптимальный вариант.

Главным результатом конкурса стала выработка концепции преобразования объекта «Укрытие». По итогам проведенного конкурса определялись следующие концептуальные задачи:

- необходимость проведения исследований состояния объекта и мониторинга окружающей среды;

- стабилизация состояния существующего объекта «Укрытие»;

- строительство нового защитного сооружения;

- сооружение приповерхностных хранилищ для РАО;

- создание технологического участка по сортировке и переработке радиоактивных материалов, находящихся в объекте.

В 1993 г., в соответствии с решением жюри Международного конкурса, выдается техническое задание на разработку технико-экономического обоснования по преобразованию объекта «Укрытие» в экологически безопасную систему. Одновременно

разрабатывается перечень первоочередных мероприятий по повышению безопасности эксплуатации объекта «Укрытие», включающий работы, которые позволяют начать реализацию концепции преобразования, принятой на Международном конкурсе.

По тендеру, объявленному Комиссией европейских сообществ, выполняется технико-экономическое обоснование первых стадий преобразования – стабилизации существующего объекта и сооружения «Укрытия-2». Стоимость обоснования составляет 3 млн экю и полностью осваивается объединением европейских фирм «Alliance». В июле 1995 г. работы завершаются с формулированием следующих выводов:

- существующее «Укрытие» спроектировано без учета сейсмических воздействий, вероятность которых в Чернобыльской зоне достаточно высока. Объект «Укрытие» является несейсмоустойчивым;

- конструкция объекта не позволяет использовать его в течение длительного времени и не обеспечивает возможность удаления из него РАО;

- необходимо строительство новой защитной оболочки для осуществления разборки реактора;

- потребуются 10 лет для строительства герметичной защитной оболочки, позволяющей достичь обеспечения первой стадии безопасности. Новое «Укрытие-2» станет заводом для разборки поврежденного реактора;

- проектирование и строительство «Укрытия-2» является сложной и многопрофильной проблемой, которая простирается от начальной стадии очистки площадки до окончательного удаления радиоактивных отходов;

Украина самостоятельно не может профинансировать такой проект.

Можно долго рассуждать о разумности и обоснованности данных выводов, сделанных за 3 млн экю в 1995 г., тем более что все они были давно известны украинским специалистам. Но таким образом европейские специалисты заложили основу своего участия в создании организационной структуры для обеспечения управления проектом и международного финансового фонда для сбора необходимых средств.

В 1995 г. впервые появилась реальная возможность привлечения финансовых средств международной технической помощи для решения глобальной, мировой проблемы преобразования объекта «Укрытие».

6.3. ПЛАН ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ПРЕОБРАЗОВАНИЮ ОБЪЕКТА «УКРЫТИЕ»

Преобразование объекта «Укрытие» в экологически безопасную систему должно включать несколько этапов. Каждый из них требует создания структуры управления, разработки необходимой эксплуатационно-технической документации, проведения комплекса исследований, создания робототехнических средств и комплексов по обращению с РАО, обеспечения совместимости работ по преобразованию с работами по снятию с эксплуатации энергоблоков Чернобыльской АЭС.

Первый этап – стабилизация строительных конструкций объекта, или выполнение комплекса мероприятий, направленных на поддержание его долговременной безопасности.

Второй этап – сооружение новой локализирующей оболочки «Укрытие-2», удовлетворяющей установленным нормам и пра-

вилам безопасности при осуществлении переработки и удаления из объекта радиоактивных материалов.

Третий этап – извлечение и захоронение топливосодержащих и радиоактивных масс в специализированном хранилище, удовлетворяющем международным стандартам по безопасности. Для воплощения этой стратегии необходимо проведение работ по созданию и использованию дистанционной техники для извлечения, сортировки, кондиционирования, контейнеризации, перевозки и хранения РАО.

С целью реализации первых двух этапов в 1997 г. американскими и европейскими специалистами разработан план реализации мероприятий на объекте «Укрытие» – *Shelter Implementation Plan (SIP)*, который определяет мероприятия и объем работ по преобразованию объекта «Укрытие» в экологически безопасную систему. SIP одобрен в 1998 г. главами государств «Большой семерки» и согласован с Президентом Украины.

Основной задачей SIP является создание новой защитной оболочки, которая гарантировала бы безопасность объекта «Укрытие» на 100 лет, и разработка стратегии извлечения топливных и радиоактивных материалов. Для достижения этой цели необходимо:

- снизить вероятность обрушения объекта «Укрытие»;

- смягчить последствия обрушения, если оно произойдет;

- провести мониторинг и повысить ядерную безопасность;

- повысить безопасность труда и усовершенствовать экологическую защиту;

- разработать долгосрочную стратегию преобразования объекта в экологически безопасную систему.

При реализации проекта SIP на первой стадии в помещениях с большими значениями мощности экспозиционной дозы γ -излучения исследовались характеристики топливосодержащих материалов; состояние строительных конструкций, которые являются опорой защитной оболочки; влияние объекта на окружающую среду; состояние топливной пыли, водных масс внутри объекта; содержащих растворенные соли урана и плутония. Такие исследования невозможны без использования дистанционно управляемых механизмов и специальных средств защиты персонала. Их разработка также является составной частью проекта. Дистанционно управляемые механизмы должны предусматриваться в технологиях извлечения и переработки топливосодержащих материалов и РАО.

После получения исходной информации были рассмотрены возможные сценарии развития аварий при выполнении работ с оценкой их последствий, а также разработаны системы контроля состояния ядерной и радиационной безопасности, состояния защитных барьеров на пути распространения излучений, выбросов и сбросов объекта. Результаты показаний детекторов будут заноситься в интегрированную базу данных и на их основании будет строиться прогноз изменения состояния объекта для раннего обнаружения аномальных ситуаций. Поскольку объект является сложной стохастически распределенной системой с неизвестными граничными условиями, осуществить моделирование всех аварийных ситуаций невозможно, для оценки состояния нужно использовать вероятностно-детерминистический подход.

Все строительные конструкции должны быть объединены в единую пространственную систему с гарантированным сроком

стабилизации 10–15 лет. За это время нужно разработать проект нового конфайнмента как основу реализации демонтажа объекта «Укрытие».

Для обеспечения радиологической защиты персонала в рамках проекта создана программа радиационной защиты, предусматривающая обучение персонала, оснащение современными средствами измерений и организацию медицинского контроля.

Разработанные и апробированные в ходе реализации этого проекта технологии в дальнейшем могут быть применимы при проведении работ по снятию АЭС с эксплуатации.

В настоящее время в рамках проекта выполняются работы по строительству необходимых объектов инфраструктуры, производится закупка оборудования и материалов для обеспечения безопасности персонала при выполнении основных объемов работ. Введены в эксплуатацию следующие объекты:

- центр подготовки персонала для реализации программ подготовки персонала и обучения инструкторов;

- дополнительный санитарный шлюз для организации доступа в наиболее загрязненные зоны объекта «Укрытие»;

- реабилитационный центр;

- модернизированная система пылеподавления.

Ведутся работы по строительству объектов малой строительной базы: объединенного административного корпуса, теплого склада, склада баллонов, площадки укрупнения конструкций с краном грузоподъемностью 50 т, подъездной железнодорожной линии, дорог и площадок. Продолжается строительство внешних инженерных коммуникаций и вспомогательных сооружений, санпропускника на 1430 мест.

В проектной документации определены окончательные объемы стабилизации строительных конструкций объекта «Укрытие». После анализа конструктивного взаимодействия между элементами стабилизации установлена достаточность стабилизационных мероприятий с точки зрения надежности строительных конструкций. Сравнение вариантов таких мероприятий учитывало коллективные дозы, трудозатраты и их стоимость, а также затраты на подготовительные работы в зонах выполнения работ, экранирование их и путей доступа к ним. Для каждого решения по зонам стабилизации предусмотрено определение относительных показателей эффективности на основе анализа затрат и пользы.

После разработки и согласования проектов производства работ начаты подготовительные строительные работы по стабилизации непосредственно на площадке объекта «Укрытие». Их завершение планируется в 2006 г.

В рамках проекта SIP предусмотрено создание интегрированной системы контроля состояния объекта «Укрытие», в состав которой входят следующие подсистемы для мониторинга: состояния строительных конструкций; радиационной обстановки внутри объекта «Укрытие» и на его площадке; состояния ядерной безопасности; сейсмичности.

Проводится работа по созданию интегрированной базы данных объекта «Укрытие», которая должна иметь все необходимые документы о его состоянии и о работах, выполнявшихся на протяжении времени существования объекта. По этой тематике разработаны эскизный и концептуальный проекты, утверждена тендерная документация, заключен контракт на выполнение работ по проектированию и вво-

ду в эксплуатацию интегрированной базы данных.

Стратегией преобразования объекта «Укрытие» определено, что при проектировании и строительстве нового безопасного конфайнмента должны быть обеспечены:

- минимально необходимые изолирующие от окружающей среды свойства конфайнмента;

- наличие внутри нового конфайнмента минимально необходимого технологического пространства и оборудования для первичного обращения с радиоактивными материалами и отходами;

- технологическое пространство и соответствующее оборудование для временно-го хранения РАО.

В 2004 г., после проведения общественных слушаний, Кабинет Министров Украины утвердил технико-экономическое обоснование строительства нового конфайнмента в форме *арки*, которая будет монтироваться на монтажной площадке, а затем надвигаться в расчетное положение на объект «Укрытие».

Заключение контракта на сооружение «Укрытия-2» планируется на конец 2006 г.

6.4. УПРАВЛЕНИЕ ПРОЕКТОМ ПО ПРЕОБРАЗОВАНИЮ ОБЪЕКТА «УКРЫТИЕ»

Прошло восемь лет с тех пор, как Верховная Рада Украины ратифицировала соглашение между правительством Украины и Европейским банком реконструкции и развития об условиях функционирования в Украине Чернобыльского фонда «Укрытие», поэтому можно подвести предварительные итоги деятельности по проекту SIP.

Из освоенных финансовых средств основная часть ушла на выпуск обоснований, концепций, программ, а также содержание значительного количества западных специалистов и экспертов. Реальных результатов, к сожалению, мало. Первоначальный график выполнения работ по SIP сорван. Новый график предусматривает задержку окончания проекта на 7 лет. Основными причинами отставания работ от первоначального графика являются сложная процедура проведения закупок и неудовлетворительное управление реализацией проекта.

К началу 2004 г. по проекту SIP выполнено работ на сумму 187,6 млн дол., или 25 % запланированного объема, а без учета затрат на управление – на 106,2 млн дол., или 15 % (содержание группы управления проектом). Бюджет содержания группы управления проектом на 1997–2008 гг. составляет 49,4 млн дол., но уже израсходовано 81,4 млн дол., т. е. на 32 млн дол. больше. В то же время целый ряд важных задач SIP, таких как обращение с водой, топливосодержащими материалами, разработка аварийной системы пылеподавления, с общим бюджетом в 282,4 млн дол. фактически был профинансирован от 5 до 30 %. Таковы неутешительные результаты деятельности по освоению средств международной технической помощи, представленные в справке Счетной палаты Украины в 2004 г. по итогам проверки состояния дел по преобразованию объекта «Укрытие» в экологически безопасную систему. К сожалению, эти данные не стали достоянием широких кругов общественности. Анализ потраченных и имеющихся на счету Чернобыльского фонда финансовых средств позволяет сделать вывод, что оставшихся денег не хватит для завершения проекта, и Украина

в который раз будет вынуждена идти с протянутой рукой на поклон к международному сообществу.

За восемь лет международное инженерное и научное сообщество наконец-то выдало «на-гора» концептуальный проект нового безопасного конфайнмента. При его обсуждении высказано значительное количество замечаний, которые связаны и с повышенными коллективными дозами облучения при реализации проекта, и с недостаточностью проработки технических решений, заложенных в проект, защитных и природоохранных мероприятий. Большинство замечаний и предложений можно устранить на стадии доработки концептуального проекта. Но в отношении ряда мероприятий SIP даже у специалистов в настоящее время нет общего мнения ни об их полезности, ни об их эффективности с точки зрения конечной цели деятельности по преобразованию объекта «Укрытие». Научный спор, диалог специалистов всегда приводят к положительному результату, но в нашем же случае он может быть достигнут с большим трудом, на что есть множество причин, основными из которых являются:

1. Противоречие между необходимостью строительства второй защитной оболочки «Укрытие-2» и провозглашенной правительством Украины окончательной целью по преобразованию объекта «Укрытие»: извлечение топливосодержащих масс и других РАО из объекта и помещение этих отходов в специализированное хранилище, удовлетворяющее современным стандартам по безопасности. Если сейчас Украина тратит большие средства из государственного бюджета на содержание существующего объекта «Укрытие», то после возведения «Укрытия-2» эти затраты возрастут, как минимум, вдвое и при этом

основная задача преобразования не будет решена.

Многие специалисты считают, что строительство объекта «Укрытие-2» является способом переложить ответственность за окончательное решение проблемы на будущие поколения.

2. Зависимость лиц, ответственных за реализацию проекта со стороны Украины, от процедурных требований ЕБРР, что приводит к значительной потере времени и, в конечном счете, к увеличению сроков выполнения проекта. Существуют примеры, когда на проведение тендеров были потрачены годы.

3. Неубедительность выбора в качестве защитной оболочки сооружения «Арка». Авторы концептуального проекта, который является одновременно и технико-экономическим обоснованием, не провели сравнительного анализа альтернативных проектов, что вызывает обоснованные замечания экспертов и специалистов.

4. Исторически сложившееся преклонение перед западными специалистами. Да, на Западе есть хорошие специалисты, но в вопросах ликвидации радиационных аварий, подобных чернобыльской, российские и украинские специалисты, получившие «специальное образование» на нашем отечественном горьком опыте, более квалифицированы и компетентны. Присутствие в проекте множества иностранных экспертов далеко не всегда результативно в отношении выдачи ценных научных и технических рекомендаций своим украинским коллегам. Так, по тем же данным проверки Счетной палаты Украины, в течение года объект «Укрытие» посещали буквально единицы западных консультантов, визиты которых в основном носили экскурсионный характер.

5. Завышенные требования регулирующих органов Украины. Не все предписания, выданные инспекторскими проверками, преследуют цель повышения уровня безопасности, и не всегда в них соблюдается принцип оправданности внесения улучшений. Некоторые специалисты считают, что использование имеющихся в Украине нормативных документов для объекта «Укрытие» ограничено его специфическими особенностями, и поэтому, якобы, существует необходимость в создании для него собственной нормативной базы. Это утверждение в корне не верно. На «Укрытии» должны применяться нормативные документы по безопасности, используемые на объектах атомной энергетики Украины. Действительно, объект не удовлетворяет существующим нормам и правилам безопасности, но это говорит только о том, что нужно не создавать специально для него нормы, а приводить сам объект в соответствие с действующими нормами. Западные эксперты, кстати, всячески поддерживают позицию разработки специальных норм для «Укрытия», что позволяет им при проектировании и планировании работ настаивать на отступлениях от требований нормативных документов Украины и предлагать заведомо устаревшие технологии, не удовлетворяющие нашим стандартам по безопасности.

6. Отсутствие критериев оценки эффективности выполнения работ по проекту, ориентированных на достижение конечного результата.

7. Отсутствие эффективного управления проектом с полным распределением ответственности за реализацию плана SIP. Ключевым является вопрос о том, кто же будет нести ответственность за все, что сегодня происходит с объектом? В соответствии

с заключенным соглашением Государственное специализированное предприятие «Чернобыльская АЭС» (ГСП ЧАЭС) несет одностороннюю ответственность за реализацию SIP и за эксплуатацию объекта «Укрытие» в соответствии с требованиями лицензии. Эта ответственность распространяется на безопасность, техническое руководство, управление проектами, а также финансовые решения. Формально группа управления проектом (ГУП) входит в структуру ГСП ЧАЭС, но фактически в действующей структуре ГУП все ключевые посты, начиная от директора, занимают западные консультанты. Реально директор ГСП ЧАЭС управлять проектом и ГУП не имеет возможности, поскольку всем руководит ЕБПР. Данная причина, по всей видимости, и определяет степень неэффективности управления проектом, поэтому рассмотрим этот вопрос более подробно.

В соответствии с правилами проектного менеджмента любой проект выполняется в несколько этапов. На первом этапе происходит постановка общей цели. Поставленная цель – преобразование объекта «Укрытие» в экологически безопасную систему – является разумной и благородной и, конечно же, полностью поддерживается общественным мнением.

Второй этап – разработка проекта. Подготовка документов по преобразованию осуществлялась западным разработчиком, у которого отсутствовали опыт выполнения подобной работы и достаточный объем правдивой информации об объекте «Укрытие», поэтому вероятность ошибок на данном этапе резко возрастает. Охраняя себя от любой критики, разработчики ограничивали обмен информацией, поэтому в обоснование проекта включена лишь часть

накопленного массива знаний и фактов. Рассчитывать на разумность решения, принятого на основе неполной или неверной информации, по меньшей мере, наивно.

Третий этап – принятие решения о начале реализации проекта. На этом этапе еще сохранялась возможность доработки проекта, но ее призрачность обуславливалась практическим отсутствием эффективной системы научного обоснования, экспертизы, профессионального контроля достоверности проекта, которые позволяли бы выявить неполноту аргументации, ошибки в моделировании отдельных задач и проекта в целом. Проект по преобразованию объекта «Укрытие» был доступен только ограниченному кругу чиновников и специалистов в Украине, а западных специалистов по этому вопросу нет.

Четвертый этап – реализация проекта. На этом этапе дефекты и недоработки, заложенные в проекте, тиражируются в особо крупных размерах. К выполнению работ в соответствии с процедурами ЕБПР на основании тендеров среди западных, как правило, компаний привлекались организации, не имеющие ни соответствующей квалификации, ни практического опыта. Существуют конкретные примеры, когда на выполнение ряда работ значительные средства тратились совершенно напрасно. На практике происходит отклонение проекта от намеченной первоначальной цели, которой, в соответствии с Законом Украины «Про загальні засади подальшої експлуатації і зняття з експлуатації Чорнобильської АЕС та перетворення зруйнованого четвертого енергоблока цієї АЕС на екологічно безпечну систему», является извлечение из объекта «Укрытие» топливосодержащих материалов и других радиоактивных отходов. Становится нормой постоян-

ная смена руководителей и специалистов группы управления проектом, подрядчиков и субподрядчиков как с украинской, так и с западной стороны. Но и эти меры не приводят к улучшению ситуации.

Пятый этап – подведение итогов, в нашем случае пока промежуточных и предварительных. Для демонстрации результатов используется способ подмены целей и создание ложной системы критериев успешности проекта. При таком подходе руководство проектом, а также лица, контролирующие ход выполнения проекта на государственном уровне, в основном занимаются не созданием, а производством показателей, свидетельствующих о достижении псевдоцелей. Ложные критерии дают основание заявлять о новой очередной победе и триумфальном продолжении проекта. Истинные инициаторы проекта, а также наиболее ответственные люди, его осуществляющие, с ужасом наблюдают, во что превратились их здравые идеи и труд.

Постоянно возникает один и тот же навязчивый вопрос: почему Советский Союз в 1986 г., находясь не на пике экономического благополучия, смог за шесть месяцев возвести «Саркофаг» для аварийного реактора в сложных радиационных условиях, а все международное сообщество за шесть лет только приблизилось к созданию концептуального проекта преобразования объекта «Укрытие» в экологически безопасную систему? Может быть, в западных странах разучились выполнять сложные проекты? Может быть, система управления проектами и предполагает такой исход? Но нет, практика показывает, что на восстановление Пентагона, разрушенного в результате террористического акта 11 сентября 2001 г., потребовалось чуть более одного года, и при этом стоимость восстановления

составила сумму, сравнимую со стоимостью проекта SIP. Значит, причины не в них, а в нас. И это мы должны потребовать от международного сообщества изменить правила игры, потому что именно Украина несет всю ответственность за реализацию проекта, и Украина, в первую очередь, заинтересована в успехе реализации проекта. По всей видимости, наступит время вспомнить об ответственности должностных лиц, и тогда не смогут некоторые участники реализации плана SIP как с украинской, так и с западной стороны отчитаться перечислением многих мелких и, в основном, бумажных результатов деятельности как перед западными налогоплательщиками, пополнявшими своими средствами фонд, так и перед налогоплательщиками Украины.

Выход проекта на прогрессивный уровень практически невозможен без смены фундаментальных основ управления проектом, а это, в свою очередь, подразумевает реформирование существующей системы управления. Без изменения системы управления проектом не обойтись, потому что это тот случай, когда рискованная операция является единственным средством предупреждения надвигающегося летального исхода. Вначале необходимо четко сформулировать, что же мы хотим получить от новой структуры управления проектом. И в данном случае красной нитью должна быть обозначена ответственность Украины за реализацию проекта. А если существует ответственность, то для ее реализации должны быть предоставлены соответствующие права.

Задача реконструкции системы чрезвычайно сложна: по мере ослабления власти начинают проявляться и быстро нарастают конфликты, скрываемые или подавляемые ранее. Но на волне преобразований

к управлению проектом могут прийти новые люди, и появится шанс успешно реализовать проект. Но даже в этом случае можно лишь постепенно повышать вероятность верных решений и эффективность действий.

Для этого существует лишь один способ, известный человечеству, – повышать культуру управления, профессиональную культуру, культуру взаимоотношений.

Систему управления проектом необходимо реформировать с целью повышения ответственности и заинтересованности участников в достижении конечного результата преобразования объекта «Укрытие». Существующая на сегодняшний день практика ГУП не обеспечивает такой заинтересованности, а напротив, способствует затягиванию проекта. На первоначальном этапе необходимо четко определить круг вопросов, за которые несет ответственность ГУП в целом и каждый специалист в отдельности. К таким вопросам следует отнести координацию работ в рамках проекта, подготовку тендерной документации, заключение договоров, контроль графика выполнения работ по проекту и контроль расходования финансовых средств. Технические, лицензионные, научные и прикладные вопросы приемки выполненных работ по проекту, контроль качества работ и осуществление надзора за реализацией мероприятий должны относиться к сфере компетенции администрации Чернобыльской атомной станции.

Количество западных специалистов в ГУП нужно свести к минимуму, оставив за ними только функцию контроля расходования финансовых средств по проекту.

С целью улучшения деятельности по реализации проекта SIP и для реорганизации системы управления проектом следу-

ет предоставить руководству Чернобыльской АЭС реальные полномочия и права, соизмеримые с ответственностью за выполнение работ по проекту SIP, возложенной на ГСП ЧАЭС. А руководители ГСП ЧАЭС должны осознать фундаментальный принцип: конечная ответственность за безопасность объекта, на котором применяются ядерные технологии, лежит на эксплуатирующей организации, которой является ГСП ЧАЭС. И эта ответственность не уменьшается в связи с деятельностью, проводимой на объекте «Укрытие» подрядчиками, проектировщиками, поставщиками и строителями. Используя персонал и ресурсы, эксплуатирующая организация обязана проводить анализ деятельности по преобразованию объекта «Укрытие» и, в случае необходимости, предпринимать действия, направленные на устранение возникающих проблем.

В соответствии с этим принципом администрация ГСП ЧАЭС должна проводить политику, направленную на улучшение деятельности для получения конечного результата, и активно отстаивать интересы Украины при реализации этого международного проекта.

Необходимо потребовать от международного сообщества изменить процедуры и правила управления проектом с целью сокращения сроков проведения тендерных процедур, определить перечень организаций, осуществляющих поставки оборудования и оказывающих услуги по проведению проектных, научно-исследовательских и инженерных работ на площадке Чернобыльской АЭС. Перечень этих организаций должен быть официально утвержден руководством проекта и соблюдаться при объявлении соответствующих тендеров на проведение конкретных работ. Частая смена

исполнителей существенно снижает эффективность проекта в целом и не обеспечивает преемственности и надлежащего уровня качества.

С учетом имеющихся и полученных новых знаний следует переработать программу выполнения проекта SIP, пересмотрев ключевые даты и затраты с учетом конечной цели преобразования извлечения и захоронения топливосодержащих масс и других радиоактивных отходов. Эта программа должна четко детализировать все виды работ и их последовательность, иметь график с указанием конкретных лиц, ответственных за выполнение этих работ.

Объект «Укрытие» необходимо рассматривать как свалку радиоактивных отходов, не соответствующую стандартам и нормам по их захоронению. Требуется извлечь эти отходы из объекта и сделать их подконтрольными. Иными словами, разместить их в специально созданном хранилище, соответствующем международным стандартам по безопасности. Именно на этих работах должны быть сосредоточены усилия Украины и международного сообщества. Время, когда первый контейнер с радиоактивными отходами будет удален с территории объекта «Укрытие», станет реальной точкой отсчета по его действительному преобразованию в экологически безопасную систему.

И самое главное – необходимо полностью исключить неоправданное вмешательство ЕБPP и других международных организаций во внутренние проблемы Украины. Доходит до полного абсурда, когда для того, чтобы заменить специалиста ГУП либо изменить структуру управления ГСП ЧАЭС, руководство предприятия должно испрашивать разрешения у ЕБPP.

В то же время представляется важным уменьшить объем государственного регу-

лирования по тем работам, которые не являются обязательными для регулирования и не влияют на вопросы безопасности. Сложилась порочная практика, когда почти вся документация по проекту передается для проведения экспертиз в регулирующие органы Украины. При этом задействуется большое количество организаций и специалистов, которые вынуждены рассматривать и давать экспертную оценку технической документации, не имеющей отношения к проблемам безопасности, что существенно увеличивает финансовые затраты и сроки выполнения проекта. Тем более, имеется позитивный опыт совместной деятельности органов государственного регулирования Украины и организаций научно-технической поддержки при рассмотрении проектной документации по преобразованию объекта «Укрытие» в экологически безопасную систему.

После того, как Государственный комитет ядерного регулирования Украины возглавил координационную регулирующую деятельность по преобразованию объекта «Укрытие», определив ее основные принципы для экспертных организаций всех регулирующих органов Украины на стадии раннего рассмотрения проектной документации, исключено дублирование экспертиз, а также уменьшены сроки рассмотрения и согласования проектов работ на площадке Чернобыльской атомной электростанции.

Складывается впечатление, что только Государственный комитет ядерного регулирования Украины, провозгласив своей стратегической целью усиление контроля выполнения программы преобразования объекта «Укрытие» в экологически безопасную систему, заинтересован в скорейшем выполнении проекта. Остальные же органы государственного управления руко-

водствуются принципом «чем хуже – тем лучше», что дает основания предполагать личную заинтересованность чиновников в бесконечном продолжении процесса. Нельзя допустить проявление волюнтаристских, безграмотных решений в Чернобыле, чтобы не нанести Украине огромного политического, материального и психологического ущерба. Лучший из известных способов борьбы с подобными проявлениями – длительная, кропотливая, настойчивая работа по распространению в широких массах людей знаний. Главным приоритетом любого проекта должно стать участие в нем высокопрофессиональных, культурных, образованных, непосредственно заинтересованных в достижении конечной цели и отстаивающих национальные интересы на всех доступных уровнях специалистов.

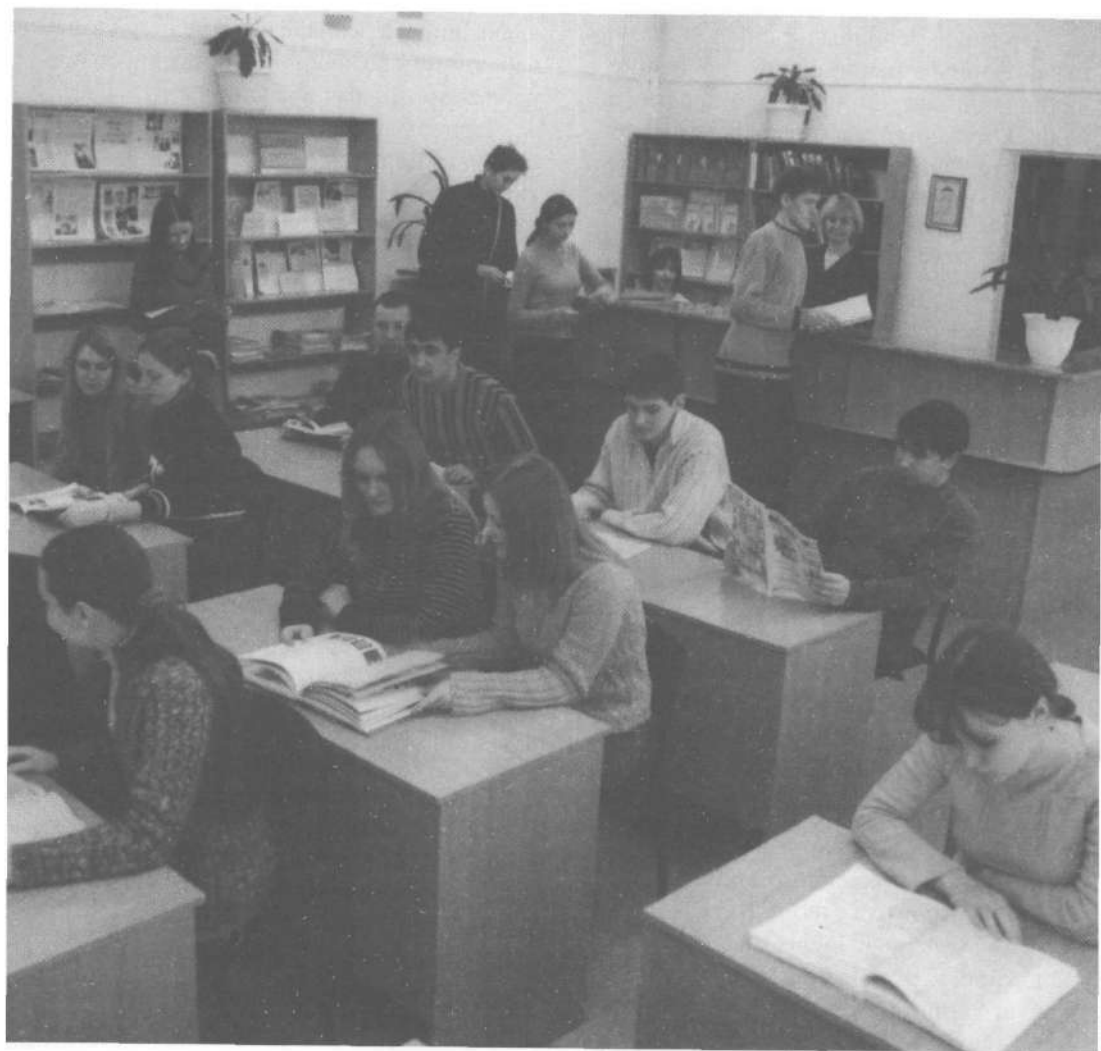
Ликвидации любых техногенных катастроф можно добиться только общими усилиями. К сожалению, интерес международного сообщества к проблемам Чернобыльской АЭС с каждым годом становится все меньше. Этот процесс можно наблюдать и по снижению активности в совместных проектах, и уменьшению размеров финан-

сирования ряда актуальных проектов по проблемам безопасности. После закрытия Чернобыльской АЭС наши коллеги постепенно стали забывать о других задачах, из которых самая главная – привести площадку Чернобыльской АЭС в безопасное состояние, включая не только три энергоблока станции, но и объект «Укрытие». Чем быстрее мы сможем решить их, тем большими темпами сможет развиваться мировая ядерная энергетика.

Несмотря на имеющиеся недоработки концептуального проекта нового безопасного конфайнмента для объекта «Укрытие», данный проект принят к практической реализации. Его необходимо доработать с учетом замечаний, сформулированных специалистами на этапе проведения экспертизы. В любом случае при реализации этого проекта Украина получит не только защитную оболочку, но и укрепленные строительные конструкции, новые системы безопасности, мониторинга, инфраструктуру, которую можно будет использовать при проведении в будущем работ по окончательному преобразованию объекта «Укрытие» в экологически безопасную систему.

Часть III

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ



Глава 7. УРОКИ АВАРИИ

7.1. МЕЖДУНАРОДНЫЕ АСПЕКТЫ

Персонал Чернобыльской АЭС и члены пожарных команд, участвовавшие в ликвидации аварии, проявили профессионализм, мужество, а в отдельных случаях — и героизм. Они стали жертвами профессионального риска, как и множество моряков, шахтеров, спасателей, военных. Сравнивая данные о жертвах военных и политических инцидентов, природных стихийных бедствий, террористических актов с данными о жертвах аварии на Чернобыльской АЭС, можно утверждать, что повышенное внимание общества к чернобыльской аварии объясняется неполной информацией, а иногда и дезинформацией. Человеческие фантазии и страх довольно своеобразны, когда речь идет о явлениях или технологиях, известных лишь поверхностно, а поток сведений о них ограничен. Так произошло и в отношении ядерной энергетики, радиационной безопасности и радиобиологии. Никто, например, не требует запретить пользоваться самолетами, поездами, автомобилями, хотя аварии на транспорте приводят к гибели людей. В то же время аварии на объектах ядерной энергетики вызывают волны антиядерного протеста, моратории на строительство АЭС.

Чтобы ядерная энергетика стала более надежной, необходимо извлекать уроки из каждого инцидента и аварии, совершенствуя оборудование, технологические ре-

Человеческий разум обогащается только в познании реального мира.

М. ЖАКОБ

шения, правила и нормы безопасности, инструкции по эксплуатации, повышая квалификацию персонала и снижая тем самым вероятности возникновения аварии до пренебрежимо малых значений.

Чернобыльская авария заставила пересмотреть вопросы безопасности эксплуатации ядерных реакторов и управления тяжелыми авариями, критерии ликвидации последствий аварии, аварийные процедуры, схемы лечения облученных лиц, методы мониторинга, радиоэкологические процессы, организацию земледелия и сельскохозяйственной деятельности, роль СМИ и т. д.

Однако самый важный урок, видимо, состоял в доказательстве того, что крупная радиационная авария неизменно порождает проблемы, далеко выходящие за границы одного государства: ее последствия могут прямо или косвенно сказаться даже на странах, находящихся на больших расстояниях от места возникновения аварии. Это способствовало расширению и усилению международного сотрудничества по согласованию критериев ликвидации последствий аварии и координации защитных мероприятий.

В результате коллективных усилий стран-участниц МАГАТЭ в сжатые сроки были разработаны и уже в сентябре 1986 г. приняты два важных документа: «Конвенция об оперативном оповещении о ядерной аварии» и «Конвенция о помощи в случае ядерной аварии или радиационной аварий-

ной ситуации», которые заложили прочную основу для объединения усилий многих государств в деле обеспечения безопасных условий работы ядерных установок. После аварии на Чернобыльской АЭС разработан целый ряд документов по вопросам международного сотрудничества и обмена информацией: международные соглашения по раннему оповещению и оказанию помощи в случае радиационной аварии, международная программа аварийных ядерных учений, международная шкала событий на атомных электростанциях и т. п.

Тогда же проведена оценка моделей по миграции радионуклидов из атмосферы пищевыми цепочками, которая показала завышение показателей до десяти раз. Широкий мониторинг радиоактивности всего тела человека с замерами радиоактивного загрязнения земли и пищи позволил уточнить методологию оценки дозы, получаемой людьми в результате облучения по разным каналам. Были усовершенствованы методы и приемы обращения с загрязненными продовольствием, оборудованием и землей.

Проявленная взаимосвязь между метеорологическими аспектами и радиоактивными выпадениями стала основой разработки более реалистических моделей предсказания характера радиоактивных осадков при самых различных погодных условиях. Для повышения точности моделей переноса радиоактивного загрязнения изучаются химико-физические изменения в радиоактивных газах и аэрозолях, перемещающихся в атмосфере.

Усовершенствованные модели дали новые представления о движении радионуклидов в почве и биологической среде, каналах и коэффициентах их передачи, воздействиях атмосферных осадков, влиянии

гор и долин на характер осаждения, механизмах переноса загрязнения на большие расстояния, а также факторах, влияющих на скорость осаждения. Разработаны единые образные методы и стандарты для проведения измерений радионуклидов в пробах окружающей среды.

В процессе лечения больных, получивших высокую дозу облучения, подтверждена важность симптоматических и профилактических медицинских процедур, процедур ухода за больными, в том числе применения антибиотиков, антигрибковых и противовирусных средств, парентерального питания, стерилизации воздуха; получены разочаровывающие результаты трансплантации костного мозга.

Авария привела к расширению исследований в области ядерной безопасности и управления ядерными авариями. На национальном уровне она побудила представителей государственных органов и специалистов в сфере ядерных технологий к радикальному изменению подходов к радиационной защите, пересмотру вопросов чрезвычайных ситуаций в атомной энергетике, заставила многие страны разработать государственные программы в дополнение к уже существующим местным аварийно-диспетчерским планам для отдельных объектов ядерной энергетики и промышленности. В научной и технической сферах целью исследований и новых разработок, прежде всего касающихся ликвидации последствий тяжелых ядерных аварий, было изучение вредных эффектов радиации и лечение последствий облучения, а также интенсификация радиэкологических исследований и программ контроля окружающей среды. Существенные улучшения достигнуты в разработке критериев и методов информирования общественности,

важность которых проявилась с особой силой в ходе чернобыльской аварии и в последующий период.

7.2. НОРМИРОВАНИЕ ОБЛУЧЕНИЯ

Как правило, между действующими нормами радиационной безопасности и пределами облучения человека, превышение которых влечет за собой проявление эффекта облучения в виде заболевания, нельзя поставить знак равенства, т. е. нормы не являются пределами биологической допустимости облучения. Давая гарантию безопасности с большим запасом, нормы отражают экономические и технические возможности государства. Это, прежде всего, требования, которые следует закладывать в проектную документацию, из которых надо исходить при создании системы радиационной безопасности объекта или установки.

Чем ниже нормативы облучения, тем надежнее система радиационной безопасности, тем безопаснее условия труда и жизни людей. По мере развития возможностей государства, повышения его экономического и научно-технического потенциала нормативы будут претерпевать соответствующие изменения.

В случае радиационной аварии критериями оценки ситуации служат не нормы радиационной безопасности для нормальных режимов эксплуатации, а знания в области биологического воздействия ионизирующего излучения на организм человека, и уже исходя из этого разрабатываются конкретные организационные и технические мероприятия по недопущению воздействия, вызывающего острые или отдаленные последствия.

Практически сразу же после аварии на Чернобыльской АЭС Национальный комитет по радиационной защите (НКРЗ) СССР предложил установить общий уровень полученной в течение всей жизни человека дозы, превышение которой приводит к отселению с загрязненных территорий, в 350 мЗв, что в 1,5 раза меньше принятого в европейских странах и рекомендованного Международной комиссией по радиационной защите (МКРЗ) для аварийных ситуаций.

Несмотря на то, что уровень, предложенный НКРЗ, был научно обоснован, согласован и одобрен всеми заинтересованными организациями, он подвергся серьезной критике как весьма завышенный. На фоне сложной политической и социальной ситуации в стране победили популистские взгляды некоторых политических и общественных лидеров того времени, и предложение НКРЗ не прошло. Созданная позже специальная комиссия для разработки новых рекомендаций по уровням доз радиоактивного облучения, санкционирующих вмешательство и оказание помощи лицам, пострадавшим от чернобыльской аварии, руководствовалась уровнями плотности загрязнения территории радионуклидами ^{137}Cs , ^{90}Sr и ^{239}Pu . Без достаточного научного обоснования эти рекомендации были заложены в законодательные акты и используются до настоящего времени.

Если бы политические лидеры руководствовались научно обоснованной концепцией, то в Украине, Беларуси и России необходимые защитные и социальные мероприятия распространялись бы на территорию с населением около одного миллиона человек. По существующему же законодательству в Украине числится 3,36 млн пострадавших от аварии, в России — 2 млн,

в Беларуси – 1,94 млн. Это необоснованное в научном плане законодательство оказывает сильное психологическое воздействие на население и влияет на экономическое состояние государств, вынужденных вкладывать значительные средства в неоправданные мероприятия.

Любые технологии или виды деятельности наряду с пользой для общества имеют определенную опасность, но чем больше людей подвергается риску, тем больше общество должно заботиться об их безопасности и принимать меры к снижению уровней угроз. Международная комиссия по радиационной защите за время своего существования постоянно предпринимает попытки обобщить и формализовать методы принятия решений в сфере радиационной защиты о приемлемости для общества технологий, связанных с ионизирующим излучением и его воздействием на организм человека.

Нормы радиационной безопасности включают в себя систему принципов, критериев, нормативов и правил по обеспечению противорадиационной защиты населения и радиационной безопасности. Термин «норма» обозначает критерий, позволяющий отличить приемлемые или нормальные условия от неприемлемых. Таким образом, нормы являются порогом, ниже которого явная и возможная опасность отсутствует и радиационная безопасность полностью обеспечивается.

За основу норм радиационной безопасности, принятых в 1998 г. в Украине, взяты Рекомендации МКРЗ 1990 года. Они вызвали отрицательное отношение достаточно авторитетных организаций и отдельных ученых Франции, США, России и других стран. До этого в Украине действовали нормы радиационной безопасности на основе

Рекомендаций МКРЗ 1976 года, в которых заложенные дозовые пределы надежно обеспечивали радиационную защиту персонала атомных энергетических установок и населения в течение длительного периода. Но под действием чернобыльского синдрома некоторые лидеры мирового сообщества оказали сильное давление на МКРЗ, в результате чего появилась «Публикация 60» с существенно заниженными дозовыми пределами для персонала и населения.

В публикациях МКРЗ разъясняется, что в связи с отсутствием в настоящее время убедительных доказательств существования порога проявления неблагоприятных эффектов нужно руководствоваться предположением о некотором риске развития соматических или генетических заболеваний при любом воздействии ионизирующего излучения. Поэтому для стохастических эффектов рекомендуется линейная беспороговая зависимость между дозой и вероятностью возникновения последствий. Тем не менее все понимают, что концепция беспороговой линейной зависимости «доза–эффект» существенно завышает реальную опасность.

Беспороговая концепция относится к ряду надуманных. На ее исследования Европейским Союзом истрачено порядка миллиарда евро, и пока безрезультатно. Прекращение финансирования этих разработок упирается в уже многолетнее существование специальных лабораторий и целых служб, созданных под эти цели.

Беспороговая концепция возникла не как проблема, которая требует разрешения, а всего лишь как гипотеза, которую следовало бы учесть при выработке защитных нормативов. (По Эдингтону, количество различных гипотез, выдвигаемых для объяснения какого-нибудь явления, обрат-

но пропорционально объему знаний о нем.) МКРЗ, первоначально призванная именно для рассмотрения вот таких спорных вопросов, осознавая необоснованность концепции, приняла ее из желания улучшить радиационную защиту. А огромное количество людей, в том числе и ученых, восприняли гипотезу как бесспорный факт.

В радиационной защите под *риском* понимается средняя вероятность возникновения у данного индивидуума неблагоприятного эффекта в результате воздействия ионизирующих излучений. При расчетах риска используются *коэффициенты риска*, которые получены при действии доз облучения более 1 Зв и экстраполированы на диапазон малых доз. Поэтому оценки риска при малых дозах с помощью установленных коэффициентов являются максимальными и приводят к завышению реальной опасности.

Исходя из линейной беспороговой концепции, была предложена для использования эффективная доза и ее производные, в результате чего возникла необходимость одновременно контролировать две величины: максимальный эквивалент дозы в органе, критическом по детерминистическим эффектам, и эффективную дозу, характеризующую появление стохастических эффектов. Чтобы избежать двойного контроля, МКРЗ сократила дозовые пределы для стохастических эффектов в несколько раз. Снижение пределов являлось административным политическим решением. При этом МКРЗ, выбирая предел дозы для предупреждения стохастических эффектов, приняла предел пожизненного риска $1 \cdot 10^{-3}$, который для персонала за 50 лет профессиональной деятельности составляет $2 \cdot 10^{-5}$ /год; ему соответствует установленный МКРЗ предел годовой дозы, одинаковый для лю-

бого года жизни. Но известно, что облучение в пожилом возрасте намного реже приводит к лучевым раковым заболеваниям до конца естественной продолжительности жизни.

Ранее установленные пределы пожизненной вероятности смерти от рака изменять не было оснований; но МКРЗ приняла решение уменьшить в 5 раз предел годовой дозы для населения.

Международная комиссия по радиационной защите готовила «Публикацию 60» в период обсуждения в средствах массовой информации реального и мнимого ущерба от аварии на Чернобыльской АЭС. Предел дозы для населения в 5 мЗв/год многим, кто мало знаком с основами радиационной медицины, казался слишком завышенным. В результате были приняты законодательные акты с требованием уменьшить облучение населения на территориях, подвергшихся радиоактивному загрязнению, до 1 мЗв/год.

Большинство специалистов в области радиационной защиты считают, что допустимые дозы должны быть связаны со средним природным уровнем радиации. Согласно концепции естественного фона, дополнительное облучение приемлемо в случае его сопоставимости с естественным фоном. Значительные природные уровни радиации существуют в Бразилии, на юго-западе Индии и в ряде других стран. Население Индии за счет естественного радиационного фона получает дозу, более чем в 20 раз превышающую ту, которую получило население Украины, России и Беларуси на загрязненных в результате аварии на Чернобыльской АЭС территориях. Причем в Индии не обнаружено никаких вредных последствий этого облучения, как и в других районах с повышенным естественным радиационным фоном. Более того, у жите-

лей этих районов наблюдается большая продолжительность жизни и наименьшая частота раковых заболеваний.

Уровень научных знаний предлагает нам использовать условную вероятную границу между допустимыми и недопустимыми дозами облучения. Значения естественного радиационного фона находятся в широком диапазоне – от 0,001 до 1,0 Зв/год. В условиях естественного радиационного фона возникла жизнь и происходит ее эволюция. Он необходим всему живому так же, как воздух, солнечный свет и вода. К природному фону адаптировались все виды живых организмов, в том числе и человек, выработав в себе биологические механизмы защиты от вредного воздействия ионизирующего излучения. Эти механизмы восстанавливают те нарушения в клетках и органах, которые возникают под действием излучения. Причем при мощности дозы излучения менее 0,001 Зв/год наблюдается угнетение жизнедеятельности организмов, а при мощности более 1,0 Зв/год – вредные физиологические и генетические эффекты биологического действия излучения.

Следовательно, естественный радиационный фон – это неотъемлемая часть экологической системы, среды существования человека. Из проверенных самой природой соображений можно сделать вывод, что интервал нормальной для человека мощности дозы излучения находится в тех же пределах.

В середине XX столетия классики радиобиологии заметили, что гипотезы об исключительно вредном воздействии ионизирующего излучения не подтвердились – радиация, подобно световой и тепловой энергии, имеет физиологический и патологический уровень. Изменения в организме в результате облучения не обязательно

вредны. Примером положительного действия радиоактивного облучения является гормезис. Проявления благоприятного действия излучения в малых дозах многие ученые наблюдали еще на заре радиобиологии:

- стимуляция прорастания семян и роста многочисленных видов растений;

- стимуляция физиологической активности бактерий и клеток млекопитающих;

- увеличение продолжительности жизни насекомых при однократном облучении, а мышей и крыс – в условиях хронического облучения при крайне низкой мощности дозы;

- снижение смертности от раковых заболеваний у человека, установленное эпидемиологическими исследованиями последнего времени;

- отсутствие повышения онкологической заболеваемости среди населения, проживающего в условиях резко повышенного природного радиационного фона;

- ухудшение многих физиологических показателей у различных объектов при содержании их в условиях уменьшения естественного радиационного фона, создаваемых с помощью экранирования.

Совокупность перечисленных данных говорит о том, что начало кривой «доза-эффект» может отклоняться от линейной зависимости.

Любая страна, в соответствии с рекомендациями МКРЗ, вправе разрабатывать и принимать свои национальные стандарты радиационной безопасности, учитывая при этом имеющийся национальный опыт, знания и экономическую ситуацию. В Украине действует нормативный документ, в котором продублированы последние рекомендации МКРЗ. Конечно, унификация стандартов желательна для всего цивилизованного мира, но недопустима без ана-

лиза конкретных технических и экономических возможностей государства.

Все первичные данные, используемые для нормирования радиационных величин и дозовых пределов, должны иметь строгое техническое, экономическое, математическое и биологическое обоснование. При разработке таких норм следует исходить из уровня используемых в стране технологий, реально существующей экономической ситуации, результатов эпидемиологических исследований с достаточным числом выборок для получения требуемой точности искомой величины радиационного эффекта с оценкой величины погрешности и достоверности результатов.

Анализ 50-летнего наблюдения за контингентами, подвергавшимися облучению, позволяет утверждать, что если индивидуальные поглощенные дозы не превышают 0,3 Зв, то стохастические и генетические последствия маловероятны. Это относится и к населению, проживающему на загрязненной территории, где поглощенные дозы от внутреннего и внешнего облучения в сумме не превысят 0,25 Зв.

Эпидемиологические данные таковы:

в современных условиях практически никто из персонала и населения не подвергается техногенному облучению свыше 0,1 Зв;

подавляющее большинство жителей на радиоактивно загрязненных территориях имеет малые дозы облучения;

население Земли получает от природного радиационного фона облучение в пределах малых доз;

в диапазоне малых доз нет статистически достоверных доказательств учащения злокачественных новообразований, генетических последствий, детерминистических эффектов как среди персонала и населения в нормальных условиях, так и среди лиц,

пострадавших от атомных бомбардировок, облученных в результате аварий и проходивших радиологические процедуры;

результаты продолжительных наблюдений свидетельствуют, что в пределах малых доз имеют место эффекты, которые можно отнести к благоприятным, начиная со стимуляции иммунной системы и заканчивая снижением риска злокачественных новообразований;

эффекты, наблюдаемые в диапазоне малых доз на молекулярном, биофизическом и биохимическом уровнях, не передаются на организм в целом и, таким образом, не приводят к вредным последствиям для здоровья человека.

На основании вышеизложенного стандарты регламентации облучения необходимо разрабатывать исходя из того, что:

1) доза облучения меньше определенного порога при малой ее мощности не опасна;

2) в зависимости от возраста риск смерти от облучения для представителей критической группы людей ничтожен, составляя $1 \cdot 10^{-5} \dots 1 \cdot 10^{-3} \text{ год}^{-1}$;

3) предел дозы должен соответствовать меньшему порогу дозы для лейкозов – на уровне $5 \text{ мЗв} \cdot \text{год}^{-1}$ выше фонового облучения.

Поскольку наименьший порог равен 0,3 Зв/год, то стохастических последствий не будет, пока накопленный эквивалент дозы остается во всех органах ниже этого порога. При полученной дозе от 0,3 до 1 Зв могут возникать лейкозы и раки щитовидной железы, при дозе выше 1 Зв – лучевые раковые заболевания.

Согласно эпидемиологическим данным, вредные клинические проявления действия ионизирующих излучений на человека имеют место при дозе более 1 Зв при крат-

ковременном облучении и мощности дозы более $1 \text{ Зв} \cdot \text{год}^{-1}$ – при хроническом облучении, что полностью согласуется с максимальным уровнем мощности естественного радиационного фона.

Поэтому на уровне современных знаний вполне разумно и достаточно обоснованно принять для персонала предел пожизненной индивидуальной дозы на уровне $3,5\text{--}5,0 \text{ Зв}$ в течение жизни, а мощность дозы излучения $0,1 \text{ Зв} \cdot \text{год}^{-1}$ – за дозовый предел при нормальных условиях работы. При этом еще остается запас для аварийных случаев.

Учитывая фактор предосторожности, можно предложить следующие дозовые пределы для использования в стандартах радиационной защиты: для персонала – $50 \text{ мЗв} \cdot \text{год}^{-1}$; для населения – $5 \text{ мЗв} \cdot \text{год}^{-1}$.

По всей видимости, с накоплением новых эмпирических сведений и знаний о биологических последствиях облучения количественная модель лучевого канцерогенеза будет усовершенствована, что позволит еще надежнее обосновать систему регламентации облучения. Но уже сегодня есть все основания для пересмотра действующих в Украине норм радиационной безопасности.

Развитие современных технологий приводит к росту количества людей, испытывающих воздействие низких уровней техногенного излучения. Поэтому для Украины весьма важно разработать научно обоснованные оценки эффектов малых доз ионизирующего излучения и на их базе создать свою концепцию для нормирования доз облучения, учитывающую реальные технические и социально-экономические возможности. Она должна стать основой принятия любых административных и правительственных решений по оптималь-

ному развитию радиационных технологий с использованием методов, обеспечивающих неукоснительное предупреждение возникновения чрезвычайных ситуаций и соблюдение всех норм радиационной безопасности. Это необходимо потому, что сегодня многие решения, которые влекут за собой тяжелые экономические, социальные и политические последствия, принимаются на основании неправильных представлений о риске облучения.

В обширных исследованиях людей, подвергавшихся многолетнему облучению в малых дозах, доказано благотворное действие радиационного гормезиса. Степень изученности гормезиса недостаточна для основания на нем регламентации облучения, но достаточна в качестве базы для порогового действия излучения. Таким образом, при выборе пределов дозы нельзя опираться на линейную беспороговую модель, которая не оправдывается даже при острых облучениях. При этом следует иметь в виду, что нормы радиационной безопасности устанавливаются не только на основе научных знаний о действии радиационного фактора на здоровье человека, но и на основе экономического компромисса по принципу «польза – вред».

В современных терминах профессиональное облучение можно трактовать как обоснованное облучение персонала ради получения обществом в целом дополнительных благ и повышения уровня жизни всего населения.

Однако общественная выгода не должна достигаться за счет чрезмерного риска определенной группы лиц из числа персонала. Пределы такого риска должны быть общественно приемлемы, научно обоснованны, а также экономически оптимизированны.

Нормативные значения являются не только ограничениями в интересах охраны здоровья, но также и вмешательством в производственную деятельность, что, в конечном счете, влияет на благосостояние и благополучие общества. Нормы радиационной безопасности и ответственность за их нарушение должны быть адекватны нормам для других вредных факторов от иных видов производственной деятельности. Радиационная безопасность населения обеспечивается из общих экономических ресурсов страны при одновременном обеспечении безопасности других источников риска с учетом совокупной опасности всех источников риска. Вследствие ограниченности ресурсов безопасность всего населения оптимально можно поддерживать только на том уровне, который оправдан в настоящее время для экономики страны или каждого конкретного региона.

Положения, включаемые в нормирование облучения, должны учитывать социально-психологическое восприятие обществом деятельности, связанной с источниками ионизирующих излучений, и определять ее как один из видов производственной деятельности, направленной на получение обществом пользы при условии обеспечения социально приемлемого и экономически оправданного низкого уровня воздействия ионизирующего излучения на население.

В перечне наиболее вредных воздействующих на человека факторов радиационный фактор занимает особое место. Это обусловлено:

глобальным психологическим воздействием на общество последствий атомных бомбардировок Хиросимы и Нагасаки в 1945 г.;

непрофессиональным освещением событий, связанных с ядерными испытания-

ми, загрязнением уральского региона и чернобильской аварией;

спецификой радиационного воздействия, имеющего при малых дозах облучения вероятностный характер и не фиксирующегося ни одним из органов чувств человека;

установлением необоснованно повышенных социальных льгот для лиц, находившихся на территории, отнесенной к зоне радиологической опасности, что заставляет их поверить в высокую степень причиненного вреда.

При специфическом отношении к радиационному фактору и желании списать на него все вредные последствия от контакта человека с окружающей средой, загрязненной радионуклидами, важнейшей научной и социальной проблемой является оценка истинной величины вклада радиационного фактора в показатели заболеваемости и смертности населения, в той или иной степени подвергшегося радиационному воздействию на сложном техногенном фоне, характерном для большинства регионов.

Понятие «радиационный риск» в настоящее время не имеет однозначного толкования, поэтому в нормативной документации, научно-технической литературе и стандартах радиационной защиты его нужно описывать соответствующими математическими выражениями. При анализе данных эпидемиологических исследований, нормировании и оценке радиационного риска следует применять единую унифицированную методологию.

Необходимость порогового подхода разделяют все больше специалистов в области радиационной защиты. Признание порога действия радиации позволит исключить из практики понятие коллективной

дозы в тех случаях, когда оценивается риск стохастических эффектов для больших групп населения при малых дозах облучения, когда эти эффекты не проявляются и не могут быть зарегистрированы.

Стандарты и нормы радиационной защиты должны быть понятными широкому кругу специалистов-практиков, обеспечивающих радиационную безопасность на предприятиях. Поэтому текст норм должен содержать несколько уровней изложения: от математического и биологического описания до таблиц и графиков с пояснениями, почему нормы установлены таковыми и как практически ими руководствоваться. Основу норм должны составлять математические модели, основанные на современных знаниях и закономерностях действий ионизирующего излучения на биологические объекты. Новые же экспериментальные данные, получаемые в ходе проведения эпидемиологических и других исследований, необходимо использовать для уточнения параметров моделей, не изменяя при этом теоретическую основу нормирования.

7.3. ПРОТИВОАВАРИЙНОЕ РЕАГИРОВАНИЕ

От аварии на Чернобыльской АЭС каждая страна пострадала в различной степени, и с учетом конкретной ситуации в каждой из них применялись свои меры. Например, страны, удаленные от места аварии и не имеющие своих собственных программ в области ядерной энергетики или же реакторов в соседних странах, обычно ограничивались контролем над продуктами питания и обменом информацией в качестве основного направления улучшения ситуации в данной области. В то же время

страны, пострадавшие от радиоактивного загрязнения в результате аварии и имевшие свои собственные программы в области ядерной энергетики или реакторы в соседних странах, извлекли серьезные уроки как из самой аварии, так и из ликвидации ее последствий.

Чернобыльская авария была уникальна; хотя она и выявила недостатки в планировании подготовки к чрезвычайной ситуации и радиационной защите, ее не следует рассматривать в качестве образца при разработке противоаварийных мероприятий.

Судя по первоначальной реакции соответствующих национальных органов власти, совершенно очевидно, что они не были подготовлены к аварии такого масштаба, и им приходилось принимать решения по мере того, как развивались события, исходя из критериев, которые невозможно было выработать заранее. Участие многочисленных организаций в процессе принятия решений означало отсутствие четкого разграничения функций и ответственности министерств и ведомств, подробного плана противоаварийных мероприятий, постоянной инфраструктуры для эффективной реализации защитных мер (систем быстрой связи, групп реагирования и сети мониторинга – наземного, воздушного слежения за распространением радиоактивного облака). Все это следовало предусмотреть еще до начала строительства АЭС.

Техническое обеспечение, связанное с планами оперативного вмешательства (обеспечение населения таблетками стабильного йода и эвакуация), очевидно, нужно было продумать и отрепетировать задолго до аварии, поскольку оно требует для своей реализации слишком много времени, несопоставимого с коротким периодом самой аварии. Следовало согласовать дей-

ствия по оперативному вмешательству с уровнем их осуществления, причем в международном масштабе, а затем включить их в планы чрезвычайных действий для эффективной реализации.

Авария также продемонстрировала необходимость включения в планы чрезвычайных действий специальных положений на случай возможных трансграничных последствий, так как выброс радионуклидов может достигнуть значительной высоты и переместиться на огромные расстояния. Такие планы должны разрабатываться странами даже при отсутствии у них своих программ в области ядерной энергетики, носить международный характер, предусматривать свободный и быстрый обмен информацией между странами, процедуры определения степени облучения людей и первоочередной идентификации лиц, получивших значительные дозы облучения, определять центральные специализированные медицинские учреждения для лечения наиболее сильно пострадавших от облучения, а также обеспечивать достаточное количество транспортных средств.

Ввод АЭС в действие возможен только после утверждения плана защиты персонала АЭС и населения прилегающих территорий в случае возникновения радиационной аварии. Он, кроме всего прочего, предусматривает постоянную информацию о силе и направлении ветра, возможном развитии метеорологической ситуации, определение траектории движения радиации и размеры района вероятного заражения. На основе оценки ситуации, проводимой компетентными специалистами, местным органам власти должны быть даны рекомендации о необходимых мерах по защите населения, включая раздачу противорадиационных медицинских препаратов, а также

разъяснения относительно поведения и потребления пищи и воды. Ежегодно следует проводить тренировки и учения, имитирующие чрезвычайные ситуации для отработки плана защиты и его адаптации к местным условиям.

Трансграничный характер радиоактивного загрязнения подтолкнул международные организации к активизации международного сотрудничества, согласованию действий и проведению международных учений на случай чрезвычайных обстоятельств. Серьезным достижением международного сообщества стали соглашения относительно раннего предупреждения о радиологической аварии и об оказании помощи в чрезвычайных ситуациях, заключенные в форме международных конвенций в рамках МАГАТЭ и Европейского Союза.

Для информирования общественности в случае тяжелых ядерных аварий разработан Международная шкала ядерных аварий INES, которая в настоящее время принята многими государствами.

Поскольку в большинстве стран существует необходимость импорта продовольствия, принято международное соглашение о контроле продуктов питания. Правительства признали, что они должны гарантировать своим гражданам безопасность потребляемого продовольствия. Мониторинг импортных продуктов питания стал одной из первых осуществленных мер по контролю распространения радиоактивного загрязнения.

Чернобыльская авария вскрыла недостатки существующих стандартов радиологической защиты. Под вопросом оказались и вероятностные оценки предполагаемых последствий аварий на ядерных реакторах (считалось, что вероятность столь огром-

ного неконтролируемого выброса радиации практически равна нулю).

На больших расстояниях от места аварии наблюдались существенные расхождения во времени введения и длительности осуществления защитных мероприятий, в формулировках и применении критериев вмешательства, что во многом объяснялось особенностями экологической обстановки в разных странах, различиями в образе жизни, характере питания, спецификой функционирования всей системы административного регулирования. Отсутствие единства вызвало озабоченность и замешательство национальных властей и общественности. Встал вопрос о достижении большей гармонизации принципов и критериев защиты населения, применяемых различными странами в случае ядерной аварии или катастрофы.

Значительный радиационный выброс в результате аварии на Чернобыльской АЭС потребовал пересмотра всех международных рекомендаций в отношении обеспечения радиационной безопасности и снижения уровня заражения с точки зрения их применимости к условиям крупной аварии.

Процесс принятия мер защиты в чрезвычайной радиационной обстановке требует оценки последствий аварии, чтобы на основе этой оценки установить все критерии вмешательства. Уровень вмешательства определяется величиной радиационной дозы, которая превышена или, согласно прогнозам, может быть превышена, достижение которой требует незамедлительного применения всего комплекса защитных мер. Уровень вмешательства является вторичным критерием; обычно он определяется как концентрация того или иного вида радиоактивных частиц, загрязняющих продукты питания или окружающую среду, которая, на базе

определенных предположений об их воздействии на человека, требует соответствующего уровня вмешательства. Защита населения должна включать комплекс мероприятий, предпринимаемых органами власти с целью ограничения или минимизации облучения населения.

Планирование таких мероприятий предусматривает укрытие населения, проведение йодной профилактики, контроль доступа в зараженные районы, дезактивацию людей, строений и т. п., контроль за потреблением продовольствия и воды.

Распространение последствий ядерной аварии по времени разделяется по обычным международным правилам на три фазы: ранняя, промежуточная и поздняя.

Ранняя фаза ядерной аварии включает первые часы после выброса. Принятие решений на данной фазе зависит от оценки размеров радиационного выброса и доз радиации на различном удалении от места выброса, оценки местных метеорологических условий, направления и скорости движения радиационного облака. Защитные меры предусматривают укрытие населения, постоянное распределение и принятие специальных таблеток, эвакуацию населения, а также закрытие доступа в зараженные места.

Промежуточная фаза охватывает период от конца ранней фазы до первых нескольких дней или недель. Обычно началом этой фазы считается момент прекращения выброса, когда значительная часть радиоактивных осадков выпала на землю или распространилась на значительные расстояния от места выброса по траектории, установленной на основании анализа метеорологических условий, а также наземных и атмосферных замеров радиации. Соответственно, защитные меры планируют

ются в этот период на значительных пространствах и охватывают большие группы населения. На промежуточной фазе должна быть получена и распространена достаточно полная информация о величине радиационных доз, состоянии экологической ситуации на пути движения радиационного выброса и опасности для населения. На этой фазе появляется возможность расчета данных и определения дальнейших мероприятий по радиационной защите населения.

Поздняя фаза, или фаза восстановления, может занимать значительный период, в зависимости от конкретных особенностей радиационного выброса. В это время систематически собирается информация о состоянии экологической и радиационной обстановки, результатах принимаемых мер по ликвидации последствий выброса, после чего может быть принято решение о возвращении к нормальной обстановке.

Крайне важны достижение взаимопонимания властей и общественности, готовность обеих сторон к чрезвычайным мерам по борьбе с последствиями аварии, в том числе и непредусмотренными, которые могут возникнуть в результате принятых решений и некоторых мер по защите населения.

В основе международных рекомендаций лежит общая концепция принятия решений, в соответствии с которой социальные издержки и риск, связанные с вмешательством, должны быть меньше издержек и риска радиационного поражения, если его можно избежать принятием защитных мер. Таким образом, принятие тех или иных защитных мер учитывает баланс между степенью защиты населения, которая должна быть обеспечена, и размерами социальных и экономических потрясений,

которые повлечет за собой применение этих мер. Все международные организации согласны с необходимостью установления уровней вмешательства в зависимости от доз облучения. При этом могут учитываться такие обстоятельства, как риск, объективные трудности, социально-экономические потрясения, национальные и локальные особенности и т. п. На этих принципах устанавливаются минимальные и максимальные пределы доз облучения, в рамках которых может и должно начинаться проведение защитных мер.

МАГАТЭ и МКРЗ пересмотрели обоснованность своих ранних рекомендаций по планированию на случай чрезвычайных обстоятельств и в отношении критериев вмешательства в чрезвычайных ситуациях.

Все национальные системы обеспечения безопасности населения на случай ядерной катастрофы, в том числе и мониторинговые, были разработаны для хорошего известных возможных источников выброса локального характера и не предусматривали ситуации, подобные чернобыльской. Поэтому, в частности, на начальном этапе для компенсации значительной неопределенности в отношении масштабов и территориального распространения радиоактивного заражения, вызванного аварией на Чернобыльской атомной станции, ряду государств пришлось принимать дополнительные меры или вводить завышенные критерии.

Опыт ликвидации последствий чернобыльской аварии показывает, что уровень радиоактивности зависит от времени года и метеорологической обстановки в момент катастрофы, оказывающих существенное влияние на распространение и выпадение радиоактивных частиц, включая радиационное заражение продуктов питания, и опре-

деляющих уровень и масштабы вмешательства. Например, в момент аварии в Северной Европе рост продовольственных культур только начинался, а в Южной Европе многие сельскохозяйственные культуры уже созрели для уборки урожая, скот находился на пастбищах второго покоса трав. Из-за этого с самого начала возникали различия в подходах к масштабам и жесткости мер в отношении урожая, покоса трав, выгона скота. Если бы авария произошла зимой, то и ограничений было бы значительно меньше.

Использование различных методик и начальных предпосылок для определения параметров в оценке воздействия аварии и производных уровней вмешательства является существенной причиной расхождений в принимавшихся после аварии мерах. Несходство исходных климатических, экологических, географических характеристик отражалось на составлении моделей доз облучения, что, в конечном счете, привело к отличиям в заключениях о необходимости введения специфических защитных мероприятий.

Существование заранее разработанных и утвержденных критериев крайне важно для планирования чрезвычайных ответных мер в случае возникновения ядерной аварии. Заранее установленные критерии вмешательства будут крайне полезны в качестве международно признанной основы для введения защитных мероприятий в случае трансграничного характера аварии, а также в качестве промежуточной основы для вмешательства в период, непосредственно следующий за аварией. Однако любой подход должен обеспечивать четкую связь между концепцией чрезвычайных мер и критериями оперативного вмешательства, а сами критерии должны быть

определены в величинах радиационных уровней. В обобщенном виде можно сформулировать следующие выводы в области аварийного реагирования, полученные на основании анализа аварии на Чернобыльской АЭС.

1. Необходимо разрабатывать предварительные планы проведения чрезвычайных ответных мер в случаях угрозы или распространения радиации из источников, находящихся на значительном удалении, делая особый упор на крупномасштабных авариях, имеющих трансграничные и долгосрочные последствия. Следует более четко определить рациональные основания для разграничения контроля радиационного облучения от удаленных источников непреднамеренного выброса и контроля радиационного облучения от радиации, являющейся следствием нормального функционирования ядерных установок.

2. При планировании чрезвычайных ответных мер критерии чрезвычайного реагирования предпочтительно увязывать с местом и временем их проведения, выделяя при этом местные и отдаленные аспекты последствий аварии.

3. Крайне важно уяснить условия применения критериев чрезвычайного реагирования при планировании ответных мер. Необходимо различать два типа требуемого вмешательства: 1) главным образом, для контроля облучения, вызванного выпадением радиоактивных частиц; 2) только для контроля радиации в импорте облученного продовольствия из других стран.

4. Процесс оптимизации радиологической защиты, т. е. использование принципа коллективного ущерба, может быть полезен в качестве инструмента, содействующего принятию решений при общей разработке заранее определенных критериев вмеша-

тельства для защиты здоровья населения. Процесс оптимизации должен ограничиваться верхним уровнем индивидуальной дозы, выше которого применение защитных мер обязательно, и нижним уровнем индивидуальной дозы, ниже которого защитные меры, по всей вероятности, не оправданны.

Основные нормы безопасности представляют рекомендации по уровням доз, при которых вмешательство должно быть осуществлено в случае ядерной аварии или возникновения радиационной аварийной ситуации.

Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) рекомендует, основываясь на опыте чернобыльской аварии, начинать проведение йодной профилактики заболевания щитовидной железы у детей при дозе 10 мГр, а у лиц старше 40 лет – 5 Гр. Такая рекомендация находится в противоречии с уровнем аналогичного вмешательства, зафиксированным в Основных нормах безопасности, – 100 мГр предотвращаемой дозы для всех возрастных групп населения. Этот уровень служит основой для быстрого принятия решений и эффективного применения в случае чрезвычайной ядерной ситуации. Однако имеются веские свидетельства возрастной зависимости риска возникновения рака щитовидной железы под влиянием радиоактивного йода и высокой чувствительности к радиоактивному йоду детей и плода, находящегося в утробе матери, поэтому введение стабильного йода с профилактической целью может быть рекомендовано при значительно более низких уровнях дозы. Предусматривается, что такая установка может быть использована в качестве стартовой позиции при планировании, и она может быть оптимизирована с учетом специфических

практических, оперативных, социальных и экономических условий. При этом необходимо также учитывать введение других защитных мер, особенно контроля продуктов питания. Не исключается, что ряд стран могут признать полезным введение для детей и беременных женщин более низкого, чем 100 мГр, уровня вмешательства для йодной профилактики, ссылаясь при этом на публикацию ВОЗ.

Облегчение острых и отдаленных последствий для здоровья населения является предметом, представляющим особый интерес. ВОЗ разработала структуру международного сотрудничества в этой области, интегрированную в международную систему действий в случае чрезвычайных радиационных ситуаций. При этом ВОЗ уделяет внимание всем видам медицинских последствий радиационных аварий независимо от того, вызваны ли они радиационным фактором (радиологические детерминистические и стохастические эффекты) или другими факторами, сопутствующими аварии или ею вызванными (например, психоэмоциональным стрессом, социальными или экономическими потрясениями). Такой подход продиктован тем, что количество пострадавших от нерадиологического фактора при крупных радиационных авариях значительно превышает число пострадавших от прямого радиационного облучения. Несмотря на то, что доза облучения у переселенцев, эвакуированных с загрязненных территорий, относится к разряду малых и даже сверхмалых доз, сопоставимых в ряде случаев с уровнем естественного радиационного фона, многие из этих людей связывают ухудшение своего здоровья в послеаварийный период с воздействием излучения. С учетом этого, ВОЗ строит свою тактику по оказанию ме-

Таблица 7.1. Стоимость компенсационных мер в случае ядерной аварии, принятая Международным валютным фондом, млн дол.

Страна	Предел ответственности, установленный национальным законом	Общая компенсация, включая доступные фонды МВФ
Австрия	35	35
Бельгия	90	300
Великобритания	150	300
Германия	Неограничен	450
Дания	60	300
Испания	125	300
Италия	5	300
Канада	35	Требует подтверждения правительства
Нидерланды	310	2070
Норвегия	60	300
США	5705	Любая дополнительная сумма
Финляндия	150	300
Франция	80	330
Швеция	175	300
Швейцария	Неограничен	560
Япония	Неограничен	Определяется парламентом

дицинской помощи в случае радиационных аварий таким образом, чтобы содействовать своевременному и эффективному лечению острых радиационных повреждений и одновременно помогать национальным органам здравоохранения в профилактике отдаленных радиологических стохастических эффектов, а также стресс-зависимых заболеваний у больших групп населения, переживших психогенное воздействие чрезвычайной радиационной ситуации.

Теоретически даже незначительное повышение радиации во внешней среде может увеличить число раковых заболеваний.

На миллион человек, возможно, будет один либо два дополнительных случая. Однако современная медицина не может определить, кто именно из этого миллиона заболеет. Поэтому при лечении населения радиопротекторами большинство людей будет принимать этот препарат в лучшем случае напрасно, потому что лекарства не так уж и безвредны. Нет смысла ради здоровья одного человека травить сотни тысяч других людей. Даже йодистые препараты, очень эффективные в период воздействия на щитовидную железу радиоактивного йода, имеют свое отрицательное побочное действие.

Таблица 7.2. Стоимость единицы коллективной дозы*

Страна	Год принятия	Стоимость, дол./чел. · мЗв
<i>Национальные нормативы</i>		
Великобритания	1993	17–170
Канада	1997	75
Нидерланды	1995	500
США	1995	200
Финляндия	1991	100
Швеция	1992	25–270
Швейцария	1994	2000
<i>Объектовые нормативы</i>		
Испания	1994	2000
Словения	1994	700
США	1990–1997	Минимум 500 Максимум 2810 Средняя 1000
Швеция	1992	550
Южно-Африканская Республика	1993	1000

* Стоимость выражена в дол. США 1997 г.

Лекарственная профилактика внешнего облучения и инкорпорации радионуклидов в организме должна проводиться при строго дифференцированных показаниях. Массовое применение соответствующих лекарственных препаратов имеет основание только на ранней и, частично, промежуточной фазе аварии. В восстановительный период, когда дозовые нагрузки в большинстве случаев не превышают регламентированных, нет показаний к длительному применению радиопротекторов, которые являются неэффективными при низкой мощности дозы, тем более в условиях хронического облучения. Рекомендации по применению всевозможных средств, которые, как полагают,

повышают радиационную стойкость организма, не имеют научного обоснования. Экспериментальных доказательств их влияния на снижение количества злокачественных опухолей нет. Это относится и к средствам выведения радионуклидов из организма. В большинстве случаев нет экспериментальных свидетельств, подтверждающих биологическую безопасность лекарственных препаратов для организма в условиях постоянного применения. Напротив, имеются экспериментальные работы, подтверждающие, что относительная выгода от умеренного снижения дозовых нагрузок не сопоставима с биологическим ущербом от этих препаратов.

Таблица 7.3. Градация стоимости единицы коллективной дозы

Страна	Год принятия	Доза, мЗв	Стоимость, дол./чел. · мЗв
Бельгия	1995	Меньше 1	27
		1–2	67
		2–5	267
		5–10	667
		10–20	1333
		20–50	5333
Германия	1996	Меньше 1	Не установлена
		1–10	170
		10–20	Линейный рост до 1695 при 20 мЗв
Франция	1993	0–1	17
		1–5	83
		5–15	383
		15–30	1117
		30–50	2500

Одной из наиболее дискуссионных областей в ядерной энергетике является оценка стоимости инцидентов и аварий как относительно редких и связанных с радиационным воздействием, так и более частых и обусловленных обычными причинами (пожарами, поражениями электрическим током, падениями при выполнении строительных работ и др.). Такие оценки крайне затруднены из-за большого разброса исходных предположений, от которых зависит конечный результат. Поэтому необходима стройная методология выработки подобных оценок. Опираясь на опыт, полученный при ликвидации последствий радиационных аварий на АЭС, были рассмотрены затраты на контрмеры, предпринимаемые в начальный и последующие периоды, выплаты и иные компенсации, а также проведены оценки применимости использованных моделей

расчета последствий радиационных аварий на ядерных реакторах.

Цену аварии можно определить в виде денежных затрат на возврат АЭС и облученных индивидуумов к исходному доаварийному состоянию. Это означает, что должны быть учтены следующие факторы:

- применение контрмер для снижения доз;
- радиационно обусловленные эффекты для здоровья населения;
- психологические эффекты;
- потери работоспособности, рабочих мест и прибыли из-за снижения производительности;
- долгосрочные социальные и политические последствия;
- последствия для окружающей среды.

В данный перечень включено несколько достаточно неординарных и сложно оцениваемых факторов. Наряду с этим невоз-

можно численно определить такие последствия, как потерю имиджа компании, региона или страны, а также финансовые убытки в результате падения курса национальной валюты, обусловленные аварией.

Фактически в настоящее время обобщающим количественным критерием для оценки стоимости могут служить размеры компенсаций населению в случае радиационной аварии (табл. 7.1). Другим важным количественным критерием для таких оценок является стоимость единицы коллективной дозы, которая носит название человеко-зиверт. В некоторых странах стоимость этой единицы принята одинаковой для любого диапазона доз (табл. 7.2), в других – зависит от дозы (табл. 7.3), что представляется более обоснованным уже накопленным опытом защиты населения при радиационных авариях.

7.4. ЭКОНОМИЧНОСТЬ И БЕЗОПАСНОСТЬ

Основными показателями, определяющими жизнеспособность ядерного метода производства энергии, являются экономичность и безопасность, которые были значительно улучшены за последнее время, что дало реальную возможность мировой ядерной энергетике занять лидирующее место в современном энергетическом балансе при условии, что она станет безопаснее любой другой формы производства энергии.

Для достижения статуса *безопасной ядерной индустрии* необходимо повысить уровень технической безопасности эксплуатации установок, что позволит изменить отношение общества к ядерной энергетике в целом. После аварии на Чернобыльской АЭС во всех странах мира, имеющих

ядерные установки, была проведена переоценка уровня безопасности атомных электростанций – как находящихся в эксплуатации, так и строящихся. Но опыт использования сложных технологий убеждает в том, что никакие конструктивные, технологические и организационные мероприятия не способны полностью исключить аварийные ситуации. Вероятность их возникновения можно существенно уменьшить, и только. Отказы, поломки, неисправности технических средств всегда будут иметь место, потому что в процессе проектирования, строительства и эксплуатации невозможно предусмотреть все внешние и внутренние факторы воздействия на элементы систем и оборудования. Задача состоит в том, чтобы предвидеть эти ситуации и путем технического обслуживания и ремонта вовремя восстанавливать работоспособность.

На современном этапе развития ядерной энергетики актуален коренной пересмотр подходов к созданию систем безопасности ядерных энергетических установок с целью уменьшения влияния на безопасность такого фактора, как человеческий. Анализ причин аварий ядерных энергетических установок, в том числе и на Чернобыльской АЭС, показал, что в проблеме обеспечения безопасности человеческий фактор занимает центральное место. «На заводе завтрашнего дня будут всего два работника – человек и собака. Человек – чтобы кормить собаку, собака – чтобы не подпускать человека к оборудованию», – язвительный прогноз Уоррена Бенниса.

При внедрении новых производственных технологических процессов реально осознается невозможность создания абсолютно безопасных промышленных технологий, тем более для производств, в кото-

рых происходит высвобождение и концентрация энергий, а также применяются и используются радиоактивные или другие опасные вещества. Поэтому не имеет смысла определять безопасность как полное отсутствие опасности, потому что абсолютной безопасности достичь невозможно. Логично трактовать безопасность для конкретной системы как такое состояние этой системы и систем, с ней взаимодействующих, при котором суммарный риск не превышает некоторого малого, порогового значения, определяемого обществом в соответствии с принятой им системой ценностей. Поэтому понятие «безопасность» можно характеризовать как пребывание системы в условиях пренебрежимо малого риска. Однако в сложившихся условиях высокой техногенной опасности и загрязнения природной среды такое определение было бы излишне идеализированным. Поэтому в настоящее время проблемы управления риском решаются в большинстве случаев исходя из того, что безопасность — это пребывание системы в условиях приемлемого риска.

При планировании строительства новой АЭС энергетическая компания исходит из того, что это предприятие окажется прибыльным и риск инвестиций будет находиться в области приемлемых значений. Компания заинтересована в том, чтобы станция работала безаварийно и имела высокий коэффициент использования установленной мощности, а условия работы на станции, в том числе и низкая радиационная опасность, позволяли эксплуатировать АЭС. Кроме того, компания заинтересована в получении государственной лицензии и благожелательном или нейтральном отношении со стороны населения и местных органов власти. Местные органы

власти, выражая интересы населения, подсчитывают все плюсы и минусы строительства АЭС на своей территории, а государство в лице своих законодательных и исполнительных органов власти, призванное заботиться о населении страны в целом и стратегических государственных интересах, регулирует соответствующую деятельность посредством законодательных актов, нормативных документов, проведением надзора и другими средствами. Один из аспектов государственного регулирования — определение пределов безопасности, при которых риск строительства станции считается приемлемым.

При определении границ приемлемого риска большую роль играют ментальность общества, степень развития экономики, природные условия, традиции, уровень интеграции в мировое хозяйство, предпочтения и склонности отдельных лиц, принимающих решения, а также многие другие обстоятельства и факторы, свойственные данному государству. Общий принцип приемлемости можно определить так:

приемлемым является такой уровень риска техногенной деятельности, который общество готово принять ради получаемых экономических и социальных выгод.

Это означает, что суммарный общественный эффект деятельности должен быть положительным. Однако из-за относительности безопасности интересы отдельных индивидуумов или групп граждан обеспечиваются неравномерно. В конечном итоге задача определения пределов безопасности или уровней приемлемого риска представляет собой часть общей проблемы выбора оптимальных способов учета интересов различных групп общества. С течением времени многие факторы, влияющие на выбор приемлемого риска, меняются. Со-

ответственно должны пересматриваться условия и пределы безопасности, постепенно приближаясь к области пренебрежимо малого риска.

На сегодня сложились два подхода к обеспечению безопасности ядерных энергетических установок. Первый – традиционный инженерный подход, основанный на наращивании числа и повышении эффективности различных защитных и локализирующих систем и устройств, которые снижают вероятность тяжелых аварий и уменьшают степень опасности их последствий. Осуществление на практике только такого подхода приводит к усложнению и удорожанию установки, ухудшению других ее характеристик и принципиально не исключает возможности крупной аварии с тяжелыми последствиями, поскольку не устранены внутренние причины, которые могут привести к ее возникновению. Для доказательства безопасности ядерной установки при этом подходе в основном приходится опираться на вероятностный анализ безопасности, рассматривающий отказы технических устройств и ошибки эксплуатационного персонала как случайные события. Малая вероятность таких единичных событий не является ни доказательством невозможности тяжелой аварии, ни возможности ее возникновения не ранее, чем через тысячи или десятки тысяч лет. Более того, в случае диверсии или террористического акта такие события не будут случайными, и выводы вероятностного анализа безопасности вообще теряют смысл. Тем не менее, для ядерных технологий получил большое распространение *вероятностный анализ безопасности*, в состав которого в частности входят:

анализ аварийных последовательностей и разработка дерева событий;

анализ системы и разработка дерева отказов;

формирование базы данных;

анализ ошибок персонала;

оценка надежности систем с учетом отказов по общей причине;

разработка интегральной модели риска энергоблока.

Второй подход основан на концепции реактора с *внутренне присущей безопасностью*. В нем причины возникновения серьезных аварий исключены применением обратных связей внутри реактора на основе физических законов, а не посредством приборов и органов компенсации реактивности. Однако обратные связи должны быть надежно обоснованы. При таком подходе не требуется нагромождения защитных и локализирующих систем, которые в некоторых случаях могут сами стать причиной аварий, и сложных доказательств безопасности с проведением большого объема расчетных и экспериментальных работ по недостоверно известным сценариям. При разработке реактора следующего поколения представляется необходимым применение оптимального сочетания подхода, опирающегося на внутренние присущую безопасность, и инженерных средств по повышению безопасности установки.

Процесс повышения безопасности АЭС является эволюционным и должен учитывать опыт работы однотипных станций. Наличие большого числа унифицированных АЭС как раз и позволяет получить такой опыт. Выявление какого-либо недостатка на одной ядерной установке дает возможность устранить его на всех подобных установках.

На нерегулируемом рынке цена на электричество определяется поставщиком, предлагающим самую низкую цену и спо-

способным удовлетворить пиковые потребности в течение данного периода времени. В таких условиях целью ядерной энергетики является строительство АЭС, которые могут конкурировать с экономической точки зрения. Кроме того, новые АЭС должны сохранить на прежнем уровне или повысить показатели безопасности как необходимое условие приемлемости ядерной энергетики с точки зрения государственных надзорных организаций и общественности. Таким образом, основная идея разработки реакторов будущего заключается в достижении высоких экономических показателей при одновременном повышении уровня безопасности ядерной энергетики. Несмотря на, казалось бы, очевидную противоречивость этих требований, на самом деле процессы повышения безопасности и улучшения экономических показателей не только не мешают, но даже сопутствуют друг другу.

Самым простым и в то же время самым эффективным средством улучшения экономических показателей является увеличение мощности реактора без принципиальных изменений его систем. Эта технология использовалась практически при каждом усовершенствовании легководных реакторов, включая корейский перспективный реактор с пассивной защитой (APR 1400), японский усовершенствованный реактор с водой под давлением (APWR), европейский реактор с водой под давлением (EPWR), сопровождавшемся повышением мощности до 1400–1600 МВт, что позволяет достичь снижения стоимости каждого киловатта на 15–20 %.

К значительному снижению стоимости новых АЭС может привести упрощение конструкции установки за счет исключения множества дублирующих систем безопас-

ности. Одним из способов реализации такого метода является введение пассивных систем безопасности, что исключает дорогостоящие системы, компоненты и структуры, имеющие высокую степень разветвленности и, следовательно, высокую стоимость. Безопасность при проектировании – это технология проектирования, которая улучшает экономические показатели не только за счет исключения многих активных систем безопасности, но и за счет снижения вероятности возникновения некоторых типичных проектных аварий путем соответствующих конструкторских решений еще на стадии проектирования.

Одна из технологий, применение которой позволило в ряде случаев добиться улучшения экономических показателей, – расширенное использование модульной системы, т. е. блочной структуры станции. Однако к настоящему времени эта технология полностью не освоена, так как разработка модулей не являлась частью проектирования установки изначально, а была, скорее, подгонкой под уже разработанную конструкцию. Расширенное использование принципа модульности серьезно повлияет на экономику станции за счет сокращения периода строительства. Значительная часть оборудования станции будет собираться на заводах, что гораздо эффективнее ее сооружения непосредственно на площадке.

Улучшенные методики и технические спецификации при использовании стандартизации на всю серию или семейство установок могут привести как к улучшению экономики, так и к повышению безопасности. Уроки и опыт, извлеченные в ходе эксплуатации одной установки из серии, легко распространить и учесть на остальных, что повышает эффективность эксплуатации всех установок данной серии. Кроме

того, анализ риска с точки зрения безопасности поможет избежать чрезмерного консерватизма при эксплуатации станций, что позволит расширить эксплуатационные пределы, увеличив коэффициент использования установленной мощности и улучшив экономические показатели.

Безопасность АЭС может быть повышена за счет ряда технологий, которые уже применяются для реакторов, находящихся в стадии разработки. Одна из них направлена на *расширение рабочих пределов*, что ведет к большей устойчивости проекта по отношению к определенным переходным процессам и авариям: в одних случаях переходные режимы вообще не будут инициировать срабатывание систем безопасности, а в других – такое расширение добавит время эксплуатационному персоналу, чтобы отреагировать на ситуацию. Подобная технология повышает безопасность станции, однако увеличивает и капитальные затраты на ее строительство.

Другая технология, применяемая при разработке мощных усовершенствованных реакторов, основана на *разнотипности оборудования* – большом количестве систем, выполняющих одну и ту же функцию, но с осуществлением разных принципов для предотвращения одновременного общего отказа. Эта технология также увеличивает стоимость объекта. К счастью, большие мощности усовершенствованных реакторов позволяют амортизировать дополнительные затраты на установку резервного оборудования, и их экономические показатели превышают показатели современных станций.

Применение *пассивных систем безопасности*, функционирующих в основном за счет естественных сил и явлений теплопереноса, позволит избавиться от оборудования, в работе которого возможны отказы.

Кроме того, пассивные системы безопасности понизят зависимость безопасности установки от действий оператора во время переходных процессов или аварий. Наконец, их использование дает возможность избавиться от технического обслуживания активных систем – одной из возможных причин отказов в анализе безопасности.

Реализация принципа безопасности при проектировании усовершенствованных реакторов позволит повысить безопасность за счет полного устранения возможности возникновения одних и снижения вероятности других событий, а также уменьшения возможных последствий аварии, если она все-таки произойдет.

Такой принцип иногда называют *принципом внутренне присущей безопасности*, если соответствующий подход был полностью положен в основу проекта. На самом деле этот принцип в той или иной степени используется во всех типах реакторов.

Стандартизация при разработке новых объектов ядерной энергетики также вносит вклад в повышение безопасности, поскольку разработчик и регулирующий орган проводят большее число анализов и исследований, чем при разработке установки нового типа.

7.5. КУЛЬТУРА БЕЗОПАСНОСТИ

Ханкс Бликс, будучи главой МАГАТЭ, после аварии на Чернобыльской АЭС сказал, что уроки этой катастрофы свидетельствуют не о необходимости закрытия атомных станций, а о необходимости скорейшей реализации мероприятий и планов, повышающих их безопасность. Если не рассматривать мероприятия, связанные с технической стороной дела, то основным фактором,

влияющим на безопасность, является человеческий фактор, с которым напрямую связано понятие *культуры безопасности*. Этот термин появился после анализа причин аварии на четвертом энергоблоке Чернобыльской АЭС в 1986 г.

Культура безопасности как образ мышления и действий человека на рабочем месте имеет два основополагающих момента: поведение конкретного оператора и высокое качество системы управления, которое должно формировать и поощрять соответствующее поведение оператора.

Правительство страны, руководители ядерной отрасли и станций должны демонстрировать постоянную приверженность принципам культуры безопасности. Пути и методы ее развития необходимо определять с учетом особенностей национальной культуры, трудовых традиций, социальных и экономических особенностей. Культура безопасности – это создание условий и воспитание в человеке внутренней потребности работать безопасно. Основным же вопросом в обеспечении высокой культуры безопасности является вопрос о том, в состоянии ли человек работать на потенциально опасном производстве, не допуская ошибок. При этом важным и необходимым аспектом является подготовка высококвалифицированных специалистов, понимающих физические процессы, которые протекают в реакторах АЭС, и разбирающихся в информационно-вычислительной компьютерной технике, дающей достоверную информацию о различных режимах работы. Усложнение эксплуатационных задач, а также острый дефицит времени для принятия управленческих решений поставили на повестку дня требования пересмотра существовавших ранее концепций создания компьютерных систем поддержки операторов

ра АЭС. Для обеспечения безопасности АЭС эффективная реализация функций контроля основного оборудования ядерной энергетической установки в контексте разработки компьютерных средств, обеспечивающих автоматическую выработку решений, или иными словами – снятие этих функций с оперативного персонала АЭС, есть наиболее важной.

Наличие навыков культуры безопасности характеризуется, в первую очередь, созданием такой атмосферы в коллективе, когда обеспечение безопасности станции становится главной целью и внутренней потребностью каждого и приводит к самоконтролю, вниманию и ответственности при выполнении любых работ, влияющих на безопасность.

По существующей ранее практике в период, предшествующий аварии на Чернобыльской АЭС, высший приоритет отдавался не обеспечению безопасности, а максимальной энерговыработке и экономичности, на что был сориентирован не только эксплуатационный персонал, но и персонал конструкторских и проектных организаций. В таких условиях при дилемме выполнения задания или требования инструкции обычно выбиралось первое.

Обеспечение безопасности при эксплуатации АЭС – главная и общая задача всего эксплуатационного персонала. Поэтому культура безопасности должна проявляться на всех уровнях деятельности, т. е. в действиях как организации, так и каждого работника в отдельности.

Культура безопасности требует четкого определения связанных с безопасностью обязанностей каждого работника, их точного и осмысленного исполнения на основе полных знаний, здравого смысла и персональной ответственности.

Культуру безопасности на АЭС во многом определяет отношение к вопросам безопасной эксплуатации высшего административного руководства. Ей присуща атмосфера доброжелательности и открытости в коллективе, обеспечивающая свободный обмен мнениями и передачу информации, касающейся безопасности, отсутствие необходимости сокрытия исполнителем работ каких-либо ошибок или неправильных действий.

Развитие навыков культуры безопасности подразумевает осмысленное выполнение любых эксплуатационных операций и процедур. Основными признаками культуры безопасности являются:

- персональное осознание приоритета и важности безопасности;

- знание своего дела и компетентность;
- мотивированность поступков и действий;

- надзор и контроль выполнения работ, влияющих на безопасность;

- ответственность за порученное дело;
- открытость в эксплуатационной деятельности;

- укрепление доверия общественности к безопасности эксплуатации АЭС.

Наивысшим политическим уровнем, влияющим на безопасность атомных станций, является законодательный уровень, обеспечивающий национальную основу для культуры безопасности. Правительство внедряет культуру безопасности посредством законов и законодательных актов и путем делегирования своей ответственности регулировать безопасность АЭС определенным государственным структурам. Таким образом, создается национальный климат, при котором безопасность – фактор ежедневного внимания. Политика, проводимая на высшем уровне, способствует

формированию благоприятной рабочей атмосферы и условий, в которых действуют отдельные лица.

Уровень безопасности существенно зависит от финансовых затрат. Безопасность – это, прежде всего, обязательное вложение финансовых ресурсов с целью повышения уровня безопасности. Финансовые ресурсы должны расходоваться на следующие мероприятия:

- привлечение необходимых консультантов, ученых, подрядчиков;

- подготовку и переподготовку персонала;
- проведение анализа безопасности;

- проекты повышения уровня безопасности;

- замену устаревшего оборудования и приспособлений;

- организацию и переоборудование рабочих мест;

- приобретение средств защиты, в том числе спецодежды;

- средства измерения и контроля параметров безопасности.

Выделяемые финансовые ресурсы должны быть достаточными для поддержания безопасности на достигнутом уровне, выполнения предписаний регулирующего органа и внедрения мероприятий, направленных на повышение безопасности.

Научные аспекты культуры безопасности практически полностью относятся к вопросам разработки научно обоснованных стандартов, правил и норм по безопасности. Иногда научные аспекты пересекаются с политическими, и последние начинают определять главную роль во вводимых стандартах по безопасности. Однако следует помнить, что нормы, помимо регулирующей функции, выполняют и социально-психологическую функцию. Изменение пределов безопасности создает у об-

шественности мнение о чрезмерной опасности прежних уровней, а это, в свою очередь, неизбежно вызывает волну неприятия принимаемых пределов. Ввод новых стандартов безопасности сопровождается и значительными финансовыми затратами.

Каждый инженер обязан выполнять все касающиеся его работы предписания и правила, гарантировать соответствие результатов своей деятельности требованиям безопасности. Но этим его ответственность не ограничивается: он должен заранее проверить, способны ли эти правила обеспечить безопасность при данном уровне развития науки и техники. Если у него возникают сомнения, он обязан сообщить о них своему непосредственному руководителю, а последний – ответственным административным лицам, даже если речь идет только о предположениях. Этот *принцип предусмотрительности*, постоянно стимулирующий к поиску новых и лучших решений, должны соблюдать не только разработчики ядерной установки, но и в той же мере строители, наладчики и эксплуатационный персонал АЭС.

Инженер не может оставаться наедине со своей ответственностью: организация и, прежде всего, руководство АЭС должны оказывать ему необходимую помощь и поддержку. Кроме того, каждый сотрудник работает в команде, а поскольку команда несет ответственность как единое целое, он может рассчитывать на помощь и поддержку своих коллег.

Для достижения необходимого стандарта качества используется *система гарантии качества*, которая с помощью соответствующей программы сопровождает весь процесс планирования, сооружения, расчетов, анализа, изготовления, монтажа и эксплуатации АЭС. Она состоит из постоян-

ного контроля на всех этапах работ за соблюдением руководящей линии и рабочих инструкций, а также из систематической проверки качества всех работ, в том числе и расчетов. Надзирающие и проверяющие лица несут ту же ответственность, что и исполняющие, по гарантии выполнения условий выдачи разрешения. Они обязаны проводить необходимые внутренние проверки и аудит, а также документировать их результаты. Часто аудит проверяет не только соблюдение системы гарантии качества, но и ее эффективность.

В настоящее время в мировой ядерной энергетике накоплен достаточный практический опыт по внедрению принципов культуры безопасности, который существенно влияет на повышение надежности и безопасности ядерных установок. Культура безопасности как образ мышления, поведения и действия индивидуума на рабочем месте получила распространение на различных радиационно опасных объектах. Культура безопасности зиждется на поведении человека и высоком качестве системы управления. Последняя должна формировать и поощрять соответствующее поведение индивидуума. Имеющийся опыт внедрения принципов культуры безопасности в практику работы атомных электростанций показывает, что это эволюционный процесс. Интенсивность этого процесса зависит от способности руководства создать обстановку доверия на всех уровнях предприятия, способствовать развитию индивидуальной инициативы и ответственности как у руководящего персонала, так и у конкретных исполнителей работ на каждом рабочем месте.

Внедрение культуры безопасности на ядерных энергетических установках проходит три стадии.

На *первой стадии* выполняются требования научно-технической документации и положений правительственных и контролирующих органов. Задача организации – согласовать свои действия с этими требованиями. Безопасность на данном этапе является инженерной проблемой. Эта стадия имеет свои ярко выраженные характерные черты:

- организация реагирует на события, которые уже произошли; упреждение данных событий не является для организации актуальным;

- персонал рассматривается как часть технической системы;

- функциональные отделы решают свои задачи обособленно в пределах predetermined заранее их компетенции без взаимодействия с другими подразделениями;

- внутри коллектива возникают конфликты между подразделениями;

- роль руководства заключается в обязательном контроле неукоснительного соблюдения норм и правил;

- существует антагонизм между руководящим и исполнительным звеньями;

- персонал получает вознаграждение за четкое и неукоснительное выполнение инструкций и правил и наказание – в противном случае.

На *второй стадии* руководство организации воспринимает безопасность как важное направление своей работы независимо от наличия или отсутствия давления со стороны контролирующих органов. При этом руководство и организация в целом анализируют уровень безопасности и ищут пути ее повышения, намечая долгосрочную стратегию, налаживая деловые связи внутри организации и взаимодействие функциональных групп по вопросам безопасности. Ошибки персонала на этой стадии

воспринимаются в меньшей степени как повод для обвинения и в большей – как необходимость проведения обучения и переподготовки. Организовывается командная работа, в основе которой лежат доверие и взаимопомощь, а руководство действует исходя из стратегической цели – достижения более высокого уровня безопасности. Пропагандируется открытый обмен опытом повышения безопасности как внутри организации, так и с другими предприятиями родственного профиля. Взаимодействие с подрядчиками, поставщиками и клиентами строится на многолетнем проверенном сотрудничестве и доверии к ним. Безопасность рассматривается как способ улучшения финансового положения организации и повышения эффективности производства. Вознаграждения заслуживают лица, которые стремятся повысить безопасность сверх установленных требований.

На *третьей стадии* организация строит свою работу исходя из постоянного повышения уровня безопасности. Средствами достижения этой цели являются формирование соответствующего стиля управления, проведение обучения руководящего и исполнительного звеньев, налаживание корпоративных связей, разработка мероприятий, направленных на ликвидацию противодействия поставленным задачам. Люди осознают потребность в сотрудничестве между отделами и группами и налаживают его, приобретают возможности реального участия в управлении, что позволяет распознать возможные причины отклонений от условий нормальной эксплуатации раньше, чем они реализуются. Исчезает противоречие между интересами производства и непрерывным повышением безопасности. Все ошибки и упущения в работе рассматриваются как часть

рабочего процесса – гораздо важнее понять причину нарушения, чем найти виновника конкретной ошибки.

Имеющийся мировой опыт позволяет выстроить организационную структуру, способствующую развитию культуры безопасности. Элементы такой структуры:

- разработка и принятие стратегии организации с точки зрения безопасности;

- формулирование конкретных задач для каждого подразделения, что обеспечивает создание позитивных взаимоотношений внутри организации между отдельными функциональными группами, между руководителями и исполнителями, а также отношений с подрядными организациями;

- определение конкретных целей для разнотипных действий коллектива.

Практическая сложность при реализации планов по внедрению принципов культуры безопасности заключается в вовлечении рабочих и служащих в этот процесс, без чего, естественно, планы и намерения могут остаться только на бумаге. Поэтому от тех, кто ответственен за внедрение таких планов, требуются особые активность, увлеченность, изобретательность и инициативность. Практика показала, что предприятия и контролирующие органы заслуживают общественного доверия только тогда, когда они открыты для общества. Скрытие нарушений, отказов оборудования, которые рано или поздно все равно обнаружатся, подрывает доверие, на восстановление которого требуется продолжительное время.

Культура безопасности – не гарантия отсутствия каких-либо ошибок или профессиональных упущений, а своеобразный инструмент поиска существующих дефектов конструкций, инструкций или технологических операций, которые содержат потенциальную опасность и когда-либо мо-

гут увеличить риск возникновения опасной ситуации. Этот инструмент может работать лишь в такой обстановке, когда руководство поощряет работников, указывающих на дефекты оборудования, несовершенство систем управления и организации работ, процедур контроля, тех, кто не скрывает своих ошибок и привлекает коллег к поиску решения, что предотвращает повторения неправильных шагов. Таким образом, происходит накопление положительного потенциала и укрепление позиций безопасности.

Особое место занимает обучение культуре безопасности, которое включает в себя анализ событий, связанных с проблемами безопасности, и разработку предложений по снижению опасности или риска. Эффективность обучения существенно возрастает при непосредственном контакте человека с оборудованием и участии его в технологическом процессе. Для целей обучения могут быть использованы специальные тренажеры.

Весьма полезны коллективные обсуждения вопросов безопасности на ведомственном уровне. Для этого формируются комитеты, куда входят представители руководства и рабочих коллективов, рассматривающие регулярные отчеты и предложения по дальнейшему усовершенствованию систем безопасности, их ревизии, профилактике и контролю. Эти комитеты устанавливают контакты с коллегами из других организаций и смежных областей для обмена опытом и новыми идеями.

Особое значение придается документации по безопасности со своевременным и точным отражением фактической ситуации. Работники должны быть уверены, что такая информация нужна руководству и по ней будут приняты меры. Игнорирование

ее, наоборот, приведет к падению доверия к провозглашенной позиции руководства и в дальнейшем – к снижению уровня культуры безопасности.

Традиционный учет произошедших нарушений и событий, связанных с безопасностью объекта, говорит о пассивной позиции организации. Степень активности работы по повышению безопасности может характеризоваться следующими показателями:

- количеством работников, прошедших переподготовку по вопросам безопасности за определенный период времени;

- количеством предложений по повышению безопасности, реализованных за отчетный период;

- числом инспекций по вопросам безопасности, проведенных первыми руководителями;

- количеством предложений, поступивших от коллектива работников и направленных на повышение безопасности;

- числом регулярных организационных встреч, повестка дня которых включала вопросы безопасности.

Внедрение принципов культуры безопасности и доведение их до конкретного индивидуума невозможно без научных методов изучения поведения человека, которое диктуется мотивами, сформированными на подсознательном уровне. Поэтому внедрение на предприятии методов психофизиологического обследования позволит с определенной вероятностью отслеживать динамику изменения культуры безопасности человека.

Недостаточно развитой культуре безопасности присущи некоторые общие признаки, к которым относятся:

- снижение внимания к проблемам безопасности под давлением экономических обстоятельств;

- поверхностное определение причин отклонений от нормальной эксплуатации; замкнутость предприятий в своей среде;

- удовлетворенность руководителей достигнутыми результатами, что ведет к снижению активности персонала и падению уровня культуры безопасности;

- стремление избежать проведения независимых проверок и экспертиз;

- частое привлечение людей к работе сверх графика;

- низкое качество обучающих программ;

- допуск к ответственным операциям персонала без соответствующей квалификации;

- низкое качество инструкций.

Один из важных вопросов безопасности – использование на АЭС постсоветских государств национального языка. Особенности правового регулирования по отношению к порядку использования языка могут привести к далеко идущим последствиям.

Один и тот же человек может быть участником нескольких языковых сред, под которыми понимается общность людей, говорящих на определенном языке и использующих одни и те же традиции, символы, нормы. При этом в разных профессиональных сферах (военной, политической, медицинской и т. д.) применяются определенные наборы специальных терминов, слов и сочетаний, которые облегчают взаимопонимание и взаимодействие внутри соответствующих служб и организаций.

С учетом исторически сложившихся условий вся проектная, научная и эксплуатационная документация на АЭС выполнена на русском языке. Персонал, эксплуатирующий блоки АЭС, проходил обучение и подготовку на русском языке. Существует ряд примеров, когда директор АЭС, который не знает украинского языка, готовит

необходимый документ в вышестоящую организацию, привлекая переводчика. Чиновник из вышестоящей организации, также не владеющий украинским языком, получив документ, вынужден в свою очередь привлекать другого переводчика для обеспечения обратного перевода. Подобные ситуации, доводящие языковую проблему до абсурда, вызвали бы улыбку, если бы в этом процессе не происходила потеря части информации, имеющей отношение к вопросам безопасности.

Поэтому законодательство по использованию национального языка в ядерной энергетике и промышленности необходимо внедрять поэтапно, крайне осторожно и только на основе реальных социальных потребностей. При этом должны предусматриваться не только полноценное изучение украинского языка, но и целый ряд квалификационно-аттестационных процедур, начиная от экзаменов в общеобразовательных школах и заканчивая допуском на рабочее место оператора ядерной установки.

Говоря о культуре безопасности, нужно еще раз акцентировать внимание на обязательности разграничения вопросов безопасности с политическими амбициями конкретных групп людей, промышленных корпораций, ведущих активную борьбу за рынки и сферы деятельности. Одним из результатов такой борьбы стало прекращение эксплуатации Чернобыльской АЭС, снижение энерговооруженности и национальной безопасности Украины, повышение роли западных технологий.

Но есть и другой пример. В Голландии персонал АЭС «Борселе» опротестовал правительственное решение о закрытии станции в 2003 г. как вызванное политическими соображениями, обратившись в Высший административный суд страны с

целью продолжения эксплуатации и сохранения рабочих мест. Одновременно началась подготовка общественного мнения. Основной упор делался на достигнутом уровне безопасности и показателях, характеризующих этот уровень. Итогом этой борьбы стало признание правительственного решения незаконным и подлежащим отмене.

7.6. РАБОТА С ОБЩЕСТВЕННОСТЬЮ

Результаты проведенного в 2005 г. в Украине социологического исследования общественного мнения относительно состояния и развития ядерной энергетики показали, что около 30 % респондентов считают ее основным источником электрической энергии в Украине в будущем. Тем не менее, более 50 % опрошенных отрицательно относятся к строительству новых энергоблоков АЭС на территории Украины, 40 % называют украинские АЭС небезопасными в экологическом плане, а более 80 % населения практически не имеют никакой информации о перспективах и планах развития атомной энергетики.

Отношение общества к ядерной энергетике оставляет желать лучшего не только в Украине.

По результатам опроса общественного мнения в США, атомная энергетика занимает первое место по опасности. В то же время по официальным статистическим данным США о связи смертельных случаев с действующими вредными факторами, первое место по смертности на 100 тысяч населения занимает курение, в результате которого ежегодно погибает 75 человек. После этого следуют алкоголизм, езда на автомобиле, электричество, плавание, пожары, авиация и т. д., и только на 20-м мес-

те по опасности – атомная энергетика. Анализ этих фактов свидетельствует о ложном представлении населения об опасности радиационного воздействия.

Поэтому специалисты по работе с населением, средства массовой информации и все те, кто формирует общественное мнение, должны донести правду о ядерной энергетике, используя документальные данные о приносимых пользе и вреде.

В докладе о допустимости риска при функционировании ядерных установок, подготовленном Исполнительным комитетом по здравоохранению и безопасности Великобритании, годовой риск неконтролируемого отказа или аварии ядерной системы установлен на уровне 10^{-6} . С социальной точки зрения уровень риска не должен превышать одной неконтролируемой аварии за 1000 лет, а риск аварии с выбросом радиации мощностью дозы выше 100 Зв на расстояние 3 км – 10^{-6} . В заключении доклада отмечается, что не административные органы, а общественность должна взвешенно оценивать преимущества ядерной энергетике.

Программы развития атомной энергетики могут успешно осуществляться только при поддержке населения страны. Необходимо, чтобы общественность участвовала в принятии решений о строительстве АЭС, в контроле над системами атомной энергетики. Люди должны быть уверены в том, что ядерные технологические процессы находятся под надежным контролем, причем предоставляемая информация должна быть исчерпывающей.

Главные причины, вызывающие негативное отношение к атомной энергетике, нами уже назывались: нерешенность вопроса окончательного захоронения радиоактивных отходов и отработавшего ядерного

топлива; нерешенность проблемы «Укрытия», несмотря на значительные финансовые вложения как из государственного бюджета, так и со стороны международного сообщества; радиофобия.

Что касается первых двух причин, для их устранения требуются срочные действия по реализации соответствующих намеченных программ. Когда же речь идет о радиофобии – чрезмерном (порой – остром, чаще – хроническом) страхе человека за свое здоровье, до абсурда преувеличенном средствами массовой информации, требуется кропотливая, постоянная разъяснительная работа.

Например, нелишне напомнить, что до 1940-х гг. умеренные дозы ионизирующего излучения считались полезными для здоровья. Типичными курьезами того времени были пропитанные радием одеяла, эманаторы для приготовления радиоактивной питьевой воды, а также запатентованный в 1931 г. в Берлине шоколад, в который добавляли радий, чтобы избавить людей от необходимости дорогостоящих поездок к радоновым минеральным источникам.

Церковь активно использовала в религиозных целях свойства некоторых водных источников: раны, смоченные водой из них, заживали гораздо быстрее. Священнослужители объясняли это божественной силой воды, но все оказалось значительно проще: как выяснилось, это источники с повышенным содержанием естественной радиоактивности. Люди веками употребляли эту воду, всегда считали ее лучшей для питья, обладающей целебными свойствами.

После применения ядерного оружия в Японии и повышения естественного радиоактивного фона вследствие наземных ядерных испытаний возросло опасение отдаленных генетических последствий, которое

было опровергнуто путем тщательного медицинского наблюдения трех поколений жителей Хиросимы и Нагасаки, переживших ядерную бомбардировку, специалистов-атомщиков, рентгенологов, а также других слоев населения. Увеличения частоты уродств и прочих врожденных отклонений у населения, проживающего в регионах с очень высокими уровнями естественной радиоактивности, также не выявлено.

Одна из основных задач специалистов по радиологии и радиационной безопасности – объяснить, что же представляет собой доза облучения в соотношении с реальными рисками. Дозу в 1 мЗв получает человек при проведении одного рентгенологического снимка легких. А подвергая себя полному рентгенологическому обследованию желудочно-кишечного тракта, он за один раз получает от 350 до 450 мЗв. Эта доза сопоставима с пожизненной дозой, предлагаемой учеными еще в 1986 г., превышение которой требовало отселения жителей с территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению вследствие аварии на Чернобыльской АЭС. Но когда пожизненный уровень в 350 мЗв был вынесен на обсуждение без дополнительных объяснений и сравнений, то поднялась такая волна общественного возмущения, которая заставила отказаться от реальной и научно обоснованной концепции радиационной защиты. Поэтому сначала нужно дать минимальные радиологические знания, проиллюстрировать их конкретными примерами и фактами из повседневной жизни, а затем уже проводить дискуссии о приемлемости концепции радиационной защиты.

Вот тогда и следовало бы сказать, что доза, которую получит человек на загрязненной территории за 70 лет, такая же, как и при трехкратном рентгенографическом

сканировании органов пищеварения, и акцентировать внимание на проявлении совершенно иных механизмов воздействия ее на организм. Ведь можно принять 350 таблеток аспирина за один раз или в течение 70 лет. В первом случае человек умрет, а во втором – с ним ничего не произойдет.

Когда ученые говорят о беспороговой концепции действия ионизирующей радиации, они говорят о гипотезе, перенося последствия облучения из области больших доз в область малых.

Если бы действительно любое повышение облучения вело к повышению отрицательных эффектов, то на земном шаре в зависимости от величины естественной радиоактивности окружающей среды менялось бы и здоровье людей: чем выше естественный фон – тем меньше продолжительность жизни, тем выше частота наследственных заболеваний. Но это не так.

Более того, были проведены прямые опыты, которые показывают, что если живые организмы и растения поместить в среду, полностью экранированную от радиационного фона, то они не могут нормально развиваться: происходит угнетение организма вплоть до его гибели. Проводились опыты и на мышах. Партию мышей делили пополам, содержали в одних и тех же условиях. Но одну группу мышей поили слегка радиоактивной водой, а вторую – водой, очищенной от радиоактивных веществ. Те мыши, которые пили радиоактивную воду, жили дольше.

Не существует данных, подтверждающих то, что если человек ежегодно получает 0,3 Зв на протяжении всей своей жизни, то это вызывает какие-то отклонения в его здоровье либо в потомстве.

Величины риска облучения, которыми пользуется весь мир, получены из анализа

последствий облучения жителей городов Хиросима и Нагасаки – последствий больших доз, а перенос этих рисков в область малых доз осуществляется формально по линейной беспороговой зависимости «доза–эффект». Правомерность такого подхода научно не доказана.

Среди японцев, перенесших атомную бомбардировку, прежде всего умерли те, кто получил большую дозу, несовместимую с жизнью. Но всеобщего сокращения продолжительности жизни у облученных не отмечается. Напротив, у людей, получивших умеренные или малые дозы облучения, продолжительность жизни в среднем на два года больше, чем у остального населения Японии. Конечно, этой категории людей уделяется особое социальное и медицинское внимание.

Как преступно пропагандировать войну, межнациональную рознь, терроризм, в такой же степени преступно распространять в угоду чьим-то интересам лживые сведения об особой опасности радиации для жизни человека и его детей, сеять неуверенность, создавать условия всеобщего психоза. «Телевидение много сделало для психиатрии – как распространяя информацию о ней, так и повышая потребность в ней», – заметил Альфред Хичкок.

Многие умозаключения выстраиваются на эмоциональных схемах гуманизма, но на самом деле создают дискомфорт в жизни людей, толкают их на совершение необдуманных поступков. Человек бросает нажитое, рвет связи с землей, родным домом, своими близкими. И все это предпринимается ради того, чтобы снизить риск, равнозначный риску заболеть, выкурив одну пачку сигарет.

Важно, чтобы люди понимали, что уровень риска возникновения каких-либо забо-

леваний, связанных с аварией на Чернобыльской атомной электростанции, чрезвычайно малы. По самым пессимистическим оценкам, выработка 1 МВт · ч электроэнергии, производимой на атомных станциях за 100 000 лет, может вызвать 0,65 случаев смертельного рака. Для сравнения, число смертей при производстве такого же количества электроэнергии с использованием нефти составит 93, а с использованием угля – 230.

Несмотря на радиофобию, терапевтические процедуры с использованием радиационного излучения при лечении заболеваний суставов, а также лечение радоном болезни Бехтерева неизменно популярны. Например, в немецком центре лечения висмутом несколько лет назад заново открыта старая радоновая ванна. Ежегодно только в 17 радоновых лечебницах Германии, Австрии и Чехии проходят лечение около 75 тыс. пациентов. Успех длительного лечения радиоактивностью, в отличие от краткосрочного приема смягчающих боль медикаментов, несущих серьезные побочные последствия, такие как желудочные и кишечные кровотечения, был неоднократно доказан.

В радоновых источниках Винницкой области проходят санаторно-курортное лечение тысячи людей как до, так и после Чернобыля. При этом люди понимают, что радон – радиоактивный газ, а природный радиационный фон на курорте превышает средний по Украине в 10–80 раз в зависимости от близости к поверхности радиоактивных источников. Причем продолжительность жизни у местных жителей выше, чем в других регионах Украины.

Специалистам следует непременно задуматься о возможности эпидемии радиофобии. Риски в результате минимальных доз облучения до сих пор не выявлены,

несмотря на предпринимаемые на протяжении длительного времени значительные усилия. Специалисты с высоким уровнем научной репутации, которые противопоставляют свои взгляды действующим в настоящее время догмам, должны рассказать широкой аудитории об активной деятельности международных советов, научных обществ, исследовательских центров по сбору научных данных и применению их в анализе «затраты–польза» для выработки новых подходов в нормировании доз облучения и обеспечении радиационной защиты населения, противоречащих линейной модели.

Ученые-радиобиологи занимают активную позицию в борьбе с радиофобией и предлагают следующие меры:

просвещение населения и работников средств массовой информации относительно фактического воздействия малых доз облучения;

полный отказ от беспороговой концепции;

разработку норм облучения от искусственных источников излучения в соответствии с современным уровнем научных достижений.

Очевидно, что страны, признающие и активно развивающие ядерную энергетику, должны прилагать усилия для просветительской работы среди общественности с целью убеждения последней в одобрении долгосрочных программ развития ядерной энергетики, оперируя не эмоциями, а достоверными фактами, цифрами и научными методами исследований. Возможным решением первоочередных вопросов может стать создание соответствующих общественных фондов, которые будут поддерживать исследовательские программы, публикации и просветительские мероприятия.

Глава 8. ВИДЕНИЕ БУДУЩЕГО ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АТОМНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Подлинный оптимизм покоится не на убеждении, что все будет хорошо, а на убеждении, что не все будет плохо.

Ж. ДЮТУР

8.1. ПРОМЫШЛЕННАЯ ПЛОЩАДКА

Текущее состояние зоны отчуждения Чернобыльской АЭС и перспективы, связанные с преобразованием объекта «Укрытие», делают маловероятным доведение промышленной площадки станции до состояния «зеленой лужайки» в обозримом будущем. Здесь еще долго будут проводиться работы по снятию с эксплуатации, извлечению из реакторных установок энергоблоков и объекта «Укрытие» радиоактивных отходов и ядерных материалов, а также по хранению их в специально созданных хранилищах.

На основе предпроектных исследований, проведенных на первой фазе проекта преобразования объекта «Укрытие», было принято программное решение о предварительной стратегии извлечения топливных масс и обращения с РАО, где предусмотрено, что массовое извлечение топливосодержащих масс из объекта «Укрытие» станет возможным через 30–50 лет при условии создания в рамках национальной программы Украины по обращению с РАО специального хранилища для окончательного захоронения долгоживущих высокоактивных отходов. Исходя из этого, в качестве одного из базовых критериев для проектирования и строительства безопасного конфайнмента был принят срок его эксплуатации не менее 100 лет.

Для оценки прогноза деградации топливосодержащих масс и внедрения програм-

мы долгосрочного контроля их состояния для раннего выявления существенных изменений Институт проблем безопасности АЭС Национальной академии наук Украины и Российский научный центр «Курчатовский институт» ведут разработку соответствующей программы контроля, которая должна поддерживать предварительную стратегию извлечения топливосодержащих масс.

До реализации этой стратегии в ходе работ по стабилизации строительных конструкций, возведению нового конфайнмента и осуществлению раннего демонтажа нестабильных конструкций вопросы обращения с РАО будут решаться в рамках интегрированной программы обращения с РАО на этапе прекращения эксплуатации Чернобыльской АЭС и преобразования объекта «Укрытие» в экологически безопасную систему. В этой программе разработана стратегия обращения с РАО как на ближайшие 15–20 лет, так и на перспективу до 2050 г.; намечены конкретные практические мероприятия; выполнено обоснование проектирования и строительства новых и реконструируемых объектов на площадке Чернобыльской АЭС для обращения с отходами; сформулированы требования к инфраструктуре; определена документация, представляемая в регулирующие органы; подготовлено обоснование дополнительного финансирования для реализации интегрированной программы обращения с РАО на Чернобыльской АЭС.

В настоящее время Чернобыльская АЭС разрабатывает стратегию обращения с топливосодержащими материалами и РАО на краткосрочную перспективу и определяющую программу действий по извлечению топливосодержащих масс и обращению с РАО. Она предусматривает извлечение, кондиционирование и хранение топливосодержащих масс и радиоактивных материалов при проведении работ по преобразованию объекта «Укрытие» в экологически безопасную систему. При этом необходимо обеспечить:

- контроль состояния топливосодержащих масс и технологических операций по извлечению ядерных материалов;

- учет ядерных материалов в перемещаемых упаковках и контейнерах;

- соблюдение требований по постановке на учет ядерных материалов;

- сбор, анализ и представление информации о быстро и медленно протекающих процессах;

- анализ и выдачу заключения о состоянии объекта «Укрытие»;

- контроль за хранением упаковок и контейнеров с ядерными материалами в хранилищах;

- инспектирование состояния объекта «Укрытие» с осуществлением прогноза поведения топливосодержащих материалов, изменения радиационной обстановки и состояния строительных конструкций, пожарной опасности объекта.

Принимая во внимание состояние системы обращения с РАО в Украине, создание на территории площадки Чернобыльской АЭС мощного комплекса по переработке и захоронению РАО со всех АЭС Украины может стать одним из жизнеспособных вариантов ее использования для целей развития атомной энергетической отрасли.

В настоящее время на площадке осуществляется строительство комплексов для переработки и последующего хранения РАО, образовавшихся в процессе эксплуатации Чернобыльской АЭС и ликвидации последствий аварии 1986 г., а также отходов, которые будут образовываться в процессе ведения работ по снятию с эксплуатации энергоблоков Чернобыльской АЭС и преобразованию объекта «Укрытие» в экологически безопасную систему. Но при принятии должной стратегии и достаточном финансировании мощности этих комплексов можно расширить не только с целью переработки отходов со всех АЭС Украины, но и АЭС других стран. Сегодня этот подход вызывает противодействие со стороны общественности Украины, но целенаправленная политика разъяснения его экономической целесообразности, подкрепленная соблюдением принципов экологической безопасности, в ближайшее время может дать положительный результат.

Разрабатываемые технологии и методы снятия с эксплуатации ядерных энергетических установок Чернобыльской АЭС, в том числе по преобразованию объекта «Укрытие» в экологически безопасную систему, будут востребованы в будущем как в Украине, так и за ее пределами. Поэтому актуально и второе направление по использованию площадки Чернобыльской АЭС как полигона для разработки и внедрения новых технологий по снятию с эксплуатации и отработки методов и технологий ликвидации крупных техногенных аварий.

Площадку станции целесообразно использовать в качестве лабораторной и практической базы при подготовке специалистов в областях: снятия с эксплуатации; ликвидации аварий; дезактивации; радиационной защиты; экологии; обращения с

отработавшим ядерным топливом и радиоактивными отходами.

Первый энергоблок станции, день пуска которого стал и днем рождения атомной энергетики Украины, можно превратить в музей атомной энергетики Украины, посещение которого будет интересным не только для специалистов, но и студентов и широкой общественности.

Конечно же, площадку Чернобыльской АЭС необходимо использовать для размещения на ней новых ядерных энергетических установок. Возможно, это будет исследовательский реактор, который нужен государству, развивающему атомную энергетику и промышленность. При благоприятной экономической ситуации в Украине следует рассматривать вопрос строительства блока АЭС нового поколения на чернобыльской площадке. И это будет правильно, поскольку Украина не настолько богата, чтобы не задействовать имеющуюся инфраструктуру Чернобыльской АЭС, квалифицированный коллектив инженеров и рабочих для развития энергетической отрасли во благо процветания государства.

8.2. ЗОНА ОТЧУЖДЕНИЯ

В настоящее время на более чем 800 объектах внутри 30-километровой зоны отчуждения Чернобыльской АЭС сосредоточены исключительно большие объемы радиоактивных отходов и радиоактивно загрязненного оборудования. Часть из них захоронена в траншеях навалом, часть — в контейнерах, изолированных от воздействия грунтовых вод глиняными или бетонными барьерами, а большое количество загрязненного оборудования, военной, вертолетной и строительной техники, двига-

телей и автомобилей хранятся на открытых площадках.

Траншеи для захоронения радиоактивных отходов, вырытые сразу после аварии в непосредственной близости от четвертого энергоблока, не имеют никакого внутреннего покрытия. В них содержатся радиоактивные материалы, накопившиеся в деревьях, траве и грунте на глубине 10–15 см, которые были удалены при помощи бульдозеров с загрязненных территорий и площадки станции. В соответствии с проведенными оценками, их радиоактивность составляет порядка 1 ПБк.

Временные сооружения для захоронения РАО (в виде траншей или буртов) позволили предотвратить опасную воздушную миграцию радионуклидов в результате ветрового подъема и переноса радиоактивной пыли. В силу специфики условий производства работ по дезактивации техническая, проектная и исполнительная документация для этих временных сооружений не составлялась. Их конструктивные строительные решения определялись выбранной технологией в условиях необходимости максимально быстрого возведения. Значительная часть информации относительно нынешнего состояния не имеющих внутреннего покрытия траншей-захоронений получена в ходе специального обследования, по результатам которого сделаны следующие выводы:

уровень грунтовых вод на территории Чернобыльской АЭС повысился на 11,5 м и достиг отметки 4 м ниже уровня земли. По всей видимости, это произошло в результате строительства в 1986 г. стены в грунте вокруг площадки аварийного энергоблока (стена длиной 3,5 км и глубиной 35 м сооружена для защиты Киевского водохранилища от возможного распростра-

нения радиоактивного загрязнения через подземные воды), а также из-за прекращения работ по осушению территорий, которые проводились в связи со строительством пятого и шестого энергоблоков Чернобыльской АЭС;

большинство обследованных захоронений траншейного типа периодически или постоянно находятся в затопленном состоянии;

верхние незакрытые водоносные горизонты практически везде имеют радиоактивное загрязнение ^{90}Sr до уровня, превышающего 4 Бк/л. Загрязнение цезием и плутонием как менее мобильными элементами ограничивается участками, непосредственно прилегающими к траншеям захоронения РАО.

Таким образом, конструкции временных пунктов локализации и захоронения РАО в зоне отчуждения Чернобыльской АЭС, их территориальное расположение не соответствуют нормативным документам, регламентирующим обращение с радиоактивными отходами в Украине.

В зоне отчуждения на пунктах временной локализации и хранения отходов сосредоточено 3720 м³ твердых РАО и около 800 м³ жидких. Объемы, активность и некоторые другие характеристики этих пунктов приведены в табл. 8.1.

Захоронение РАО, образующихся в зоне отчуждения Чернобыльской АЭС, производится в приповерхностном хранилище «Буряковка». Созданное в первый год после аварии для захоронения отходов чернобыльского происхождения, оно представляет собой хранилище траншейного типа, состоящее из 30 траншей с гидроизоляционным слоем глины толщиной 1 м на дне траншей. В настоящее время хранилище почти полностью заполнено.

Деятельность по обращению с РАО в зоне отчуждения Чернобыльской АЭС осуществляет государственное предприятие «Комплекс», входящее в объединение «Радон». Задачами «Комплекса» являются сбор РАО в наиболее интенсивно загрязненных местах зоны отчуждения, транспортировка РАО, мониторинг и эксплуатация действующих и обслуживание законсервированных объектов, дезактивация, а также захоронение РАО на пункте захоронения радиоактивных отходов «Буряковка».

В течение уже многих лет администрация зоны отчуждения Чернобыльской АЭС ведет исследования и разработки, связанные с созданием целостной системы обращения с РАО, образовавшимися в результате аварии на Чернобыльской АЭС. К сожалению, практических результатов нет, несмотря на значительные финансовые вложения в создание комплекса производств по дезактивации, транспортировке, переработке и захоронению радиоактивных отходов с загрязненных территорий, получившего название «Вектор».

Задание на проектирование комплекса «Вектор» было утверждено в декабре 1987 г. В 1990 г. технико-экономическое обоснование сооружения прошло согласование и утверждение профильных министерств и ведомств, после чего выдано задание на проектирование комплекса. В его состав входят производство по контейнеризации и транспортировке РАО, опытное производство по дезактивации металла, экспериментальное производство по доводке новой техники, а также созданию специальной техники и технологий, производство по сжиганию, прессованию и дезактивации радиоактивных материалов. В новой системе хранилищ «Вектор» предполагается захоранивать отходы, возникающие в ре-

Таблица 8.1. Пункты временного хранения и локализации радиоактивных отходов в зоне отчуждения Чернобыльской АЭС

Наименование мест хранения и локализации РАО	Объем отходов, м ³	Средняя удельная активность	
		β, Бк/г	α, Бк/г
Пункты временного хранения РАО			
Буряковка	590 000	180	2,5
Подлесный	3960	123 000	1800
Комплексный	26 200	1780	26
Пункты временной локализации РАО			
Рыжий лес	500 000	1030	16
Станция «Янов»	211 600	94	1,4
Нефтебаза	154 400	224	3,5
Песчаное плато	90 800	105	1,6
Стройбаза	484 000	100–1000	1,6–16
Станция «Семиходы»	167 000	100–1000	1,6–16
Новая стройбаза	240 000	100	1,6
Копачи	250 000	10–100	0,1–1
Чистоголовка	160 000	10	< 0,37
Всего	2 917 960	—	—

зультате ликвидации последствий чернобыльской аварии; отходы, образующиеся в результате снятия энергоблоков с эксплуатации и поступающие с заводов по переработке жидких и твердых РАО.

Проектируемая система захоронения будет состоять из нескольких типов приповерхностных хранилищ. Одно из них, предназначенное преимущественно для захоронения отходов, поступающих с заводов по переработке жидких и твердых РАО, накопленных в процессе эксплуатации Чернобыльской АЭС, и отходов, полученных в результате ликвидации последствий аварии, в настоящее время находится на стадии сооружения. Это хранилище представляет собой две секции модулей, выполнен-

ных из монолитного железобетона. Его основание выполнено из бетона с гравийным наполнителем. Ниже слоя бетона проложены две водоизолирующие полиуретановые пленки, между которыми находится дренажный слой песка. Под пленками идет слой уплотненной глины.

Каждый модуль будет заполняться по периметру двумя рядами железобетонных контейнеров с отходами, поступившими с завода по переработке твердых отходов, середина модуля – бочками, поступающими с завода по переработке жидких отходов. Каждый ярус бочек заливается цементно-песчаным раствором. После заполнения каждого модуля выполняется его первичное перекрытие, состоящее из слоя бето-

на, слоя битума и водонепроницаемой полиуретановой пленки. Когда все модули заполнятся, хранилище будет закрыто покрытием, состоящим из слоев песка, битума, щебня и глины.

По всей видимости, обращение с радиоактивными отходами является необходимым и, пожалуй, единственным видом деятельности, который еще долго будет актуальным в зоне отчуждения.

Размеры же самой зоны отчуждения Чернобыльской АЭС можно уточнить и значительно уменьшить, но, в любом случае, часть ее останется на длительное время вне хозяйственного оборота. Но и с той частью, которую уже сейчас можно вернуть в хозяйственный оборот, не стоит спешить. Во-первых, земли украинско-белорусского Полесья не обладают высокими плодородными свойствами, а на территории Украины достаточно других пустующих и гораздо более плодородных земель. Во-вторых, для создания работоспособной инфраструктуры на возвращаемых в оборот землях требуются большие капитальные затраты, для которых Украина сегодня не готова, а старая инфраструктура практически полностью разрушена и не подлежит восстановлению. Да и вряд ли стоит ожидать массового добровольного возвращения жителей на территории, которые по сей день относятся к радиоактивно загрязненным.

Деятельность целого ряда предприятий и организаций, расположенных в зоне повышенного радиационного риска и осуществляющих административные, управленческие и обслуживающие функции (администрация зоны, прокуратура, медицинская часть, пожарная часть, лесхоз, магазины, столовые и т. д.), не обусловлена насущной необходимостью. К тому же и поныне на них осуществляется вахтовый режим рабо-

ты персонала, который автомобильным транспортом доставляется в зону отчуждения из Киева, Иванкова и других городов Украины. Тщательный анализ деятельности этих предприятий и организаций позволит сократить их количество и численность персонала. На территории зоны отчуждения должны остаться только те предприятия, технологии которых требуют присутствия персонала именно в этом месте. К таким технологиям следует отнести деятельность по снятию станции с эксплуатации, преобразованию объекта «Укрытие», обращению с РАО и ОЯТ. И даже в этом случае не все рабочие места должны быть расположены в зоне отчуждения. Управленцы, экономисты, бухгалтера, кадровые и социальные службы, профкомы и другие подобные структуры должны находиться вне зоны отчуждения, например на территории г. Славутича.

Необходимо, наконец, ликвидировать вахтовый режим работы персонала в зоне отчуждения. Для этого можно и нужно на рабочие места предприятий зоны отчуждения принимать работников Чернобыльской АЭС, проживающих в Славутиче и сокращаемых в связи с выводом из эксплуатации энергоблоков станции. Таким образом будет обеспечена социальная защита персонала Чернобыльской АЭС и жителей г. Славутича.

Саму зону отчуждения целесообразно объявить радиоэкологическим заповедником, в котором представители различных стран смогут вести научные исследования процессов воздействия ионизирующих излучений на объекты природной среды. Кстати, и в этом случае нет необходимости постоянного присутствия самих ученых в зоне радиоактивного загрязнения. В Славутиче создана и действует Международ-

ная радиоэкологическая лаборатория, оснащенная современным аналитическим лабораторным оборудованием, миссией которой является оказание научно-технической поддержки любым исследовательским организациям и отдельным лицам по исследованию радиоэкологии зоны отчуждения. В саму же зону исследователи имеют возможность выезжать только для отбора проб окружающей среды.

8.3. ГОРОД СЛАВУТИЧ

На площадке Чернобыльской АЭС работает около четырех тысяч человек. Все они проживают в Славутиче, общая численность населения которого в настоящее время составляет 26 тыс. человек. Город является монопрофильным, поскольку он построен для обслуживания единственного предприятия – Чернобыльской АЭС. За счет прибыли от продажи электроэнергии, вырабатываемой энергоблоками Чернобыльской АЭС, финансировалась вся инфраструктура Славутича: транспорт, коммунальное хозяйство, образование, медицина, торговля. С закрытием станции исчез единственный источник его финансирования. Многие люди остались без работы.

Правительство Украины принимает меры по трудоустройству персонала станции, который высвобождается в процессе снятия станции с эксплуатации. Возможными местами для трудоустройства персонала являются: специализированное государственное предприятие по снятию с эксплуатации, объект «Укрытие», строящиеся заводы по обращению с радиоактивными отходами и отработавшим ядерным топливом, предприятия зоны отчуждения и частного бизнеса. Но эти организации не смо-

гут принять всех лиц, которые будут уволены с Чернобыльской АЭС. Часть людей уедет в другие города, но останутся те, кому уезжать некуда; для них необходимо создавать новые рабочие места в Славутиче. Выплата увольняемому персоналу денежных компенсаций, переподготовка, социальное и медицинское обслуживание предусмотрены «Программой социальной защиты персонала Чернобыльской АЭС и жителей г. Славутича в связи с закрытием Чернобыльской АЭС», но она не решает всех проблем.

Многие страны имеют опыт закрытия предприятий, например угольных шахт, и закрытия, в связи с этим, монопрофильных городов. Там увольняемым работникам выплачиваются компенсации, и они уезжают в другие места, где есть работа. В случае с Чернобыльской АЭС государство не может поступить подобным образом, потому что персонал станции существенно отличается от персонала других организаций. После аварии 1986 г. правительство пригласило людей для выполнения работ по ликвидации ее последствий. Они оставили свои квартиры, друзей, родственников и переехали на постоянное место жительства в Славутич с уверенностью в своем будущем и будущем своих детей. Это те, кто ликвидировал аварию, в сложных радиационных условиях построил объект «Укрытие», запустил повторно три энергоблока и вырабатывал электрическую энергию. Чтобы они не чувствовали себя обманутыми, общество обязано создать условия для использования их опыта в энергетической отрасли Украины, максимально уменьшить моральные и экономические потери. От имени народа Украины правительство должно высказать слова благодарности этим людям за ту работу, кото-

рую, они выполняли на Чернобыльской АЭС, а руководство отрасли – сделать все возможное, чтобы их знания и опыт были востребованы.

После останковки последнего работающего энергоблока в декабре 2000 г. Чернобыльская АЭС перешла на полное финансирование из государственного бюджета Украины. На базе Чернобыльской АЭС создано государственное специализированное предприятие ЧАЭС (ГСП ЧАЭС), основными направлениями деятельности которого являются снятие энергоблоков станции с эксплуатации и преобразование объекта «Укрытие» в экологически безопасную систему. На предприятии проводится постоянная работа по высвобождению персонала Чернобыльской АЭС в соответствии с Комплексной программой снятия с эксплуатации. Правительство Украины определило механизм реализации дополнительных государственных гарантий.

Стратегические действия администрации г. Славутича в первую очередь направлены на сохранение и развитие имеющейся инфраструктуры, а также создание новых технологических производств, связанных с деятельностью основного предприятия ГСП ЧАЭС, и условий для развития малого и среднего бизнеса. Учитывая достаточно высокий интеллектуальный кадровый потенциал города, представляется целесообразным приоритетное развитие научно-технической деятельности и системы образования.

В 1997 г. для решения социальных проблем, связанных с закрытием Чернобыльской АЭС, разработан совместный проект ЕС – Украины – США «План действий», предусматривавший некоторые возможности альтернативного трудоустройства персонала Чернобыльской АЭС в рамках Ме-

морандума о закрытии АЭС. Но даже максимальная реализация этого проекта позволила бы трудоустроить лишь 2200 человек, т. е. не более 20 % всех работавших на тот период на станции и в ее структурных подразделениях. Скептическое отношение к заявленным в Плане рекомендациям и их возможной эффективности для Славутича объясняется также упущенным временем для полной реализации этих рекомендаций и отсутствием необходимых финансовых ресурсов. Тем не менее в соответствии с Планом в г. Славутиче созданы Агентство по развитию бизнеса, Союз производителей товаров и услуг, Общественный совет по развитию города, Бизнес-инкубатор, т. е. организационные механизмы, заявленные в Плане.

Естественно, возникает вопрос о целесообразности и эффективности использования средств, предназначенных для реализации «Плана действий». Распыление их на создание дублирующих, в том или ином виде, структур, при отсутствии в городе реальных работодателей и источников формирования городского бюджета вряд ли будет оправданно как с финансовой, так и с морально-этической точки зрения. Например, не имеет практической ценности создание нового медицинского реабилитационного центра для персонала объекта «Укрытие», когда в городе существует огромнейшая медико-санитарная часть с невысоким коэффициентом использования площадей и медицинского персонала.

Основываясь на реальной стоимости создания рабочих мест и использовании льготного режима предпринимательства, вложив финансовые средства в развитие производств в Славутиче, имеет смысл направлять большую часть финансовых средств от международных проектов, вы-

полняемых в рамках Меморандума о закрытии Чернобыльской АЭС, на развитие уже существующих предприятий и организаций города. К тому же созданные по «Плану действий» организационные структуры совместно с городскими властями могли бы разработать критерии и условия кредитования производственных проектов в приоритетных для города направлениях его развития.

Особое внимание следует уделить вопросам трудоустройства высококвалифицированной части персонала Чернобыльской АЭС. Данной категории необходимо создать все условия для интеллектуального труда. Это должны быть рабочие места в организациях, занимающихся вопросами научно-технической поддержки отрасли. В качестве примера можно привести создание в 1997 г. Славутичской лаборатории международных исследований и технологий в рамках чернобыльских инициатив Программы повышения ядерной безопасности АЭС советской конструкции, финансируемой правительством США, при содействии администрации Чернобыльской АЭС и исполнительного комитета г. Славутича. Штат Лаборатории укомплектован специалистами из числа персонала Чернобыльской АЭС.

Основными направлениями деятельности Лаборатории являются:

- ядерная и радиационная безопасность;
- снятие с эксплуатации;
- радиоэкология.

За время существования Лаборатории создана инфраструктура, соответствующая всем требованиям мировых стандартов: установлено лабораторное и компьютерное оборудование; обучен персонал; получены лицензии на осуществление специальных видов деятельности в атомной энергетике;

внедрена система обеспечения качества услуг, предоставляемых для сторонних организаций; действует компьютерный банк ядерных данных, который включает в себя все известные мировые библиотеки цифровой и реферативной информации о взаимодействии ионизирующих излучений с различными средами, элементами и изотопами.

В условиях специфики г. Славутича помощь стран-доноров является практически единственным источником финансирования региона. Максимально эффективное освоение этих средств городскими предприятиями и организациями с использованием имеющихся в городе специалистов позволит заложить прочный фундамент для осуществления диверсификации экономики города в связи с досрочным закрытием Чернобыльской АЭС.

К сожалению, приходится констатировать, что в силу заключенных межправительственных соглашений и других нестандартных обстоятельств финансовые ресурсы технической помощи практически полностью осваиваются иностранными компаниями, что еще более усугубляет депрессивное состояние региона. Многие из выполняемых работ безуспешны, потому что, как бы ни были наши западные коллеги квалифицированы, они не знают особенностей Чернобыльской АЭС и объекта «Укрытие», не знакомы с украинским законодательством и национальными нормативными документами по безопасности. Порой западные компании приглашают в качестве субподрядчиков украинские организации без предварительного изучения их возможностей, что также приводит к отрицательным результатам. Поэтому привлечение местных славутичских организаций к выполнению проектов для площадки Чер-

нобыльской АЭС и зоны отчуждения – самый эффективный способ достижения необходимого прогресса при реализации таких проектов и поддержки социальной инфраструктуры Славутича.

Безопасность является категорией экономической. В связи с тяжелым экономическим положением атомной отрасли Украины, в повышении уровня безопасности на площадке Чернобыльской атомной станции активно участвует Департамент энергетики США, который в течение длительного времени оказывает финансовую и практическую помощь как Чернобыльской АЭС, так и г. Славутичу, создавая новые рабочие места в проектах, ориентированных на повышение уровня безопасности при снятии с эксплуатации энергоблоков Чернобыльской АЭС. Однако этого нельзя сказать о других международных организациях и западных странах. Низкое качество работы некоторых зарубежных коллег вызывает необходимость доработок, а иной раз – коренных переработок украинскими специалистами предоставляемых материалов с тем, чтобы привести их в соответствие с требованиями национальных стандартов по безопасности и только после этого использовать на практике.

Сложившаяся ситуация обуславливает необходимость рационального для Славутича подхода к использованию выделяемых финансовых ресурсов. С нашей точки зрения, распределение финансовых средств должно происходить на тендерной основе, без искусственного ограничения участия в тендерах украинских организаций. Ключевой позицией тендерных комитетов должна быть позиция представителя администрации города, выражающего интересы Славутича и имеющего опыт подготовки и проведения тендеров. Преимущественное

право на победу в тендерах при прочих равных условиях должно оставаться за субъектами хозяйственной деятельности г. Славутича, которые являются работодателями для жителей города и источниками формирования местного бюджета.

Такой подход, прежде всего, прекратит перекачку финансовых ресурсов из региона, обеспечит занятость специалистов, проживающих в Славутиче, а также налоговые отчисления в местный бюджет. Кроме того, это позволит значительно ослабить или даже полностью искоренить существующий в настоящее время протекционизм столичных чиновников, противоречащий интересам экономического возрождения и устойчивого развития регионов.

Конец второго тысячелетия ознаменовался для жителей Славутича открытием в городе высшего учебного заведения. Идея развития в городе системы высшего образования родилась в связи с необходимостью решения ряда социально-экономических проблем, которые неотвратимо возникали в связи с закрытием Чернобыльской АЭС и подготовкой к снятию ее с эксплуатации. В 2000 г., в соответствии с поручением Президента Украины, в Славутиче был создан Центр высшего образования и науки, в состав которого вошли филиалы двух высших учебных заведений Украины: Черниговского государственного института экономики и управления и Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт».

С целью улучшения технического и методического обеспечения учебного процесса в рамках сотрудничества Центра с международной организацией «World ORT», при поддержке компании «Hewlett-Packard», создан Учебно-технологический центр «Digital Community Center», работа которо-

го базируется на использовании современных информационных технологий, передовых методов и программ обучения. В состав Учебно-технологического центра входят три новейших компьютерных класса на 15 рабочих мест каждый, ресурсный и сетевой центры.

Для осуществления учебного процесса привлечены 83 квалифицированных преподавателя, представляющих соответствующие кафедры базовых вузов, а также славутичские специалисты. Среди преподавательского состава – четыре профессора, три доктора наук, 29 кандидатов наук.

Задача Центра – подготовка будущих специалистов, формирование интеллектуальной элиты украинского государства по специальностям, которые открыты за счет лицензионного объема базовых высших учебных заведений, в частности: менеджменту организаций; бухгалтерскому учету и аудиту; финансам; качеству, стандартизации, сертификации; информационным управляющим системам и технологиям; физической реабилитации. Выбор направлений подготовки связан, в первую очередь, с тем, что они не требуют создания лабораторной базы для организации учебного процесса, а также с потребностью в квалифицированных специалистах в областях экономики и информационных технологий на современном рынке труда.

В Центре учатся не только славутчани, но и студенты из 11 областей Украины: Киевской, Черниговской, Николаевской, Житомирской, Донецкой, Запорожской, Львовской, Хмельницкой, Винницкой, Сумской и Кировоградской. Количество иногородних студентов составляет 15 %.

С открытием Центра многие славутчани получили возможность получить высшее образование не только без отрыва от

производства, но без отрыва от дома, а это значительно сокращает финансовые затраты на обучение, что для многих играет не последнюю роль в выборе места обучения. С каждым годом интерес к Центру возрастает, о чем свидетельствуют показатели приема студентов.

Научно-производственная деятельность Центра направлена на повышение образовательно-профессионального и научного уровня студентов, умения самостоятельно решать проблемы в процессе обучения, а также на формирование навыков творческого труда. С этой целью преподаватели занимаются научно-исследовательской работой и осуществляют руководство научной деятельностью студентов.

Большое внимание уделяется становлению органов студенческого самоуправления. В течение трех лет работает студенческий парламент. Его задачи нацелены на улучшение условий обучения и досуга, защиту интересов и прав студентов, привлечение их к культурной, научной и хозяйственной деятельности, что также способствует гармоничному развитию личности, раскрытию творческого потенциала студенчества, выработке навыков будущих организаторов и руководителей.

Центр высшего образования планирует готовить собственные научно-педагогические кадры, расширять аудитории и современную лабораторную базу, открывать новые специальности технической направленности, ориентированные на потребителей – Чернобыльскую АЭС, славутичский регион и государство в целом, увеличивать спектр услуг и форм обучения. Так, уже сейчас рассматривается вопрос о внедрении дистанционной формы обучения. Самым важным направлением деятельности Центра является построение научно обо-

снованной системы подготовки специалистов высокой квалификации.

Славутич действительно может стать университетским городом. Наука и образование – те основные виды деятельности, на развитии которых должны быть сосредоточены усилия всех лиц, принимающих участие в решении социально-экономических проблем Славутича.

Научно-технический прогресс – главный фактор развития общества, повышения благосостояния его граждан, их духовного и интеллектуального роста. Поддерживая предпринимательство в научно-технической сфере, государство постепенно идет к созданию и планомерному развитию цивилизованного рынка научно-технической продукции. Эффективность использования научно-технических результатов зависит от степени вовлечения в сферу инновационных процессов научно-технического потенциала регионов Украины, в том числе на основе создания на их территориях технополисов, технопарков и других инновационных структур. Одним из регионов, где возможно проведение такого эксперимента, является г. Славутич, который обеспечивает комфортные условия жизни, имеет хорошо развитую социальную инфраструктуру, общеобразовательные, медицинские, торговые и другие учреждения. Программы развития Славутича после остановки энергоблоков Чернобыльской АЭС ориентированы на его превращение в технополис – город, в котором обеспечено экологически безопасное, комфортное проживание людей, создающих высокотехнологичную продукцию на основе результатов научных исследований в тесном взаимодействии с учреждениями высшего образования.

Выработка инновационных идей и концепций с отбором и совершенствованием

результатов научных исследований, которые имеют перспективу технологического применения, становится не только процессом создания и внедрения новых технологий, но и способом экономического развития региона.

Даже самые развитые страны связывают свой дальнейший экономический рост не только с возможностями использования собственных интеллектуальных ресурсов, но и с привлечением их извне на фоне распространения результатов научных исследований, постоянного научно-технического сотрудничества и информационного обмена. Удельный вес участия Украины в международном рынке технологий незначителен, как по экспорту, так и импорту их. Интеграция науки в производство с использованием системы государственных, отраслевых и региональных программ по распространению и внедрению в производство результатов научных исследований и новых технологий для Украины, имеющей огромный научно-технический потенциал, жизненно важна.

Опыт многих промышленно развитых стран свидетельствует о том, что возможности создания и внедрения новых технологий без участия государства ограничены. Это объясняется недостаточной компетентностью частного бизнеса в оценке потенциала новых технологий, а также ограниченностью финансовых ресурсов, которые предприниматели могут инвестировать в процесс.

Технопарки, технополисы и подобные им территориальные инновационные структуры характеризуются особой инфраструктурой инновационного предпринимательства, облегчающей связь науки и бизнеса, развивающей малые и средние технологические предприятия, содействующей вне-

дрению инновационных технологий при непосредственном участии их разработчиков.

Создавая центры инновационного развития и распространения новых технологий в регионах, необходимо, в первую очередь, опираться на инициативу и согласие местных органов власти. Новые структуры должны результативно представлять интересы в сфере разработки и внедрения новых технологий как их разработчиков, так и пользователей. В этом отношении полезным может быть опыт США по созданию консорциумов малых предприятий с широким кругом задач, включая приобретение новых технологий, развитие партнерства университетов и научных учреждений с производственными предприятиями, создание промышленно-университетских кооперативных научно-исследовательских центров.

В условиях Чернобыльского региона есть возможности сосредоточения на ограниченном пространстве небольших материальных и финансовых ресурсов для комплексного решения технических проблем по разработке и внедрению новых технологий. Есть заинтересованность местных органов власти в решении хозяйственных и социальных проблем региона. Поэтому первоочередной в данном случае является задача усиления и целевой ориентации образовательной функции науки, другими словами – восприимчивости рабочей силы к новым, нетрадиционным для данного региона технологиям. Это достаточно благодатное поле для коммерческой деятельности, причем возможности привлечения научно-технического потенциала со временем могут расширяться.

Кроме традиционных задач обучения персонала и обслуживания технологическо-

го оборудования, при благоприятном стечении обстоятельств могут быть развернуты целевые прикладные исследования, которые позволят непосредственно влиять на направленность производственной сферы в данном регионе.

Успехи хозяйственной, экономической и научно-технической деятельности напрямую зависят от наличия кадров, способных разрабатывать и внедрять новые идеи. Производство нужно насытить не только новыми технологиями и оборудованием, но и грамотными, образованными специалистами, которые готовятся высшими учебными и научными заведениями.

В настоящее время наука и высшая школа выживают в значительной степени благодаря старшему поколению. Поднятие престижа науки и образования необходимо именно для привлечения молодежи, формирования нового поколения научной элиты. При технополисах в обязательном порядке должны предусматриваться высшие учебные заведения. Необходимо создавать условия для работы талантливых молодых ученых, развивать сеть молодежных фондов, стипендий, приглашать для преподавательской работы выпускников, аспирантов, студентов старших курсов вузов.

Образование и научно-технический прогресс прокладывают путь в цивилизованное будущее страны. Без этого государство окажется в технологической, экономической и политической зависимости от экономически развитых стран, что создает угрозу национальной безопасности.

Создание городов образовательного и научно-технического профиля – технополисов – демонстрирует новое направление не только в образовании и научно-технической политике, но и в стратегии развития регионов. Полис – это территория, на

которой не только работают, но и живут люди, занятые преимущественно на предприятиях и в организациях, размещенных там же. Полис должен иметь не только предприятия и научные учреждения, ориентированные на создание и выпуск конкурентоспособной продукции, но и отлаженную сервисную инфраструктуру – максимум удобств для жителей при умеренных затратах на материальные и энергетические ресурсы. Для успешного развития технополиса необходимы следующие составляющие:

- высшее учебное заведение;

- научно-исследовательские и технологические лаборатории;

- механизм привлечения рискованного капитала;

- благоприятные условия для малого и среднего бизнеса.

Таким образом, в Славутиче существуют все необходимые условия для создания регионального научно-промышленного технополиса со схемой «образование – наука – производство», основной целью которого является разработка и внедрение новых технологий, связанных с выводом из эксплуатации Чернобыльской АЭС и преобразованием объекта «Укрытие» в экологически безопасную систему. При должной

поддержке государством Славутич может превратиться из монопрофильного города энергетиков в образовательный, научный и технологический центр.

Научно-техническая деятельность в Славутиче, в первую очередь, должна ставить не столько задачи технологического характера, сколько образовательного. Осознанная переквалификация персонала, еще недавно работавшего на Чернобыльской АЭС, предполагает широкое поле для коммерческой деятельности. Со временем научные коллективы смогут не только внедрять и обслуживать технологии, но и разворачивать целевые прикладные исследования, влиять на направленность технологического трансфера, который является наиболее эффективным средством стимулирования повышения научно-технического потенциала региона Славутича и зоны отчуждения Чернобыльской АЭС. При этом высокоразвитые в промышленном отношении страны могут, с одной стороны, успешно экспортировать свои технологии в Славутич, что и происходит в настоящее время по целому ряду проектов, а с другой стороны, импортировать новые технологии из Славутича, поскольку разработка таковых в условиях Украины обходится гораздо дешевле.

Глава 9. БУДУЩЕЕ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

9.1. МИРОВЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Мирное использование ядерной энергии началось с середины XX века. В декабре 1942 г. в Чикаго запускается первый в мире ядерный реактор, 25 декабря 1946 г. в Москве – первый в Европе ядерный реактор, а уже к концу 1949 г. приступают к проектированию первой атомной электростанции в г. Обнинске под Москвой. В 1950 г. готов эскизный проект реактора и теплосиловой установки. Сооружение станции продолжается всего четыре года. 27 июня 1954 г. зафиксированы первые обороты турбины первой в мире атомной электростанции, мощность которой составляла 5 МВт. В 1978 г. в СССР, США, Великобритании, Франции, Канаде, Италии, ФРГ, Японии, Швеции, ГДР, ЧССР, НРБ, Швейцарии, Испании, Индии, Пакистане, Аргентине и других странах уже дали ток свыше 200 АЭС, установленная мощность которых превысила 100 ГВт.

За более чем 50-летний период развития ядерная энергетика заняла достойное место в производстве электрической и тепловой энергии практически всех развитых стран мира. В настоящее время в 30 странах эксплуатируется 440 атомных реакторов, которые генерируют до 20 % производимой в мире электроэнергии. (Во Франции эта доля составляет 77 %, а в Украине – до 50 %.) Кроме того, находятся в стадии

Покопайтесь в своих мыслях, и вы найдете в них только прошлое и будущее. О настоящем мы почти не думаем, а если и думаем, то в надежде, что оно подскажет нам, как разумнее устроить будущее.

Б. ПАСКАЛЬ

строительства еще 24 атомных энергоблока. Мощную долгосрочную атомную программу приняла Россия. Китай планирует построить 30 атомных энергетических реакторов, Индия – 24, Япония – 12 атомных энергоблоков. В эксплуатации многих ядерных держав находятся около 300 действующих исследовательских реакторов, в космических программах использовались 55 ядерных установок. Все это говорит о том, что ядерная энергетика будет развиваться и отстаивать свое право на существование, основываясь, в первую очередь, на своей безопасности.

На современном этапе в мире существует пять основных типов реакторов: водородные реакторы с водой под давлением; водородные кипящие реакторы, разработанные в США и наиболее распространенные в настоящее время; реакторы с газовым охлаждением, разработанные и применяющиеся в Великобритании и Финляндии; реакторы с тяжелой водой, широко распространенные в Канаде; водографитовые каналные реакторы, которые эксплуатируются в России и Литве. Кроме реакторов этих пяти типов существуют также реакторы-размножители на быстрых нейтронах, которые представляют собой ядерные установки следующего поколения. Реакторы на тепловых нейтронах составляют 98 % всех ядерных установок АЭС.

Подавляющее большинство реакторов, эксплуатируемых в мире, делится на реак-

торы корпусного и канального типа. Реакторы корпусного типа свое развитие получили при создании передвижных ядерных установок для нужд атомного флота. Первыми установками подобного типа являлись первый энергоблок Ново-Воронежской АЭС и силовая установка ледокола «Ленин».

Конструкция канального ядерного реактора была предложена и реализована в конце 1940-х годов на первом в мире ядерном реакторе в США, и впоследствии использована для реакторов первой АЭС в Обнинске, на Сибирской, Белоярской, Билибинской и других АЭС. В конце 1960-х годов этому типу реактора отдавалось предпочтение в связи с возможностью реализации больших единичных мощностей, улучшенными удельными показателями, высокой экономичностью, гибкостью топливного цикла реактора, осуществимостью производства энергетического плутония, а также отсутствием необходимости значительных капиталовложений в создание специализированной машиностроительной базы для изготовления оборудования этого типа реактора.

Бум строительства атомных электростанций, прежде всего в США, пришелся на конец 60-х годов прошлого столетия. Но затем общий экономический и нефтяной кризисы привели к снижению роста потребления энергии, особенно электрической, в промышленно развитых странах. В США к этому добавились высокие процентные ставки и финансовые трудности на предприятиях, производящих энергию. Около 20 лет назад началась кампания против мирного использования ядерной энергии, которая привела к серьезным политическим и общественным противоречиям.

Чтобы избежать ошибок, надо набираться опыта; чтобы набираться опыта, надо делать ошибки, – таков принцип компетентности по Питеру Лоуренсу. Как и в любой сфере технического прогресса, в атомной энергетике существуют объективные отказы и аварии, что вызывает негативное отношение общества к вопросам использования атомной энергии. Произошедшая в 1979 г. на АЭС «Three Mile Island» (США) авария заставила принять меры по повышению уровня безопасности АЭС, приведшие к их удорожанию и тем самым – к уменьшению конкурентоспособности. В результате темп роста мощностей АЭС в мире к концу 1980-х годов снизился, хотя во Франции, Германии, Японии ядерная энергетика продолжала вытеснять энергетику на органическом топливе. Мощный удар по развитию ядерной энергетики в 1986 г. нанесла авария на энергоблоке № 4 Чернобыльской АЭС. Она заставила критически переоценить уровень безопасности всех действующих и строящихся атомных электростанций во всем мире, а некоторые страны принять мораторий на дальнейшее развитие ядерной энергетики.

Но авария на Чернобыльской АЭС дала толчок целому ряду работ по переоценке уровня безопасности АЭС, разработке и внедрению дополнительных мероприятий по повышению безопасности реакторов, принципов культуры безопасности и новых методов оценки ядерной и радиационной безопасности. Опыт проведения работ по ликвидации ее последствий позволил значительно усовершенствовать системы ядерной и радиационной безопасности на атомных электростанциях.

Динамика развития и долевое участие каждой энергетической технологии в балансе мирового производства энергии опре-

деляются, в основном, ресурсами топлива, экономическими показателями и воздействием на окружающую среду. Основными конкурирующими первичными энергетическими ресурсами являются органическое топливо (уголь, нефть, газ), атомная и солнечная энергия.

Энергетический кризис и сокращение поставок нефти привели к повышению статуса возобновляемых источников энергии благодаря таким позитивным характеристикам, как неисчерпаемость, незначительность экологического воздействия, обеспечение занятости и стимулирование развития технологии. Главный тормоз в использовании таких источников — большая стоимость создания энергетических систем на их основе и, соответственно, высокая себестоимость производимой энергии.

Наиболее перспективный из всех возобновляемых источников энергии — *солнечная энергия*. Направление по преобразованию солнечной энергии в электрическую с использованием фотоэлементов требует поддержки государства, в частности финансирования научных и конструкторских разработок и создания экспериментальных станций*.

В начале 1980-х годов в Италии создан специализированный центр близ Неаполя,

реализующий программу солнечной энергетики. Не исключено, что данное направление будет конкурировать с дизельными двигателями в малых производственных системах. Основным препятствием для создания крупных солнечных электростанций является необходимость отведения значительных площадей для их размещения. Учитывая ограниченность времени работы, необходимость специальных климатических условий, вклад станций на солнечной энергии в энергетический баланс вряд ли может превысить 5 %.

В отдаленной перспективе предполагается использовать спутниковые солнечные электрические станции на геостационарных экваториальных орбитах на высоте 36 тыс. км, которые будут снабжать Землю электрической энергией с помощью коротковолновых передатчиков. Создание таких систем потребует значительных капиталовложений.

Один из альтернативных источников энергии — *энергия биомассы*. До последнего времени этот источник практически не находил применения, хотя утилизация отходов сельского хозяйства в целях производства энергии имеет одновременно и огромное экологическое значение. Сейчас большинство стран проявляют интерес к использованию энергии органических отходов не только сельского хозяйства, но и жизнедеятельности городов, а также отходов деревообрабатывающей промышленности.

Энергия ветра уже многие века используется человеком в хозяйственных нуждах, в том числе в качестве привода для водяных насосов*.

* Первая солнечная электростанция в Украине мощностью 5 МВт сооружена в Крыму около поселка Ленино. Высота центральной вышки СЭС-5 вместе с парогенератором составляет 89 м. На высоте 78 м размещен котел, на который направляют солнечную энергию зеркальные концентраторы — гелиостаты. Площадь всех зеркал — 40 тыс. м². Пар, образованный в котле после нагревания воды, имеет температуру 225 °С и находится под давлением в 2,6 МПа. Этих параметров достаточно для движения турбины и ротора электрогенератора, который завершает цикл преобразования солнечной энергии в электрическую. Для обеспечения эффекта наблюдения каждое зеркало вращается вокруг вертикальной и горизонтальной осей.

* Первая в мире ветровая электростанция была сооружена в 1931 г. около Севастополя по проекту и под руководством Ю. В. Кондратюка. Ее мощность составляла 100 кВт.

Современные ветрогенераторы могут вырабатывать несколько мегаватт электроэнергии. В Калифорнии, где местное законодательство стимулирует развитие ветроэнергетики, действует более 10 тыс. генераторов общей мощностью около 1300 МВт, объединенных в единую сеть.

Этот вид производства электроэнергии наиболее приспособлен к современной производственной структуре, а в местах, где для сооружения ветряков имеются все природные условия и средняя скорость ветра в течение года не меньше 5–6 м/с, себестоимость производства достаточно низка. Однако строительство мощных ветряков и управление ими вызывают значительные трудности.

Развитие гидроэнергетики ограничивается природными ресурсами, факторами экономичности и конкурентоспособности, а также экологическими соображениями, альтернативными проектами использования земель и воды.

В мире исследуются возможности использования энергии морской воды – приливов, подводных течений, температурных различий на поверхности воды и в глубине моря. Практическое воплощение получили пока только приливные станции, хотя до их коммерциализации еще далеко.

В атомной энергетике альтернативным современному производству может стать *термоядерный синтез*. Развитие этого направления – дело долгих лет, и не столько из-за сложности научной задачи, сколько из-за технического осуществления ее решения. Было бы полезным развивать несколько проектов технологической реализации идеи, поскольку лучший способ получить хорошую идею – это, по Лайнусу Карлу Полингу, иметь много идей. Однако размеры необходимых для этого затрат, даже распре-

деленных в мировых масштабах, таковы, что об этом не стоит пока говорить. И все же стратегия должна строиться на одновременном проведении физических исследований и их технологическом внедрении с целью экономии времени и концентрации средств и усилий.

Интеграция всего технического комплекса, необходимого для индустриализации термоядерного синтеза, вряд ли сможет завершиться в ближайшее время. Возможно, будет создан лишь прототип промышленного реактора, но он позволит более точно оценить экономические и экологические аспекты. Не исключено, что ряд проблем, кажущихся сегодня трудноразрешимыми, будет решен. В частности, новые конструкционные материалы смогут в некоторой степени упростить создание охлаждающих систем.

Оценки запасов ядерного топлива в земной коре и водах океанов даже при консервативных предположениях о возможном его извлечении показывают, что производство атомной энергии не встретит ресурсных ограничений на обозримый период времени. То же можно сказать и о принципиальной возможности использования солнечной энергии. Поток солнечной энергии в тысячи раз превосходит ежегодно потребляемую человечеством энергию.

В последние десятилетия активно изучается глобальное потепление климата, обусловленное парниковым эффектом. Оценивая возможность адаптации природы к наращиванию производства энергии, можно сказать, что окружающая среда не справляется с экологической нагрузкой от сжигания *органического топлива* из-за выбросов продуктов сгорания. Разработанная и реализуемая технология очистки продуктов сгорания от оксидов серы и азота

позволила уменьшить опасность для окружающей среды этих вредных выбросов. Однако вызывает сомнение возможность приемлемого технического решения проблемы выброса углекислого газа. Этот фактор является одним из принципиальных ограничений наращивания производства энергии за счет сжигания органического топлива. Время выхода новой технологии на лидирующие позиции составляет более 100 лет. Природный газ будет определять производство энергии в первой половине XXI века, однако истощение дешевых месторождений приведет к снижению объемов его использования и необходимости введения в энергетику еще одного мощного энергетического ресурса.

Атомная энергия обладает неограниченными ресурсами топлива, большой энергоемкостью, возможностью высокой концентрации отходов энергетического производства, коммерческой конкурентоспособностью и достаточной технической безопасностью, что делает ее лидером в обеспечении потребностей энергетики в ближайшем обозримом будущем. Но увеличение доли атомной энергии в общем объеме вырабатываемой энергии не может произойти в короткий срок в силу инерции развития производства. Поэтому еще достаточно длительное время будут сосуществовать несколько технологий получения энергии.

Для перспективной ядерной энергетики цель уменьшения исходной опасности атомного объекта становится главной: Она достигается оптимальным выбором конструктивного решения, наличием необходимого комплекса свойств и характеристик. В системе средств и способов безопасности на первый план выдвигается максимальное использование и развитие свойств внут-

ренней защищенности. Одним из принципиальных компонентов безопасности является высокая степень культуры безопасности на политическом, техническом и персональном уровнях ответственности.

Мировая атомная энергетика сегодняшнего дня характеризуется открытым топливным циклом, что связано с использованием легководных реакторов на тепловых нейтронах, работающих на урановом ядерном топливе, которое после отработки поступает на длительное хранение. Реализация проектов по радиохимической переработке отработавшего ядерного топлива реакторов на тепловых нейтронах с целью извлечения и возвращения в топливный цикл плутония является лишь полумерой, не определяющей развитие атомной энергетики будущего. А исходя из того, что разведанных месторождений урановых руд, имеющих промышленное значение, в мире только около 5 млн тонн, можно сделать вывод о неперспективности ядерной энергетики на тепловых реакторах: топлива для этих реакторов хватит не более чем на 150 лет, а проблема захоронения РАО останется.

Одним из основных аргументов конкурентоспособности ядерной энергетики XXI века является неограниченность топливных ресурсов, обусловленная возможностью воспроизводства нового ядерного топлива Pu и ^{233}U . Поэтому топливная база должна основываться на воспроизводстве и повторном использовании делящихся ядерных материалов.

Необходимо отметить, что замкнутый топливный цикл ядерной энергетики с расширенным воспроизводством и трансмутацией долгоживущих радиоизотопов обеспечивает полное обезвреживание радиоактивных отходов и баланс радионуклидов в

среде обитания без превышения естественного фона Земли на весь период существования ядерной энергетики до полного исчерпания природных запасов урана и тория. Следовательно, будущее атомной энергетики – замкнутый топливный цикл, строительство новых атомных станций с реакторами на быстрых нейтронах, внедрение методов радиохимической переработки отработавшего ядерного топлива, новых современных технологий захоронения РАО.

В XXI веке время дешевой нефти заканчивается, запасы газа не безграничны. Анализ энергетической ситуации, складывающейся после исчерпания запасов нефти и газа, а также с учетом имеющихся технологий, показывает, что для общества наиболее реальные источники энергии будущего – уголь и энергия атома. Но мало кому известно, что уголь в небольших концентрациях содержит уран. При сгорании топлива уран попадает в атмосферу. Хотя его концентрации и малы, но при тех объемах угля, что мы сжигаем, радиоактивные выбросы уже существенны. Выбросы радиоактивных веществ на тепловых электростанциях, работающих на угле, превышают выбросы АЭС аналогичной мощности. Кроме того, один блок тепловой станции мощностью 1000 МВт за год производит 300–400 тыс. т золы, содержащей несколько тысяч тонн токсичных тяжелых металлов. К этому необходимо добавить влияние сернистого и углекислого газов, которые вызывают кислотные дожди и глобальное потепление за счет парникового эффекта.

В настоящее время только атомные электрические станции доказали свою возможность надежно производить дешевую электроэнергию соответствующих стандартов качества. После осуществления мероприятий по обеспечению безопасности

уровень безопасности практически на всех АЭС мира соответствует современным требованиям норм и стандартов, возрастая от проекта к проекту. В принципе можно создать вообще абсолютно безопасный реактор, но он будет слишком дорогим и неконкурентоспособным. Вероятностный метод оценки безопасности АЭС в целом свидетельствует, что при выработке одной и той же единицы электроэнергии вероятность крупной аварии на АЭС в 100 раз ниже, чем на гидроэлектростанции, и в 1000 раз ниже, чем в угольной энергетике.

Атомные электростанции занимают важное место в энергетике многих развитых стран, производя более дешевую электроэнергию, чем угольные, газовые и нефтяные тепловые электрические станции. С вводом в эксплуатацию реакторов нового поколения некоторые страны уже перешли к очередному этапу развития атомной энергетики, а некоторые готовятся к этому, открыто обсуждая и пересматривая стратегические, экономические и экологические принципы своего энергетического снабжения.

9.2. ЯДЕРНЫЕ РЕАКТОРЫ БЛИЖАЙШЕЙ И ОТДАЛЕННОЙ ПЕРСПЕКТИВЫ

Перед ядерной энергетикой, которая является одним из наиболее стабильных источников электроэнергии во многих странах и производит 20 % всего количества электрической энергии, стоят две важные проблемы – конкурентоспособности и общественно-политического одобрения. Анализ экономических аспектов инновационных технологий и возможных сценариев развития энергетики позволил сделать следующие выводы:

ограничения на выбросы углекислого газа и себестоимость производимой электроэнергии могут оказать положительное влияние на темпы дальнейшего роста атомной энергетики;

в условиях нерегулируемого рынка электроэнергии лучшими считаются проекты с небольшими начальными капиталовложениями, и этот фактор более существенен, чем, например, средняя себестоимость производимой электроэнергии в течение длительного срока службы энергоблока;

предпочтение будет отдаваться модульным реакторам малой мощности, особенно в условиях медленно развивающихся и не требующих больших мощностей рынков электроэнергии;

с учетом быстро развивающегося рынка в Азии и необходимости введения больших мощностей проекты мощных реакторов должны быть включены в программы разработки усовершенствованных реакторов;

неопределенности, связанные с затратами на завершающей части топливных циклов, нужно минимизировать;

размножающая способность и эффективность сжигания топлива в настоящее время не являются определяющими критериями, однако могут стать таковыми в случае высоких темпов развития атомной энергетики.

Необходимо отметить, что тесное международное сотрудничество между поставщиками и потребителями ядерных технологий не только упростит выход на рынок новых реакторов, но и поможет добиться общественно-политического признания ядерной энергетики.

В 2000 г. МАГАТЭ приняло резолюцию об объединении усилий поставщиками и потребителями ядерных технологий по принятию международных и государствен-

ных мер для реализации инноваций в области ядерных реакторов и топливных циклов. В мае 2001 г. МАГАТЭ учредило Международную программу по инновационным ядерным реакторам и топливным циклам (Innovative Nuclear Reactors and Fuel Cycles Programme – INPRO), инициатором которой была Россия. В настоящее время участниками этой программы стали 14 стран – членов МАГАТЭ, а также Европейский Союз.

Главная задача программы INPRO, состоящей из двух этапов реализации, – обеспечение безопасного, экономичного и устойчивого к распространению ядерных материалов использования ядерной энергии с целью удовлетворения энергетических потребностей человечества в течение ближайших 50 лет и далее.

Первый этап работ по программе предусматривал определение требований, выдвигаемых потребителями ядерных технологий с точки зрения экономики, охраны окружающей среды, безопасности, нераспространения ядерных материалов, а также разработку методик и руководств для сравнения различных концепций ядерных реакторов и топливных циклов, подходов к их реализации. Эта работа была завершена в 2003 г. В дальнейшем заинтересованные государства должны рассмотреть конкретные проекты для оценки выбранных инновационных технологий с точки зрения определенных ранее требований, по разработанным методикам и для обеспечения обратной связи между этими методиками и требованиями.

Второй этап работ по программе будет посвящен анализу технико-экономического обоснования международного проекта по разворачиванию инновационных технологий.

В рамках программы INPRO для дальнейшей проработки отобраны следующие проекты: БН-800 (Россия), усовершенствованный тяжеловодный реактор Advanced Heavy Water Reactor – АНWR (Индия), реактор Carem (Аргентина), а также технология использования отработавшего топлива в тяжеловодных реакторах CANDU, подлежащая реализации в Южной Корее.

Существует программа и по созданию инновационных реакторов четвертого поколения – Generation IV, в соответствии с которой Департамент энергетики США учредил рабочую группу для исследования перспектив строительства новых станций к 2010 г. В состав этой группы входят руководящие сотрудники и высококвалифицированные специалисты из ядерно-энергетических компаний, фирм-поставщиков ядерных реакторов, национальных лабораторий и академических научных учреждений. Рабочая группа рекомендовала поэтапный план работ по созданию новых реакторов к 2010 г.

На первом этапе необходимо устранить неопределенности в процедуре рассмотрения вопроса по созданию новых АЭС органами регулирования, а также утвердить несколько заявок на проекты реакторов и площадок АЭС в сроки, соответствующие строительству новых станций в этом десятилетии. На втором этапе нужно завершить детальные опытно-конструкторские и проектные работы для создания одного легководного и одного газоохлаждаемого реактора. Когда первые два этапа будут завершены, можно приступать к выполнению третьего – строительству нескольких коммерческих АЭС. Эти три этапа могут до известной степени перекрываться по времени.

В программе предусмотрены выбор новых проектов по рыночным соображени-

ям и инвестирование их частным капиталом, однако существенное значение имеет поддержка правительством в виде руководства, проведения эффективной политики, рационального нормативного регулирования и распределения общетрасловых затрат. Государственная стратегия в области ядерной энергетики должна охватывать все многообразие проблем: распределение ролей и ответственности, приоритеты, принципы и схемы финансирования, необходимые организационные и законодательные мероприятия.

В настоящее время существует достаточно большое количество проектов эволюционных разработок реакторов, которые характеризуются высокой степенью изученности.

Проекты System 80+ и APWR. Американская компания «Westinghouse» разработала два реактора с водой под давлением System 80+ и, совместно с «Mitsubishi Heavy Industries», усовершенствованный реактор APWR. Оба этих реактора электрической мощностью 1400–1500 МВт, с активными системами безопасности, очень схожи по основным характеристикам и улучшениям исходных проектов, эксплуатирующихся в настоящее время. В новых проектах реализован принцип резервирования и разнотипности оборудования систем безопасности; использована современная цифровая электроника для повышения надежности и снижения стоимости; установлены новые системы для смягчения последствий серьезных аварий, предотвращения выбросов за пределы площадки, а также заложена новая, более удачная с точки зрения воздействия радиации на персонал и эффективной эксплуатации, схема расположения помещений. Самым заметным изменением по сравнению с существую-

ющими реакторами стала установка четырех систем безопасности с размещением внутри контейнента водяного резервуара для подачи воды при предполагаемых авариях. Кроме того, как результат уроков, извлеченных из аварии на АЭС «Three Mile Island», для смягчения последствий серьезных аварий и предотвращения выбросов добавлены четыре новые системы: аварийного понижения давления, аварийного залива корпуса реактора, дожигания водорода и удержания осколков деления.

В результате производительность и безопасность новых реакторов будет намного выше, чем у существующих; расчетная частота повреждений активной зоны составит примерно 10^{-6} в год; продолжительность сооружения оценивается приблизительно в 48 месяцев с момента первой заливки бетона до загрузки топлива; коэффициент использования установленной мощности – 90 %. Плановая себестоимость вырабатываемой электроэнергии (4–5 центов за 1 кВт · ч) сопоставима со всеми источниками энергии, кроме природного газа в некоторых регионах мира.

Усовершенствованный реактор CANDU. Канадская компания «Atomic Energy of Canada Ltd» (AECL) вводит инновационные технологии, основываясь на эволюционном принципе, внося в существующие технологии ограниченное количество новых элементов. В разрабатываемом проекте усовершенствованного реактора CANDU ACR-700 сохраняются все основные особенности, отличающие тяжеловодные каналные реакторы CANDU от других типов реакторов: водяной теплоноситель высокого давления в отдельных технологических каналах; замедлитель низкого давления и температуры; горизонтальная ориентация каналов с возможностью пере-

грузки на мощности; простая, легкая в изготовлении конструкция тепловыделяющих сборок; использование тяжелой воды для улучшения нейтронно-физических характеристик. Нововведения, приводящие к повышению конкурентоспособности реакторов CANDU в современных рыночных условиях, включают:

- использование слабообогащенного уранового топлива;

- замену тяжеловодного теплоносителя на легководный;

- более компактную активную зону за счет уменьшения шага решетки и содержания тяжелой воды;

- повышение давления и температуры теплоносителя и пара, что приводит к увеличению термического коэффициента полезного действия;

- уменьшение интенсивности излучений из-за радиолитической тяжелой воды;

- повышение производительности за счет использования усовершенствованных информационных систем при эксплуатации и техническом обслуживании, а также улучшения технологий проектирования, производства и строительства.

Компания AECL рассматривает возможность последующей эволюции CANDU в концепцию реактора с водяным теплоносителем со сверхкритическими параметрами (Supercritical Water-cooled Reactor – SCWR), отобранную Международным форумом по программе Generation IV для дальнейшей проработки. Эта возможность подтверждается тем, что реакторы CANDU – наиболее удачный с точки зрения перехода на водяной теплоноситель со сверхкритическими параметрами тип легководных реакторов благодаря следующим их свойствам:

- теплоноситель и замедлитель в реакторах CANDU конструктивно разделены,

поэтому реактор сравнительно нечувствителен к большому изменению плотности теплоносителя в каналах, характерному для теплоносителя со сверхкритическими параметрами;

канальные реакторы проще адаптировать к высоким давлениям и температурам, имеющим место при использовании теплоносителя со сверхкритическими параметрами, нежели корпусные.

Такие эволюционные инновации окажутся, естественно, более выгодными с точки зрения как затрат, так и сопряженных с любыми инновациями рисков. Реализация концепции намечена на 2025–2030 гг.

Европейский реактор с водой под давлением. Европейский реактор с водой под давлением (European Pressurized Water Reactor – EPWR) электрической мощностью 1600 МВт представляет собой усовершенствованный вариант реакторов PWR, эксплуатируемых в Германии и Франции. Производители PWR и эксплуатирующие организации считают, что дальнейшее развитие существующей технологии необходимо ввиду потребности в замене реакторов, срок эксплуатации которых истекает. Изначально сформулированная цель проекта – повышение уровня безопасности по сравнению с имеющимися АЭС Франции и Германии. В соответствии с поставленной целью принято решение о снижении остаточных рисков, связанных с последствиями запроектных аварий, и сделан упор на повышение конкурентоспособности АЭС с реакторами такого типа.

Так как в различных странах применяются различные критерии безопасности и требования к ней, для определения общей концепции безопасности понадобилось множество обсуждений. Основные требования к реактору EPWR были сформулированы

к январю 1995 г. консультативными органами французского правительства и министерством экологии и ядерной безопасности Германии. Эти требования легли в основу проекта. Первый этап проектирования, начавшийся в феврале 1995 г., предусматривал предоставление всей информации, необходимой для предварительного анализа безопасности с тем, чтобы можно было начать процедуру лицензирования в Германии и Франции. Эта информация должна уточняться для получения верной оценки затрат на сооружение АЭС в обеих странах.

В соответствии с требованиями по уменьшению остаточного риска, связанного с запроектными авариями, существующая концепция трех барьеров безопасности расширена – появился четвертый барьер. Первые три барьера соответствуют типичным проектам существующих реакторов с той лишь разницей, что третий барьер способен противодействовать большему количеству типов проектных аварий (например, приняты меры по защите реактора от падения самолета). Четвертый барьер представляет собой дополнительное средство защиты – набор конструктивных решений и мер по предотвращению расплавления активной зоны и смягчению последствий такой аварии.

При проектировании систем, позволяющих вывести безопасность реактора на желаемый уровень как в нормальных, так и в аварийных условиях, использовались следующие принципы:

разделение функций по обеспечению безопасности и основных эксплуатационных функций с целью предотвращения возрастания сложности иерархии соответствующих систем;

четырёхкратная степень резервирования систем безопасности;

структурное разделение резервных систем безопасности;

предотвращение отказа одной из резервных систем в результате отказа другой.

Выполнение этих четких требований уже само по себе значительно снижает вероятность инцидентов или аварий, ведущих к запроектным авариям. За счет ряда конструкторских решений удалось уменьшить вероятность расплава активной зоны до 10^{-6} . Это значение существенно ниже целевого, определенного Международной консультативной группой по ядерной безопасности МАГАТЭ в 10^{-5} . Выбросы радиоактивности, требующие эвакуации местного населения, практически исключены. Их вероятность намного меньше вероятности расплавления активной зоны реактора.

Помимо повышенной безопасности, реактор EPWR обладает и улучшенными экономическими показателями. Себестоимость производимой электроэнергии приблизительно на 10 % ниже, чем на самых современных АЭС, и на 10–20 % ниже себестоимости электроэнергии, вырабатываемой на мощных газовых электростанциях. Конкурентоспособность АЭС можно представить еще более высокой, приняв во внимание затраты на охрану окружающей среды при сжигании ископаемого топлива. Все вышеперечисленные достоинства, как с точки зрения безопасности, так и с точки зрения экономичности, достигнуты за счет:

повышения значения термического к. п. д. до 37 % при использовании парогенератора с экономайзером и усовершенствованной паровой турбины, а также увеличения расхода и подогрева теплоносителя до максимально возможных значений;

применения новых материалов и компоновки топливных сборок, обеспечиваю-

щих более эффективное использование топлива и снижение количества отходов, а также повышение допустимых температур и, следовательно, коэффициента полезного действия;

четырёхкратного резервирования систем безопасности;

наличия в системе аварийного охлаждения активной зоны четырех пассивных водяных аккумуляторов, используемых для систем впрыскивания как высокого, так и низкого давления;

наличия четырех систем водяного впрыскивания во втором контуре, подающих воду в парогенераторы в случае аварии с потерей расхода питательной воды. Каждая из четырех систем подключена к собственному дизель-генератору.

Инспекционные комиссии во Франции и Германии признали, что разрушение контайнмента при таких авариях исключено: такие события либо физически неосуществимы, либо исключены посредством принятых дополнительных мер. Проект EPWR удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к ядерным реакторам европейскими энергетическими компаниями, и может быть лицензирован во Франции, Германии, а также Финляндии. В Финляндии разработчики этого реактора выиграли тендер на строительство очередного энергоблока.

В рамках программы Generation IV в 2002 г. выпущен ряд документов, определяющих направления и планы исследовательских работ для создания инновационных ядерно-энергетических систем в период 2010–2030 гг. Отбор шести технологий для перспективной разработки проводился с учетом степени готовности, обеспечения выработки электроэнергии, возможности производства водорода и тепла, соответствия национальным приоритетам и инте-

ресам стран-участниц. Рабочая группа произвела оценку ряда факторов, влияющих на разработку новых АЭС, включая уровень готовности и технической пригодности различных проектов АЭС, которые могут быть развернуты к 2010 г.

Проект SWR 1000 (Simplified Water Reactor) – совместный проект компаний «Framatom-ANP» (Франция), «Teollisuuden Voima Oy VTT» (Финляндия), «NRG» (Голландия) и ряда немецких энергогенерирующих компаний. Цели разработки водяного реактора упрощенной конструкции усовершенствованного реактора с кипящей водой, изначально спроектированного компанией «Siemens», – последовательное повышение безопасности и одновременное снижение себестоимости вырабатываемой электроэнергии.

Основное техническое усовершенствование реактора SWR 1000 заключается в использовании пассивных систем безопасности, которые были разработаны, протестированы и включены в проект. Для удержания материалов в пределах корпуса реактора при авариях, связанных с расплавлением активной зоны, нижняя часть сухой шахты реактора вокруг корпуса заливается водой из специальных резервуаров. Уровень воды в этих резервуарах выше, чем верхняя отметка активной зоны. Таким образом, расплавленная активная зона удерживается внутри корпуса, охлаждаемого водой, что предотвращает расплавление его нижней части.

Удачное сочетание активных и пассивных систем безопасности в SWR 1000 дало отличные результаты вероятностного анализа безопасности. Так, частота повреждений активной зоны составляет менее 10^{-7} , что намного превосходит предписываемый МАГАТЭ показатель (10^{-5}).

В результате упрощения ряда систем, а также уменьшения затрат на техническое обслуживание и ремонт, капитальные затраты на строительство реактора удалось снизить на 30 % по сравнению с существующими реакторами с кипящей водой. Цена вырабатываемого на SWR 1000 1 кВт · ч электроэнергии оказалась вполне конкурентоспособной на рынке электроэнергии. При ожидаемом росте цен на уголь и природный газ экономические преимущества этого реактора станут более очевидными.

Проект AP 1000. Компания «Westinghouse» первой начала разработку пассивных систем безопасности, рассматривая их как одну из мер по повышению безопасности и улучшению экономических показателей реакторов средней мощности. Первоначально упор делался на 600-мегаваттный вариант, так называемый AP 600. Однако компания «Westinghouse» начала разработку более мощной версии – AP 1000, призванной конкурировать с электростанциями на природном газе. Целью проекта является достижение экономических выгод от эксплуатации установки большой мощности. В проекте увеличена поверхность теплопередачи в парогенераторах и повышена производительность циркуляционных насосов путем увеличения инерции маховика насоса, что создает дополнительный запас до кризиса теплоотдачи при авариях, связанных с потерей расхода теплоносителя.

Вероятностный анализ риска позволил сделать выводы о том, что показатели безопасности этих реакторов не зависят от мощности, а проект AP 1000 удовлетворяет требованиям по безопасности или превосходит их.

Реактор AP 1000 обладает еще одним неоспоримым преимуществом – модульностью конструкции, что приводит к сокра-

щению периода строительства до 36 месяцев с момента закладки бетона до загрузки топлива за счет возможности параллельной сборки модулей с последующим их соединением.

Исследования показали, что себестоимость электроэнергии, вырабатываемой на двух реакторах AP 1000, находящихся на одной площадке, составит 36 долларов за 1 МВт · ч, а капитальные затраты – 1100–1200 долларов на 1 кВт электрической мощности, что дает возможность конкурировать с другими источниками энергии.

Проект IRIS. Инновационный международный защищенный реактор IRIS (International Reactor, Innovative and Secure) представляет собой реактор с интегральной компоновкой первого контура и имеет ряд преимуществ по сравнению с традиционными реакторными установками. Он отвечает таким требованиям к реакторам четвертого поколения, как устойчивость к распространению ядерных материалов, повышенная безопасность, улучшенные экономические показатели и снижение количества отходов. Проект разрабатывается международным консорциумом, объединяющим коммерческие компании, лаборатории и университеты, включая Массачусетский технологический институт, Калифорнийский университет в Беркли, Техасский технологический, Миланский политехнический и Пизанский университеты. Возглавляет консорциум компания «Westinghouse», разработку реактора поддерживает Департамент энергетики Соединенных Штатов Америки.

Подход к проектированию реактора предусматривает предотвращение или уменьшение вероятных последствий аварий везде, где только возможно. Например, конструкция корпуса реактора IRIS позволяет предотвратить крупные аварии с потерей

теплоносителя, так как отсутствует разветвленная система труб, соединяющая реактор, парогенераторы, главный циркуляционный насос и компенсатор давления. Благодаря интегральной компоновке исключены аварии с потерей теплоносителя, связанные с разгерметизацией главного циркуляционного насоса. В случае разгерметизации корпуса пассивные системы аварийного охлаждения активной зоны и контайнмента будут поддерживать уровень воды в корпусе, превышающий высоту активной зоны даже при отсутствии подпитки.

Целью разработки реактора было достижение показателей безопасности, значительно превосходящих таковые у реакторов, находящихся в эксплуатации, и реакторов третьего поколения.

В проекте заложены малый период строительства (36 месяцев) и низкая цена производимой электроэнергии. Четырехгодичная продолжительность работы реактора между перегрузками позволит добиться значения коэффициента использования установленной мощности 90 %.

Проект PBMR. (Pebble Bed Modular Reactor) представляет собой проект модульного реактора с засыпной активной зоной, который разработан компанией «Eskom» (ЮАР).

В ходе проектирования была признана необходимость увеличения мощности установки. Конструкционные особенности реактора ограничивали тепловую мощность значением 302 МВт. Наличие в центре активной зоны отражателя, состоящего из графитовых шаров, исключало возможность размещения в нем органов регулирования. Они могли быть установлены только в боковом графитовом отражателе, состоящем из блоков, где эффективность первых гораздо ниже, чем в центре. Сле-

довательно, увеличить радиус активной зоны больше того предельного значения, при котором эффективность органов регулирования все еще достаточна для безопасного управления реактором, нельзя. Кроме того, при формировании центрального отражателя по тому же принципу шаровой засыпки, что и топливной части активной зоны, на границе этих областей происходит перемешивание графитовых шаров с топливными элементами. Образуется область, в которой спектр нейтронов более мягкий, нежели в остальной части топливной зоны, а, следовательно, тепловыделение в ней идет наиболее интенсивно. Поэтому увеличение мощности реактора может привести к превышению в этой зоне проектных ограничений по температуре топлива.

Подобных проблем удалось избежать, заменив центральный засыпной отражатель на сплошной графитовый. Такая конструкция позволяет разместить органы регулирования в центре активной зоны и избавиться от «смешанной» зоны. Теоретически возможно увеличение радиуса активной зоны до достижения требуемого уровня мощности, однако тогда в силу вступают другие ограничения, например на размеры корпуса реактора для перевозки его железнодорожным транспортом.

Найденное решение дало возможность поднять тепловую мощность реактора до 400 МВт при сохранении температуры топлива менее 1130 °С, что обеспечивает низкое загрязнение турбины продуктами деления. В то же время геометрия элементов активной зоны не претерпела изменений, так что охлаждение, осуществляемое за счет естественной циркуляции теплоносителя, достаточно для поддержания температуры ядерного топлива в допустимых пределах.

При проектировании реактора PBMR ставились следующие цели безопасности:

- исключение таких проектных или вероятных запроектных событий, вызванных как внутренними, так и внешними причинами, при которых возникает необходимость в эвакуации или предоставлении специальных убежищ людям, проживающим вблизи территории станции;

- отсутствие необходимости в перемещении механических компонентов для выполнения предыдущей цели;

- минимизация показателей облучения персонала АЭС.

Параллельно с целями безопасности были установлены экономические цели: себестоимость электроэнергии, вырабатываемой PBMR, должна быть сравнима с себестоимостью электроэнергии, производимой современными основными энергогенерирующими системами в течение всего срока службы станций как при консервативных учетных ставках, так и при повышении стоимости различных видов топлива; размер зоны отчуждения вокруг АЭС должен позволять размещать станцию вблизи густонаселенных территорий; сроки строительства АЭС должны быть сжатыми.

Конкурентоспособность реактора, согласно проведенным оценкам, возможна при стоимости сооружения 1000–1500 долларов США на 1 кВт установленной мощности в зависимости от региона, где будет осуществляться строительство. Планируется, что реактор такого типа найдет применение при строительстве демонстрационной АЭС в Коберге (ЮАР).

Проект GT-MHR – модульный реактор с гелиевым (газовым) теплоносителем и газовой турбиной (Gas Turbine-Modular Helium Reactor – GT-MHR) – представляет собой усовершенствованный реактор, раз-

рабатываемый в настоящее время в рамках совместной российско-американской программы с целью обеспечения мощностей для утилизации запасов оружейного плутония. Запланирована также разработка коммерческого варианта реактора с урановым топливом. Установка GT-MHR сочетает модульный реактор с гелиевым теплоносителем и высокoeffективную газотурбинную схему преобразования энергии по циклу Брайтона.

Высокая безопасность реактора достигается за счет:

сочетания свойств внутренне присущей безопасности и конструкторских решений, включающих использование однофазного инертного гелия в качестве теплоносителя;

применения графитовой активной зоны, обладающей большой теплоемкостью и сохраняющей структурную целостность при высоких температурах;

использования топливных элементов с жаропрочным покрытием, позволяющих достичь чрезвычайно высоких глубин выгорания и способных удерживать продукты деления при температурах, значительно превышающих эксплуатационные пределы;

отрицательного температурного коэффициента реактивности, приводящего к самозаглушению реактора при увеличении температуры.

Необходимо отметить высокие показатели реактора GT-MHR по нераспространению ядерных материалов, достигаемые как за счет высоких глубин выгорания, так и за счет неблагоприятного изотопного состава плутония в отработавшем топливе.

Кроме представленных проектов, перспективными направлениями реакторных установок 4-го поколения являются:

SFR. Реактор на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем рассчитан на

замкнутый топливный цикл для эффективного превращения делящегося урана и использования актинидов. Полный цикл повторного использования актинидов возможен в двух вариантах. Первый – в реакторе электрической мощностью 150–500 МВт с металлическим топливом на основе циркониевого сплава, содержащего уран, плутоний и младшие актиниды. Топливный цикл включает пирометаллургическую переработку на пристанционных установках. Второй – в реакторе мощностью 500–1500 МВт на оксидном уран-плутониевом топливе с топливным циклом, базирующимся на водных процессах переработки на установках, обслуживающих несколько реакторов. Основные направления работ: технология повторного использования, экономика системы, обеспечение пассивной безопасности. SFR – самая доступная для реализации система по управлению актинидами.

VHTR. Реактор на тепловых нейтронах с гелиевым теплоносителем и открытым урановым или уран-плутониевым циклом предназначен для получения технологического тепла, применяемого при газификации угля и термохимическом производстве водорода, а также для выработки электроэнергии. Основное направление работ: создание высокотемпературных сплавов, керамических или композитных материалов, оболочек топливных элементов из карбида циркония. VHTR – самая близкая к реализации система для производства водорода.

GFR. Реактор на быстрых нейтронах с гелиевым теплоносителем базируется на пристанционном замкнутом топливном цикле для эффективного превращения делящегося урана и сжигания актинидов. В топливном цикле используются водные, пирометаллургические или другие сухие способы переработки. В качестве топлива

рассматриваются композитное керамическое топливо и топливные элементы на основе актинидов в керамической оболочке в виде стержней или пластин. Главное направление – отработка технологии производства топлива и его повторного использования. Основное назначение реактора – выработка электроэнергии, хотя он может применяться и для производства водорода.

MSR. Реактор на надтепловых и тепловых нейтронах с теплоносителем в виде расплава фторидных солей натрия, циркония и урана рассчитан на замкнутый топливный цикл, оптимизированный для эффективного использования плутония и актинидов, добавляемых в топливо. Основное назначение – выработка электроэнергии и переработка радиоактивных отходов.

SCWR. Реактор, охлаждаемый водой сверхкритических параметров, рассматривается в двух вариантах: открытый цикл – урановый топливный цикл для реактора на тепловых нейтронах; замкнутый цикл – с реактором на быстрых нейтронах и полным повторным использованием актинидов с водной переработкой на централизованных установках. В реакторе предусмотрены пассивные средства безопасности. Создание реактора на быстрых нейтронах зависит от успеха исследований конструкционных материалов. Система SCWR предназначена, в первую очередь, для выработки электроэнергии с возможностью управления актинидами.

LFR. Быстрый реактор с замкнутым топливным циклом на централизованных или региональных установках обеспечит эффективное превращение делящегося урана и использование актинидов. Теплоноситель – свинец или свинцово-висмутовая эвтектика; топливо – металлическая или нитридная композиция, содержащая делящийся уран и

трансурановые элементы. Рассматривается диапазон мощности реакторных установок, начиная от блоков мощностью 50–150 МВт, представляющих собой изготавливаемую в заводских условиях активную зону с очень длительной кампанией в 10–30 лет, и модульных систем на 300–400 МВт, и кончая крупными энергоблоками мощностью 1200 МВт. Необходимо выполнение исследовательских работ по топливу, материалам и контролю коррозии. Реактор предназначен для выработки электроэнергии и других энергоемких продуктов, включая водород и пресную воду.

Перспективные реакторы малой мощности. За период развития ядерной энергетики мощность реакторов возросла с 60 МВт до более чем 1500 МВт. В то же время для нужд военно-морского флота и различных исследований создавалось большое количество менее мощных реакторов.

В настоящий момент существуют предпосылки к развитию реакторов малой мощности, что частично обусловлено высокими капитальными затратами на строительство реакторов больших мощностей. Реакторы малой мощности можно строить независимо друг от друга или же объединять в сложные модульные конструкции, что позволит подключать к сети требуемые мощности. Некоторые реакторы такого типа могут быть использованы с небольшими нагрузками в местах, удаленных от высоковольтных линий электропередачи. Другие разработаны для эксплуатации в едином блоке с тем, чтобы составить конкуренцию мощным реакторам. Себестоимость электроэнергии, вырабатываемой на 50-мегаваттном блоке, оценивается в пределах от 5,4 до 10,7 центов/(кВт · ч).

К числу перспективных реакторов малой мощности относятся:

КЛТ-40. Российский реактор КЛТ-40 хорошо зарекомендовал себя на ледоколах, но может использоваться и для других целей: опреснения воды и размещения его на баржах с целью энергообеспечения удаленных районов. Проект реактора предусматривает перегрузку топлива раз в три года. Предполагается попарная эксплуатация реакторов, чтобы один из них можно было останавливать на техническое обслуживание. Кроме того, изучаются возможности перегрузки топлива прямо на барже и размещения там же хранилища отработавшего ядерного топлива. Хотя обычно активная зона реактора КЛТ-40 охлаждается за счет принудительной циркуляции теплоносителя, его проект предусматривает естественную конвекцию в аварийных ситуациях. Топливо представляет собой уран-алюминиевый сплав с выгорающим поглотителем; материал оболочки топливных элементов – сплав циркония; топливо может иметь высокую степень обогащения.

Carem. Усовершенствованный мало-мощный (25 МВт) реактор, разработанный в Аргентине, представляет собой модульный реактор с водой под давлением, имеет интегральную компоновку первого контура, предназначен для производства электроэнергии и может быть использован в качестве исследовательского реактора или для опреснения воды. В нем применяется стандартное для реакторов топливо с обогащением 3,5 % и выгорающим поглотителем; перегрузка осуществляется ежегодно. Реализация проекта возможна в течение десяти лет.

Smart – южнокорейский усовершенствованный модульный реактор с водой под давлением с мощностью 330 МВт. Имеет интегральное размещение парогенераторов и усовершенствованные элементы

безопасности. Предназначен для выработки электроэнергии (электрическая мощность до 100 МВт) и/или термического опреснения морской воды. Период эксплуатации реактора – 60 лет, продолжительность топливной кампании – 3 года. Установка мощностью в 65 МВт сооружается в настоящее время, ввод в эксплуатацию намечен на 2007 г.

MRX – маломощный (50–300 МВт) реактор с водой под давлением и интегральной компоновкой, разрабатываемый Японским научно-исследовательским институтом атомной энергии; предназначен для использования на судах или для локального энергообеспечения. Установка будет полностью изготавливаться на заводе. Кампания стандартного уран-оксидного топлива реакторов PWR с обогащением 4,3 % составляет 3,5 года. Контейнер реактора заполнен водой, что увеличивает его безопасность. Проект может быть реализован в течение десяти лет.

MSBWR. Модульный реактор упрощенной конструкции с кипящей водой (Modular Simplified Boiling Water Reactor) разрабатывается компаниями «General Electric» и «Purdue University» (США) в двух вариантах: на 200 и 50 МВт электрической мощности. Его конструкция основана на реакторе SBWR (Simplified Boiling Water Reactor) компании «General Electric». Циркуляция теплоносителя осуществляется за счет конвекции. Используется топливо реакторов с кипящей водой, обогащенное до 5 %. Продолжительность кампании – 10 лет. Реактор может быть построен в этом десятилетии.

TRIGA Power System. Реактор с водой под давлением тепловой мощностью 64 МВт (16,4 МВт – электрической мощностью) основан на реакторе, предназначенном для

обучения персонала, исследований и производства изотопов. Компанией «General Electric» он задуман как реактор бассейнового типа, эксплуатируемый при низкой температуре. Теплоноситель второго контура – органический (перфторированный углерод). Топливом служит уран-циркониевая смесь, обогащенная до 20 %, с небольшим количеством выгорающего поглотителя. Топливо перегружается раз в 18 месяцев, хранилище отработавшего ядерного топлива расположено в пределах реакторного корпуса.

STAR-H2. Безопасный транспортальный автономный реактор для производства водорода представляет собой модульный реактор мощностью 400 МВт на быстрых нейтронах со свинцовым теплоносителем и пассивными элементами системы безопасности. Это означает, что его можно перевозить по железной дороге и охлаждать за счет естественной циркуляции. Заменяемые каждые 15 лет топливные элементы содержат трансурановое нитридное топливо. Свинец разогревается до 780 °С и охлаждается циркулирующим гелием, который переносит тепло на термохимическую установку для производства водорода, в то время как менее нагретая часть используется для опреснения морской воды. Предусматривается, что обеспечат поставку свежего и переработку отработавшего топлива региональные комплексы производств ядерного топливного цикла, причем продукты деления будут вводиться в свежее топливо с целью предотвращения их распространения. Проект STAR-H2 рассчитан на полное выгорание топлива, так что радиоактивные отходы будут включать в себя только продукты деления. В России проведен ряд экспериментов, связанных с эксплуатацией нескольких типов реакторов со свинцовым теплоносителем, а реакторы со свинцово-

висмутовым теплоносителем в течение 40 лет используются на российских атомных подводных лодках.

4S (Super-safe, small and simple) – усовершенствованный реактор на быстрых нейтронах, мощностью 50 МВт, упрощенной конструкции. Разрабатывается Центральным исследовательским институтом электроэнергетической промышленности Японии как реактор заводского изготовления с натриевым теплоносителем. Топливо – уран-циркониевый сплав, перегрузка топлива будет осуществляться каждые 10 лет.

Rapid-L – маломощный (200 кВт) японский реактор, использующий ^6Li в качестве регулирующей среды. Разрабатывается за счет средств, выделяемых Японским научно-исследовательским институтом ядерной энергии.

LSFR. Реактор тепловой мощностью 150 МВт (53 МВт – электрической мощностью) использует свинцово-висмутовый теплоноситель. Реакторы с загруженным в них топливом будут поставляться с завода и после 30 лет эксплуатации снова возвращаться на завод.

PRISM (Power Reactor Inherently Safe Module). Компания «General Electric» (США) включилась в программу разработки модульного 150-мегаваттного реактора с жидкометаллическим теплоносителем и внутренне присущей безопасностью.

Жидкосолевые реакторы-размножители ранее разрабатывались в качестве главного резерва быстрых реакторов-размножителей, использующих жидкосолевой теплоноситель. Некоторые опытные установки были введены в эксплуатацию. В настоящее время в Японии, России, Франции и США возрастает заинтересованность в реакторах такого типа.

В жидкосолевых реакторах (Molten Salt Reactors – MSR) топливо представляет собой расплавленную смесь фторидов лития и бериллия с растворенными в ней фторидами тория и ^{233}U . Активная зона состоит из графита без оболочки, размещенного таким образом, чтобы обеспечить исток солей при температуре около 700°C . Тепло передается второму солевому контуру и затем – пару. Продукты деления, растворившись в солевом расплаве, непрерывно удаляются из него в специальной петле, работающей в оперативном режиме, и заменяются на ^{232}Th или ^{238}U . Актиниды остаются в реакторе, пока не распадутся или не превратятся в вышние, также делящиеся актиниды.

Одна из выгодных особенностей топливного цикла MSR заключается в том, что высокоактивные отходы состоят лишь из продуктов деления, что обуславливает малое время дезактивации, низкое содержание делящегося оружейного плутония (подавляющее большинство составляет изотоп ^{242}Pu), небольшой расход топлива, а также высокую безопасность благодаря пассивной системе охлаждения. Соль, обладающая более высоким, чем у гелия, коэффициентом теплопередачи, служит только в качестве теплоносителя, и ее можно нагревать до 1000°C при низком давлении. Это может быть использовано в термохимическом производстве водорода.

9.3. АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА УКРАИНЫ

Атомная энергетика – экологически наиболее чистая отрасль энергетики и, одновременно, наиболее рентабельная. Эти факторы имеют определяющее значение для развития атомной энергетики в стра-

нах, не обладающих достаточными запасами органических энергоносителей. К их числу относится и Украина, но, в отличие от большинства других стран, она имеет значительные запасы урансодержащих руд, что объясняет ее ориентацию на увеличение доли ядерной составляющей энергетики.

Несмотря на отказ от ядерного оружия, Украина остается ядерной державой, поскольку владеет всеми ядерными технологиями. Это утверждение основывается на том факте, что в Украине помимо действующих ядерных энергетических установок существует специальная структура, ориентированная на атомную отрасль. В нее входят квалифицированные специалисты, работающие в областях ядерной энергетики, ядерной физики и химии, материаловедения, металлургии, сварки, а также инженеры-проектировщики ядерных установок. В системе Национальной академии наук Украины есть научные организации, занимающиеся проблемами ядерных технологий. С каждым годом увеличивается приток новых специалистов, подготовка которых налажена на базе высших учебных заведений Украины. Имеющийся потенциал должно использовать на благо своего развития и процветания, совершенствуя и внедряя новые технологические решения в атомной энергетической отрасли.

Каждая страна формирует свою национальную научно-техническую политику и определяет ее приоритеты. Среди таких приоритетов в Украине – атомная энергетика и промышленность. Это связано с наличием в эксплуатации 15 ядерных энергоблоков, двух исследовательских ядерных реакторов, ресурсов, необходимых для развития атомной энергетики и промышленности, природных запасов урановой и цир-

кониевой руды, а также с необходимостью снятия с эксплуатации реакторов, отработавших свой ресурс, и преобразования объекта «Укрытие» в экологически безопасную систему.

Предпринятые на протяжении последних лет меры по стабилизации и экономическому развитию атомной энергетической отрасли содействовали выполнению в полном объеме эксплуатирующими организациями правовых обязанностей. Создание законодательных основ, исполнение правительственных решений и внедрение адекватной тарифной политики в ядерной сфере положительно сказались на повышении уровня безопасности, улучшении основных показателей деятельности, а также формировании специального фонда для снятия ядерных установок с эксплуатации.

Усовершенствование и оптимизация организационной структуры эксплуатирующих организаций привели к созданию в Украине Национальной энергогенерирующей компании «Энергоатом» и Государственного специализированного предприятия «Чернобыльская АЭС» для последовательного осуществления снятия с эксплуатации всех энергоблоков атомных электростанций.

Благодаря внедрению мероприятий по повышению безопасности, улучшению качества ремонта и технического обслуживания, замене оборудования и обучению персонала, энергоблоки АЭС стали работать более стабильно, количество нарушений в их работе уменьшилось, снизилось количество аварийных остановов энергоблоков АЭС со срабатыванием аварийной защиты. Увеличилась выработка электроэнергии атомными станциями; коэффициент использования установленной мощности энергоблоков атомных электростанций, до-

стигнув значения 78,5 %, сохраняет устойчивую тенденцию к росту.

В Украине реализуется следующая стратегия обращения с отработавшим ядерным топливом:

- строительство пристанционных и централизованного хранилищ;

- осуществление научных разработок и поисковых работ по выбору площадки для захоронения РАО в геологических хранилищах;

- развитие научно-технической и проектно-конструкторской базы.

Так, в эксплуатации находится хранилище ОЯТ Запорожской АЭС, сооружается хранилище на площадке Чернобыльской АЭС. Планируется строительство центрального хранилища сухого типа для ОЯТ украинских реакторов типа ВВЭР.

Особое место среди ядерных установок Украины занимает энергоблок № 4 Чернобыльской АЭС (объект «Укрытие»), разрушенный в результате аварии в апреле 1986 г. О предпринятых оперативных мерах, позволивших обеспечить текущую безопасность этого объекта, его потенциальной опасности мы говорили в гл. 6. Преобразование объекта «Укрытие» в экологически безопасную систему требует привлечения значительных финансовых и материальных ресурсов, использования нестандартных научных и инженерных решений.

Для всех АЭС выполнен анализ безопасности по дополнительным или уточненным, по сравнению с заложенными в проекте, параметрам, принципам и критериям безопасности. Все показатели безопасности (по готовности систем безопасности, состоянию защитных барьеров, влиянию станции на персонал, население, окружающую среду и др.) находятся на приемлемом уровне и не имеют тенденции к ухудшению.

Полученные углубленным анализом безопасности количественные оценки частоты повреждения активной зоны свидетельствуют, что безопасность украинских энергоблоков АЭС с реакторами ВВЭР соответствует безопасности зарубежных аналогов. Определены доминантные аварийные последовательности и спектры минимальных сечений по основным составляющим частоты повреждения активной зоны; найден инструмент для установления приоритетности мероприятий по повышению безопасности, с помощью которого в сводном отчете по анализу безопасности разрабатываются конкретные мероприятия и очередность их выполнения.

Реализация первого этапа оценки безопасности позволила определить уровень безопасности всех проектов эксплуатирующихся АЭС. Государственный комитет ядерного регулирования Украины на основании результатов этой оценки принял решение о предоставлении лицензий на эксплуатацию АЭС для каждой площадки, а также выработал приоритеты для дальнейшего повышения уровня их безопасности.

Положительные выводы, полученные в результате всесторонней оценки безопасности, согласуются с выводами экспертов международных миссий по оценке безопасности на украинских АЭС:

по всем оцениваемым направлениям существуют положительные тенденции по сравнению с ситуацией, сложившейся на момент проведения аналогичных миссий в середине и во второй половине 1990-х годов;

администрация АЭС и персонал среднего звена используют существующий международный опыт решения вопросов безопасности; процесс подготовки персонала с эффективным использованием пол-

номасштабных тренажеров организован на приемлемом уровне качества;

на АЭС выполняется значительный комплекс мероприятий по повышению культуры безопасности;

передовые технологии и методики по углубленной оценке безопасности АЭС Украины, в частности используемая методология выполнения вероятностного анализа безопасности, экспертами МАГАТЭ признаны адекватными.

Результаты углубленной оценки безопасности энергоблоков атомных станций и экспертные оценки отчетов по анализу безопасности подтверждают соответствие уровня безопасности энергоблоков национальным и международным требованиям по ядерной и радиационной безопасности; такие дефициты безопасности, которые бы требовали прекращения эксплуатации энергоблоков, не выявлены. Недостатки и слабые места в проекте, выявленные по результатам оценки безопасности, устраняются в рамках реализации Программы по модернизации и повышению безопасности энергоблоков АЭС, сформированной по результатам углубленной оценки безопасности.

Результаты анализа безопасности введенных в 2004 г. в эксплуатацию энергоблоков № 2 Хмельницкой АЭС и № 4 Ровенской АЭС позволяют довести уровень безопасности других эксплуатируемых энергоблоков Украины до уровня безопасности новых ядерных установок.

Планирование и реализация мероприятий по повышению безопасности осуществляются на основе долгосрочных программ, перспективных и текущих планов, целью которых являются:

выполнение требований национального законодательства и рекомендаций междуна-

родных организаций и миссий: МАГАТЭ, Всемирной ассоциации операторов, Группы экспертов для проведения проверки эксплуатационной безопасности (OSART), Европейской Комиссии и др.;

устранение дефицитов безопасности, выявленных по опыту эксплуатации украинских и зарубежных АЭС;

устранение недостатков проекта;

выполнение углубленного анализа безопасности действующих энергоблоков с использованием современных методик и подходов, базирующихся на принятой международной практике;

внедрение мероприятий по предотвращению исходных аварийных событий, обеспечение подготовки персонала, технического обслуживания, испытаний; инспектирование технологических систем и оборудования; разработка руководств по эксплуатации и обслуживанию управления авариями, снижение их последствий; подготовка персонала для управления авариями и осуществления противоаварийных действий, повышение культуры безопасности и обеспечение качества;

повышение уровня радиационной защиты персонала и населения.

В Украине обеспечивается стабильная и предвиденная система ядерного регулирования. Функции органа государственного регулирования ядерной и радиационной безопасности осуществляются Государственным комитетом ядерного регулирования Украины. Созданы законодательные и регулирующие основы для выполнения в полном объеме полномочий и обязанностей всеми субъектами правоотношений в сфере использования ядерной энергии.

Устранены противоречия и несоответствия между нормами и положениями в

различных законодательных актах. Важнейшим результатом развития законодательных основ является имплементация и развитие норм основополагающего закона ядерного законодательства «Об использовании ядерной энергии и радиационной безопасности» в соответствующих законодательных актах. Установлены правовые, организационные и финансовые основы страхования гражданской ответственности оператора за ядерный вред. Приведена в соответствие с рекомендациями МКРЗ регламентация облучения населения в условиях радиационной аварии.

В развитие национального законодательства Украины издан ряд указов Президента и постановлений Кабинета Министров Украины, в частности, по усилению и совершенствованию функций органа государственного регулирования и размежеванию его полномочий с другими центральными органами исполнительной власти; порядку лицензирования ядерных установок; безопасности перевозок радиоактивных материалов; аварийному реагированию; обеспечению физической защиты и взаимодействию по соответствующим вопросам на межгосударственном уровне; стратегии снятия с эксплуатации и преобразованию объекта «Укрытие» в экологически безопасную систему и др.

Создание новых полномасштабных, многофункциональных и локальных тренажеров, применение современных методологий и учебных руководств, комплектация центров квалифицированными преподавателями и инструкторами, а также лицензирование учебно-тренировочных центров и персонала ядерных установок способствуют росту коэффициента готовности персонала, уменьшению количества нарушений в работе АЭС и обеспечению АЭС квали-

фицированными кадрами в необходимом количестве для осуществления технологических операций и эксплуатационных процедур.

Достигнут прогресс в развитии системы аварийной готовности к ядерным и радиационным событиям. Введен в действие пакет нормативных актов, которые определяют: компетентные национальные органы по вопросам выполнения международных конвенций в области использования ядерной энергии; органы управления, силы и средства, привлекаемые к реагированию на чрезвычайные ситуации государственного уровня; классификацию радиационных аварий и категории опасности объектов и видов деятельности; требования к реагированию на чрезвычайные события на АЭС, состав, назначение и обязанности аварийных групп, а также требования к внутренним и внешним кризисным центрам АЭС. На регулярной основе отрабатываются планы аварийного реагирования и проверяется готовность системы и ее элементов к действиям в аварийных условиях.

После распада Советского Союза организации, осуществлявшие научно-техническое и инженерное сопровождение атомной энергетики, остались за пределами Украины. Значительную часть работ по научному сопровождению отрасли взяли на себя институты Национальной академии наук Украины. Для осуществления научно-технической и инженерной поддержки отрасли были созданы новые инженерные предприятия. Это способствовало решению ряда отдельных задач, но не проблемы в целом. Необходимость в мощной научной организации осознавалась многими учеными и специалистами и диктовалась требованиями времени. В связи с этим при Национальной академии наук Украины

в 2004 г. создан Научно-исследовательский институт проблем безопасности атомных электрических станций, в перечень задач которого вошли: моделирование и расчет процессов, происходящих в реакторных установках; создание и постоянное пополнение баз данных для хранения и комплексного анализа ядерно-физических и теплофизических параметров переходных и аварийных режимов работы реакторов и оборудования АЭС, данных по надежности и безопасности; изучение и анализ мировых достижений в разработке технологических решений, новых типов реакторов, построенных на принципах внутренней безопасности с применением пассивных систем безопасности; выработка рекомендаций по использованию на площадках АЭС замещающих реакторных энергетических установок с современной компоновкой реакторов и оборудования высокой степени заводской готовности; оценка их безопасности на основе современных методов математического моделирования технологических и аварийных процессов, количественного вероятностно-детерминистического анализа безопасности как отдельных систем, так и АЭС в целом.

НИИ проблем безопасности АЭС работает в тесном сотрудничестве с научными организациями Украины, имеющими необходимую лабораторную, исследовательскую и стендовую экспериментальную базу, а также с соответствующими научными школами, такими как Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», Одесский государственный политехнический университет, Киевский институт ядерных исследований, Харьковский физико-технический институт, Севастопольский национальный институт ядерной энергии и промышленности и др.

Программа научных исследований предусматривает широкий круг экспериментальных и теоретических изысканий, направленных на разработку конкретных предложений по повышению безопасности эксплуатации действующих реакторных установок, увеличению коэффициента использования установленной мощности, продлению ресурса эксплуатации, а также снятию с эксплуатации установок, отработавших свой ресурс. Такие исследования требуют кооперации и координации с организациями России и других стран, использующих атомную энергетику, что позволит накопить необходимую базу знаний для разработки достоверных аналитических моделей и выбора вариантов практического применения ядерных технологий с достаточной степенью безопасности.

В Украине осуществляется международное сотрудничество по повышению безопасности реакторных установок, обмен выявленными во время анализа безопасности результатами и опытом ликвидации различных нарушений. В МАГАТЭ регулярно передаются сведения о состоянии ядерной безопасности на предприятиях отрасли.

Перед ядерной энергетикой Украины на ближайшие годы стоят следующие задачи:

- повышение безопасности действующих энергоблоков;

- продление их срока эксплуатации на основе переоценок безопасности, определение остаточного ресурса, осуществление мер по повышению безопасности, управление процессами старения систем и оборудования, важных для безопасности;

- разработка и внедрение технологий снятия с эксплуатации энергоблоков Чернобыльской и других АЭС, включая преобразование объекта «Укрытие» в экологически безопасную систему;

- создание национальной системы обращения с радиоактивными отходами;

- создание контролируемого хранилища отработавшего ядерного топлива.

Мероприятия по повышению безопасности эксплуатации действующих энергоблоков осуществляются на основе результатов всестороннего анализа проблем безопасности, идентифицированных и распределенных на категории в соответствии с рекомендациями МАГАТЭ, с учетом опыта эксплуатации украинских и зарубежных аналогов, а также согласно установленным приоритетам.

Продление срока эксплуатации действующих АЭС – предмет внимания многих стран. Это возможность увеличить на 20–40 % выработку электроэнергии на установленных мощностях без больших дополнительных капитальных вложений, один из способов обойти запрет на строительство новых атомных станций – создать запас времени для ввода в эксплуатацию новых энергетических мощностей и накопить финансовые ресурсы для снятия с эксплуатации энергоблоков АЭС, отработавших свой ресурс. Не осталась в стороне от этого процесса и Украина.

Чтобы избежать сооружения замещающих мощностей вместо подлежащих выводу из эксплуатации энергоблоков с реакторами ВВЭР, в настоящее время разрабатываются методики, связанные с продлением срока службы, развиваются концептуальные подходы, модернизируются системы безопасности, обследуется оборудование. Дальнейшая судьба атомной энергетической отрасли Украины зависит от вложения средств в модернизацию оборудования действующих АЭС с продлением проектного ресурса работы. Распоряжением Кабинета Министров Украины принята «Комплексная про-

грамма работ по продлению срока эксплуатации действующих энергоблоков АЭС», где определены необходимые мероприятия и сроки их реализации, установлена приоритетность работ, оценены нужные ресурсы для выполнения данной программы.

Варианты вывода из эксплуатации реакторных установок зависят от конструктивных особенностей и наведенной активности конструкционных материалов реактора, а также от экономического фактора состояния отрасли. Конечно, наиболее предпочтителен полный демонтаж реакторной установки с приведением площадки АЭС к состоянию «зеленой лужайки», но он требует значительных первоначальных финансовых затрат и используется странами с развитой экономикой. В Украине же преимущество следует отдать варианту первоначальной консервации реакторной установки на 30–100 лет с последующим демонтажом реактора, что требует приведения отдельных систем и оборудования в состояние, препятствующее выходу радионуклидов в окружающую среду на период естественного спада радиоактивности до норм, которые позволят осуществлять демонтажные работы, или на время, необходимое для создания специального дистанционного оборудования.

Разнообразие признаков и условий развития атомной энергетики определяет, наряду с совершенствованием проектов ныне действующих реакторов, поиск и разработку реакторов нового поколения. Выбор направлений разработок должен обосновываться новым качеством решений проблем атомной энергетики будущего. Исходя из существующего экономического положения страны и прогноза на ближайшие годы, Украине предстоит строительство реакторных установок одного типа, при конкрети-

заций которого нужно анализировать имеющиеся в мире технологии, уровень их безопасности, а также возможности использования уже имеющихся производственных мощностей и технологических процессов. Ввод новых атомных энергетических мощностей на существующих площадках АЭС путем замещения установок, выработавших свой ресурс, существенно снизит затраты благодаря наличию инфраструктуры и квалифицированного персонала. Такой же подход должен осуществляться и на площадке Чернобыльской АЭС, где после остановки энергоблоков ведутся работы по снятию их с эксплуатации.

В Украине сооружение новых АЭС большой мощности в ближайшие десятилетия будет ограничиваться финансовыми возможностями; рассчитывать на заметное участие коммерческого капитала в подобных проектах не приходится вследствие относительно длительных сроков окупаемости затрат и неопределенности экономического развития страны. Более оптимистичен прогноз участия инвестиционного капитала в малой атомной энергетике, если проектные и организационные решения обеспечат приемлемые технико-экономические характеристики.

В условиях рыночной экономики внедрение и развитие любой энергетической технологии обуславливается ее конкурентоспособностью, а значит, продолжительностью инвестиционного цикла. Атомные электростанции относятся к установкам с длительным циклом, а рынок, руководствуясь только сегодняшней конъюнктурой и базируясь на самофинансировании, никак не реагирует на долгосрочную стратегию развития энергетики. Поэтому ее реализация обеспечивается государством либо через законы и налоговые рычаги, либо

через выделение кредитов или обеспечение гарантий под них. В условиях формирующейся в Украине рыночной экономики единственно возможным источником финансирования развития атомной энергетики является прибыль от продажи электроэнергии.

Отметим, что в самом понятии *долгосрочной стратегии* заложено формирование перспективных технологических направлений и технических средств достижения *долговременных целей*, реализующих общую концепцию развития атомной энергетики; поэтому долгосрочная концепция строится на базе широкого поиска и достаточного объема научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, в финансировании которых рынок не заинтересован: следовательно, в данном вопросе необходима жестко ориентированная государственная поддержка.

Потенциальная экологическая опасность использования атомной энергии связана с образованием радиоактивных отходов, что определяет требование экологической приемлемости ядерных технологий. Имеющиеся в настоящее время технические решения концентрации отходов и дальнейшего их преобразования в цементные, керамические формы или стекло могут обеспечить захоронение РАО в стабильных геологических структурах. В Украине эта проблема пока рассматривается только в теоретическом аспекте.

Будущее Украины, ее независимость, самостоятельность, национальная безопасность и благополучие граждан зависят от наличия необходимого количества энергогенерирующих мощностей, которые можно создать только развивая и поддерживая атомную энергетическую отрасль.

9.4. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

По назначению и технологическому принципу действия атомные электростанции практически не отличаются от тепловых станций, использующих в качестве топлива уголь, газ или нефть. Как и тепловые станции или другие промышленные предприятия, атомные станции неизбежно влияют на окружающую среду за счет технологических сбросов тепла, промышленных отходов, выбросов, хотя незначительных и строго нормированных, образующихся при эксплуатации газообразных и жидких радиоактивных продуктов.

Главная особенность технологического процесса на АЭС с использованием ядерного топлива заключается в образовании значительных количеств радиоактивных продуктов деления, находящихся в основном в тепловыделяющих элементах активной зоны реактора. Для надежного удержания радиоактивных продуктов в ядерном топливе и в границах сооружений атомной станции, в проектах АЭС предусматривается ряд последовательных физических барьеров на пути распространения радиоактивных веществ и ионизирующих излучений в окружающую среду. Поэтому атомные станции технически сложнее тепловых и гидравлических электростанций.

Для принятия решения, какой же технологии производства электрической энергии отдать предпочтение, необходимо проанализировать все положительные и отрицательные аспекты рассматриваемых технологий, в первую очередь, их воздействия на окружающую среду.

Наиболее полно изучены экологические последствия использования *водной энергии*. Сбор воды в искусственных водоемах может вызвать затопление сельскохозяйствен-

ных угодьев и населенных пунктов, нарушить дорожную сеть. Странительство плотин изменяет водный баланс вследствие изменения типа и интенсивности водоснабжения прилегающих территорий, что, в свою очередь, нарушает условия существования флоры и фауны, отрицательно влияет на урожайность почв в прибрежных районах и на местные климатические условия. Климатические последствия проявляются в изменении теплового баланса, похолодании климата в весенне-летний период и потеплении в осенне-зимний период, в увеличении количества осадков, облачности, скорости ветров в связи с изменением давления над поверхностью воды и над сушей и т. д. Перегораживание русла реки может привести к заиливанию водоема и эрозии берегов, ухудшению условий самоочищения проточных вод и уменьшению содержания в них кислорода, затруднению свободного движения рыбы, т. е. вызвать нарушение и разрушение речной и прибрежной экосистемы. Могут проявиться и последствия вторичного характера – разрыв водных уровней, а в некоторых районах и возникновение сейсмической опасности в результате изменений в напряжениях земной коры. Масштабы воздействия гидротехнических сооружений на окружающую среду зависят, разумеется, от масштабов самого объекта.

Зависимость экологических последствий от размеров сооружения характерна и при использовании энергии ветра. Ветряные силовые установки строятся обычно мощностью от нескольких киловатт до нескольких мегаватт. Мощность ветряка пропорциональна площади поверхности лопастей турбины и скорости ветра, возведенной в куб. Поскольку скорость ветра обычно невелика, то понятно стремление увеличить размеры лопастей воздушного

винта. В последнее время возводятся многочисленные парки этих объектов, соединяющие до нескольких тысяч силовых установок. Однако, согласно мнению ряда специалистов, наиболее перспективны небольшие установки мощностью до 100 кВт, так как объекты большей мощности производят слишком много шума. Например, даже установку мощностью 2 МВт с лопастью пропеллера 60 м из-за шума приходится отключать в ночное время. Шумовой эффект возрастает еще больше, когда на незначительной площади сгруппированы несколько объектов.

Второй минус ветряных установок – производимые ими помехи для воздушного сообщения, а также распространения радио- и телевизионных волн. Третий – возможность отрыва работающих лопастей винта в случае урагана или обледенения. Четвертый – нарушение ими путей миграции птиц и ландшафта, хотя последнее утверждение спорно. Многие специалисты считают ветряные установки весьма эстетичными по сравнению с другими промышленными объектами.

Серьезным препятствием для развития ветроэнергетики является необходимость отведения под ветряки больших площадей. Так, ветряная станция мощностью в 1000 МВт занимает площадь 82 км². По подсчетам, площадь территории, необходимая для производства единицы энергии при помощи ветряков, в 45 раз больше, чем при использовании фотоэлектрических сооружений, хотя последние также относятся к сооружениям, занимающим большие площади.

Солнечная энергия технически используется в низко- и высокотемпературном оборудовании, а также путем прямого преобразования ее в электричество на фото-

электрическом оборудовании. В низкотемпературных процессах солнечное тепло, собранное в плоских коллекторах, обеспечивает нагревание, не превышающее нескольких десятков градусов, и служит для обогрева жилых помещений. Высокотемпературное оборудование (до нескольких сотен градусов) оснащено концентрирующими коллекторами или гелиостатами – зеркалами, собирающими солнечное излучение на башне с оборудованным коллектором, питающим турбину. Оба эти способа производства энергии требуют больших площадей из-за малой концентрации солнечного излучения. Проблема площадей особенно актуальна в городах, где отсутствуют свободные земельные участки, а существующая застройка не всегда позволяет оборудовать солнечные батареи на крышах домов.

Солнечная электростанция занимает территорию, в десятки раз превышающую территорию тепловой станции той же мощности, но нужно помнить обо всей площади, необходимой для производства энергии из угля, включая шахты, места складирования, транспортировки и хранения отходов. Сравнение с тепловыми электростанциями всегда в пользу солнечных электростанций, которые можно размещать на пустующих участках, в том числе в пустынях, где их использование чрезвычайно выгодно вследствие интенсивности солнечного излучения. Дополнительные сложности создает лишь передача полученной энергии на значительные расстояния.

С большими площадями, необходимыми для строительства солнечных электростанций, тесно связана проблема их высокой материалоемкости. Хотя солнечные станции относятся к нетрадиционным видам энергетики, загрязнение окружающей среды при

их возведении вполне традиционно. Оно является результатом хозяйственной деятельности по добыче руды и другого сырья, а также их переработки в сталь, медь, стекло и т. д. По оценкам специалистов, минимальные затраты материальных ресурсов при строительстве солнечных батарей из легких конструкций составляют 10 кг/м^2 . Если солнечные батареи размещать на уже существующих конструкциях, например крышах домов, то расход материалов может быть снижен до 5 кг/м^2 . Однако практически эти затраты значительно превышают затраты на строительство тепловых электростанций. Например, расход стали увеличивается в 12 и 17 раз соответственно по сравнению с угольными станциями и АЭС, а расход цемента – в 60 раз больше, чем при строительстве АЭС той же мощности.

Создание околоземных орбитальных станций, использующих энергию солнца, рассматривается как решение мировых энергетических проблем в будущем. Один из американских проектов предлагает возвести на стационарной околоземной орбите 60 спутников – фотоэлектрических станций мощностью по 5 000 МВт, передающих электроэнергию на Землю с помощью микроволнового пучка большой мощности. Возможные отрицательные экологические последствия этой системы могут быть обусловлены, во-первых, потерей контроля над микроволновым пучком. Однако электростанции проектируют таким образом, что плотность энергии в пучке лишь в два раза превышает интенсивность обычного солнечного излучения и потому не может оказать катастрофического воздействия на организм человека. Во-вторых, преобразование энергии микроволн в потребительскую энергию должно сопровождаться выделением большого количества

тепла, которое может вызвать чрезмерное нагревание земной атмосферы со всеми вытекающими отсюда последствиями для климата. Но главная экологическая опасность создания околоземных станций связана не столько с их эксплуатацией, сколько с их строительством и выводением на орбиту. Масса каждого спутника составит от 35 до 50 тыс. тонн. Таким образом, реализация проекта потребует выведения на геостационарную орбиту от 2 до 4 млн тонн материалов. Для этого придется произвести в год 375 стартов космических кораблей, в 5 раз превышающих по мощности современные космические грузовые корабли. В результате земная атмосфера будет сильно загрязнена продуктами сгорания от реактивных двигателей, а также субстанциями, сопровождающими спуск этих кораблей на Землю. Правда, для строительства солнечных электростанций на околоземной орбите можно было бы использовать внеземные материалы, в частности лунный грунт, что позволило бы снизить загрязнение окружающей среды на Земле и сэкономить ее ограниченные сырьевые ресурсы. Однако эта возможность представляется отдаленной и малоизученной.

К возобновляемой энергии, уже применяемой на практике, относится также *геотермальная энергия*. Отрицательными экологическими последствиями ее использования являются:

- возможность пробуждения сейсмической активности в районе электростанции;
- опасность локального оседания грунтов;
- сильный шум, вызываемый расширением газов на поверхности земли, принимающий временами оглушительный характер;
- эмиссия отравляющих газов, хотя их состав и количество различны в различных точках земли. Например, на геотермальной

электростанции «Монте-Амиата» в Италии интенсивность выбросов углекислого газа в десятки раз превышала выбросы тепловой электростанции той же мощности. Другим отравляющим газом, сопровождающим работу геотермальных электростанций, является сероводород, загрязняющий окружающую среду, особенно в условиях безветренной погоды и туманов;

трудности с ликвидацией рабочего газа, содержащего всевозможные минеральные соли, если не предусмотрено его возвращение в месторождение.

Последней группой возобновляемых источников энергии являются *моря и океаны*. Наибольшее негативное воздействие на окружающую среду оказывает производство электроэнергии с использованием глубинного градиента температуры морской воды. В тропиках разница температур поверхностных и глубинных вод достигает 20 °С. Этого перепада достаточно для испарения рабочего газа (аммиака, изобутана и др.) турбины, соединенной с генератором электроэнергии. При выборе рабочего газа учитываются его термофизические и экологические свойства, опасность его утечки. Например, аммиак относительно дешев и характеризуется хорошими технологическими свойствами, однако токсичен и легко воспламеняем. Фреон-22 малотоксичен и негорюч, однако в 20 раз дороже, легко улетучивается при повреждениях станции и разрушает озоновый слой Земли.

Работа такого типа электростанций может вызвать выброс в атмосферу большого количества углекислого газа, что, в свою очередь, повлечет нагревание и снижение давления глубинных вод, используемых в конденсаторах. Содержание углекислого газа в этих водах на 25 % выше по сравнению с поверхностными водами.

Другой эффект работы этих электростанций выражается в снижении температуры поверхностных вод, что оказывает сильное воздействие на климат, изменяет условия существования морской флоры и фауны. Ведь для производства, например, 100 МВт электроэнергии необходимо переработать тепло 800 км^3 океанских вод. По оценкам специалистов, использование тепла океанских вод для получения 60 ТВт электроэнергии снизило бы температуру на Земле на 1°C . Строить морские электростанции рекомендуется недалеко от прибрежных АЭС, которые в результате своей работы нагревают большие объемы воды охлаждения. Однако механизм воздействия температурных изменений на климат плохо изучен. Некоторые ученые считают, что снижение температуры тропических вод может уменьшить вероятность возникновения тайфунов.

Меньшее воздействие на окружающую среду оказывают приливные электростанции, использующие механическую энергию движения морской воды. Однако они могут нарушить процессы обмена морской и пресной воды, условия жизни морской флоры и фауны, а также климат, изменив энергетический потенциал морских вод — их скорость и территорию перемещения.

Таким образом, одновременно с использованием новых видов энергии возникает новый тип экологических последствий, охватывающих зоны на границе атмосферы и гидросферы, где формируются основные климатические процессы. Эти последствия затрагивают природные процессы на всей планете. До начала реализации подобных проектов следует проанализировать возможные экологические последствия в глобальных масштабах, которые человечество в полной мере еще не может представить.

В настоящее время в мире ежегодно потребляется такое количество ископаемых энергоносителей, которое накапливалось в земле в течение почти миллиона лет. До 80 % энергоносителей расходуется в промышленно развитых странах с 25 % жителей планеты. В США, где проживает менее 6 % населения всего мира, потребляется около 40 % имеющихся на Земле природных ископаемых. Если эти потребности распространить на все человечество, то для их удовлетворения понадобится еще пять таких планет, как Земля. При сохранении подобной ситуации энергетические и прочие минеральные ресурсы Земли будут растрочены за несколько столетий. Современное промышленное общество ведет свое хозяйство за счет аванса и перекладывает возникающие издержки индустриализации на природу, развивающиеся страны и будущие поколения людей.

Одним из самых слабых мест современной высокоэнергетической системы является то, что почти две трети производимой энергии не доходит до потребителя, рассеиваясь в виде тепла. Эту неиспользуемую ее часть можно рассматривать как самостоятельный источник энергии, который по доходам, издержкам на разработку, нагрузке на окружающую среду сравним с другими источниками энергии. Во многих случаях — он самый дешевый и легко доступный. Предложено множество конкретных проектов технической экономии энергии, но для получения длительной и ощутимой экономии требуются, как правило, очень значительные финансовые вложения.

Анализ энергетической ситуации, которая сложится после истощения запасов нефти и газа, с учетом имеющихся технологий и развития энергосберегающих систем показывает, что для общества наибо-

лее реальными источниками энергии в перспективе будут уголь и энергия атома. Но нужно при этом помнить, что в угле содержится уран, который при сгорании топлива попадает в атмосферу. Хотя его концентрации малы, при тех объемах угля, что мы сжигаем, суммарные урановые выбросы превосходят радиоактивные выбросы действующих АЭС.

Сравним экологические особенности ядерной энергетики и традиционных отраслевых производств. Доля выработки электроэнергии на АЭС в настоящее время в мире достигла 20 %. Полная замена электростанций, работающих на органическом топливе, на атомные электростанции при уровне современного энергопотребления позволила бы сократить годовое расходование кислорода на всей планете более чем на 2 млрд тонн, а органического топлива – на 1–1,5 млрд тонн. Сократились бы выбросы продуктов сгорания, в том числе углекислого газа, не менее чем на 3 млрд тонн, оксидов серы и азота – на несколько миллионов тонн. АЭС практически не производят парниковых газов и сокращают выбросы углерода на 600 млн тонн ежегодно. Однако многие не замечают этого преимущества. Когда общество начнет платить за выбросы парниковых газов и появятся экономические причины к их ограничению, оно повернется лицом к атомной энергетике. В настоящее же время Киотский протокол является единственным документом, координирующим усилия по сокращению вредных выбросов в атмосферу. Поэтому экологи должны делать все возможное для продвижения Киотского соглашения с целью весомого вклада в экономическое обоснование эксплуатации АЭС.

В промышленном тепле и электрической энергии нуждаются горнодобывающая, ме-

таллургическая, фармацевтическая, автомобильная, пищевая промышленность, самолетостроение, производство электронных приборов и многие другие отрасли, которые, в отличие от атомной энергетики, в процессе деятельности оставляют на земле и в атмосфере огромное количество промышленных отходов. Последствия проявляются не сразу, а через десятилетия, что привело к отсутствию на многих производствах технологии утилизации отходов, их обезвреживания и изоляции для предупреждения попадания вредных веществ в экосистему. В результате уже давно идет невосполнимый процесс нарушения экологического равновесия Земли. Производя своевременно затраты на обезвреживание отходов, можно было бы предупредить этот процесс.

Атомная энергетика не загрязняет продуктами сгорания среду обитания и не вносит заметного количества вредных и токсичных веществ. В этом плане она является экологически чистой. Ее экологическая опасность связана с возможными выбросами высокорadioактивных нуклидов в среду обитания при неудачных конструкторско-технологических решениях. Отсюда следует вывод, что атомная энергетика требует научно обоснованного подхода к безопасности, организации труда с учетом неукоснительного соблюдения принципов культуры безопасности и государственного контроля за ядерной и радиационной безопасностью. Еще совсем недавно, двадцать лет назад, производство 1000 МВт электроэнергии стоило в среднем около 1 млрд долларов, сегодня – 3 млрд. Удорожание связано с совершенствованием систем безопасности и вложением финансовых средств в решение проблем обращения с отработавшим ядерным топливом и радиоактивными отходами.

Захоронение ядерных отходов вызывает наибольшую настороженность и даже враждебность у общественности. Эти настроения парадоксальны, поскольку именно в атомной энергетике принимаются наиболее продуманные и взвешенные решения по обеспечению безопасности захоронения отходов, чего нельзя сказать об остальных отраслях энергетики, где отходы просто выбрасываются в окружающую среду. По сравнению с другими видами производства энергии, объем отходов атомной энергетики значительно меньше, к тому же здесь можно прогнозировать и количество, и характер отходов, провести соответствующую подготовительную работу для их захоронения, разработать стратегию и методы захоронения, найти средства для его финансирования. Во многих ядерных державах созданы специальные национальные организации, осуществляющие управление и контроль над процессами ликвидации ядерных отходов.

Для ядерных источников характерна компактная форма отходов и технически обоснованная возможность концентрации и локализации радиоактивных продуктов. Суммарная масса радиоактивных отходов отличается от массы отходов при сжигании органического топлива в сотни тысяч раз, что является несомненным преимуществом атомной энергетики. Но существует потенциальная экологическая опасность использования атомной энергии, которая связана именно с образованием радиоактивных отходов. Это обстоятельство определяет требование экологической приемлемости ядерного топливного цикла: образующиеся РАО должны быть локализованы на всех стадиях в обозначенном временном интервале. Надежная локализация радиоактивности – это последовательная реализация

глубокоэшелонированной защиты, которая включает систему технологических барьеров, ограничивающих распространение радионуклидов, мероприятия по предотвращению аварийных нарушений барьеров и снижению аварийных последствий. Оценивая принципиальную возможность решения этой проблемы, важно отметить, что, благодаря небольшому объему, РАО могут быть локализованы в компактной форме, а необходимый масштаб времени локализации находится в освоенных человечеством пределах. Таким образом, атомная энергетика при нормальной эксплуатации и гарантированной локализации РАО имеет несомненные экологические преимущества.

Атомная энергетика требует демонстрации нового, более высокого уровня безопасности, который должен быть воспринят обществом. Это требование распространяется на все элементы топливного цикла: атомную станцию, реактор, отработавшее ядерное топливо, хранение, транспортировку, переработку, захоронение. Современные атомные станции имеют приемлемый уровень безопасности, используя опыт эксплуатации и реализуя дополнительные мероприятия по повышению безопасности с учетом уроков аварий.

Экономические показатели будут играть решающую роль в выборе того или иного источника энергии в конкретной ситуации. В стоимость производства электроэнергии должна входить стоимость не только непосредственной генерации электричества, но и компенсации воздействия на окружающую среду. При этом важно учитывать воздействие на человека и окружающую среду при нормальных условиях работы и возникновении аварийных ситуаций с приемлемым показателем риска для всего топливного цикла. Среди энергетических

источников разного типа только атомная энергетика способна замкнуть затраты на компенсацию воздействия на окружающую среду. Это обусловлено высокой энергоемкостью ядерного топлива и компактной формой отходов. Органические источники энергии не способны к замыканию затрат по выбросу углекислого газа. Дополнительная составляющая социальной стоимости, которая учитывает воздействие каждой технологии на человека и окружающую среду, даже без учета влияния углекислого газа, более значима для органического топлива и особенно угля. Замкнутый топливный цикл, включающий переработку отработавшего ядерного топлива, извлечение и повторное использование ядерных материалов, является необходимым условием развития атомной энергетики будущего.

Атомная энергетика обладает всеми необходимыми качествами для постепенного замещения значительной части энергетики, использующей ископаемое органическое топливо. Высокий уровень безопасности и надежности АЭС является главным и доминирующим фактором развития атомных энергетических технологий. Все требования по безопасности, предъявляемые к новым ядерным технологиям, используемым для проектирования и строительства новых АЭС, можно объединить общим понятием *естественной безопасности*. Это понятие является развитием и обобщением принципа внутренней присущей безопасности и предполагает, что во всех технических решениях по совершенствованию ядерных реакторов главным барьером безопасности должны являться законы природы.

Вместо эпилога

В декабре 2005 года, накануне пятой годовщины закрытия третьего, последнего энергоблока Чернобыльской АЭС, на площадке станции и в зоне отчуждения побывал Президент Украины Виктор Андреевич Ющенко. На вопрос журналистов о возможности приема и хранения на чернобыльской площадке отработавшего ядерного топлива из других государств Президент ответил, что в принципе такое направление использования площадки станции было бы экономически выгодным, но в то же время оно нуждается во всестороннем изучении с привлечением научных организаций, экспертов и обязательном общественном обсуждении.

Авторы данной книги поддерживают такую позицию, инициирующую дальнейшее рациональное использование зоны отчуждения Чернобыльской АЭС. На этой территории строится инфраструктура по обращению с радиоактивными отходами и отработавшим ядерным топливом чернобыльских реакторов. Именно на чернобыльской площадке необходимо размещать централизованное хранилище отработавшего ядерного топлива с других площадок АЭС Украины, а в случае положительной оценки экспертов и одобрения общественности – и топливо с АЭС других государств. Критикам этого предложения необходимо напомнить, что в настоящее время на территории зоны отчуждения Чернобыльской АЭС более 800 захоронений радиоактивных отходов (в том числе и ядерного топлива с разрушенного четвертого энергоблока) не имеют практически никаких барьеров безопасности и находятся в прямом соприкосновении с окружающей природной средой. Если ж Украина построит и введет в эксплуатацию ус-

тановки по переработке ядерных отходов и хранилища, удовлетворяющие современным требованиям безопасности, то на них можно будет переработать и захоронить и все другие отходы, накопленные на территории зоны отчуждения, сделав их подконтрольными. Суммарный риск эксплуатации хранилищ при этом не только не возрастет, а наоборот, уменьшится по сравнению с имеющимся риском.

Такие страны, как Великобритания, Франция и Россия, имея широко развернутую структуру по обращению с отработавшим ядерным топливом, принимают на переработку и хранение ядерные отходы с других государств, зарабатывая на этом значительные средства. По такому же пути может пойти и Украина, которая на сегодняшний день, не имея своих технологических мощностей, вынуждена инвестировать ядерные программы России, оплачивая хранение и переработку отработавшего ядерного топлива с отечественных АЭС. Но обсуждению вопроса приема на хранение ядерного топлива с других государств должны предшествовать завершение строительства хранилища отработавшего ядерного топлива для реакторов Чернобыльской АЭС, которое при попустительстве наших чиновников сорвано французской фирмой «Framatom», и решение проблемы хранения ядерного топлива атомных электростанций с реакторами ВВЭР путем строительства централизованного хранилища.

Пришло время задуматься и о месте размещения ядерных отходов, которые с 2010 г. начнут возвращаться из России после переработки отработавшего ядерного топлива украинских АЭС с реакторами ВВЭР. Необходимо уже

сейчас проводить соответствующие технико-экономические исследования и на их основе принимать конкретные технические решения по созданию на территории Украины долговременного хранилища отработавшего ядерного топлива и радиоактивных отходов.

Исходя из того, что на отечественных АЭС вырабатывается более половины всей электроэнергии Украины, ядерное топливо, поставляемое ей на протяжении всех лет существования атомной отрасли из России, следует рассматривать как одну из составляющих, наряду с нефтью и газом, национальной энергетической безопасности. Учитывая имеющиеся в Украине запасы урановых и циркониевых руд, технологический, машиностроительный и научный потенциал, проблема производства собственного ядерного топлива может быть решена, хотя на это потребуется значительное время. Тем не менее, уже сегодня можно и нужно закладывать научные и технологические основы создания некоторых элементов ядерного топливного цикла.

В 1999 г. Департаментом энергетики США инициирован проект по производству на заводах компании «Westinghouse» ядерного топлива для атомных электростанций Украины с реакторами ВВЭР-1000. В течение последующих лет сделаны все расчеты, проектные проработки и создано шесть топливных сборок, которые в 2005 г. поставлены на третий блок Южно-Украинской АЭС для проведения опытной экс-

плуатации совместно с ядерным топливом российского производства. После завершения опытной эксплуатации компания «Westinghouse» готова поставить на станцию 42 топливные сборки для коммерческой эксплуатации в течение трех лет. Как видим, в Украине появилась возможность альтернативных поставок ядерного топлива и конкуренции с российскими поставщиками, что позволит повысить уровень энергетической безопасности страны.

Отметим, что в рамках названного проекта группа украинских специалистов прошла специальное пятилетнее обучение в США, но пока полученная ими квалификация практически не востребована в Украине. По возвращении на родину они рассредоточены по различным организациям и предприятиям и, как правило, не связаны с реализацией приобретенных ими новых знаний. Эту группу специалистов необходимо собрать под одной крышей для решения целевой задачи, причем территорию зоны отчуждения можно будет активно использовать для размещения на ней объектов инфраструктуры по созданию украинского ядерного топлива.

Таким образом, заявление Президента Украины о возврате отчужденных территорий в хозяйственный оборот может и, мы надеемся, станет отправной точкой реального наступления на зону отчуждения и ее реабилитации во благо развития ядерной отрасли и национальной безопасности Украины.

Список использованной литературы

- Абубекеров Р. А., Домашев Е. Д., Карелин А. И. Атомная энергетика на пороге XXI века // Пром-теплотехника. – 1998. – Т. 20. – № 5. – С. 37–41.
- Аветисов Г. М., Булдаков Л. А., Гордеев К. И., Ильин Л. А. Стратегия НКРЗ по обоснованию временных пределов доз годового облучения населения после аварии на ЧАЭС. Концепция пожизненной дозы // Мед. радиология. – 1989. – № 8. – С. 3–11.
- Аита М. Отношение общественности к атомной энергетике после аварии на заводе «Токай» // Новости ВАО АЭС. – 2000. – Вып. 22. – С. 10–11.
- Алексахин Р. М., Панов А. В., Фесенко С. В. Изучение последствий радиационных аварий. Эффективность мероприятий, направленных на снижение доз облучения жителей сельских населенных пунктов в отдаленный период после аварии на Чернобыльской АЭС // Радиационная биология и радиоэкология. – 2001. – Т. 41. – № 6. – С. 682–694.
- Алешин А. М., Гераско В. Н., Носовский А. В. Стратегия реализации плана осуществления первоочередных мероприятий на объекте «Укрытие» // Экология и атом. энергетика. – 2000. – Вып. 2. – С. 77–82.
- Анализ аварий на ядерных энергетических установках // Отчет Моск. атомэнергопроекта. – М., 1991. – Инв. № 122-0000.0240-071. – 206 с.
- Анализ теплогидравлических параметров КМПП в ходе аварийного останова второго блока ЧАЭС при пожаре в машзале и моделирование процессов расхолаживания реактора при дефиците питательной воды на основе динамической программы RELAP5/mod3 // Отчет ВНИИАЭС – РНЦ КИ. – М., 1992. – Инв. № ОЭ-3081/92. – 124 с.
- Багрянский В. М., Курносков В. А. и др. Захоронение 4-го энергоблока Чернобыльской АЭС // Атом. энергия. – 1988. – Т. 64. – № 4. – С. 248.
- Базыка Д. А., Бебешко В. Г., Носовский А. В. Чернобыльская АЭС – Славутич: Медицинские аспекты: Монография. – К.: Вища шк., 1996. – 400 с.
- Баряхтар В. Г. Чернобыльская катастрофа. – К.: Наук. думка, 1995. – 568 с.
- Баряхтар В. Г., Ключников А. А., Носовский А. В. О необходимости реформирования науки в Украине и создания научно-исследовательского института атомной энергетики // Проблемы Чернобыля. – 2003. – Вып. 12. – С. 6–16.
- Беккер К. Причины, следствия и терапия синдрома радиофобии // Атом. техника за рубежом. – 2005. – № 4. – С. 31–34.
- Беловодский Л. Ф., Беляев И. А., Лебедев Л. А. и др. Методы радиационной разведки и защиты при сооружении «Укрытия» четвертого энергоблока Чернобыльской АЭС // Материалы Междунар. симп. по восстановительным работам в случае ядерной аварии или радиационной аварийной ситуации. – Вена: МАГАТЭ, 1990. – № IAEA-SM-316. – С. 125–134.

Белоусов Е. Л., Купный В. И., Носовский А. В. Объект «Укрытие»: вчера, сегодня, завтра. Состояние 4-го энергоблока Чернобыльской АЭС // Материалы Междунар. семинара «Уроки Чернобыля. Технические аспекты». – М., 1996. – С. 8–28.

Бобро Д. Г., Носовский А. В., Крушинский А. Г. Анализ теплового режима хранения отработавшего топлива в ХОЯТ-2 Чернобыльской АЭС // Ядерная и радиационная безопасность. – 2001. – № 4. – С. 42–57.

Бобро Д. Г., Носовський А. В., Павлович В. М., Неретін Ю. О. Розрахунковий аналіз графітової кладки реактора 2-го енергоблока Чорнобильської АЕС після його остаточної зупинки // Наук. вісті НТУУ «КПІ». – 2002. – № 2 (22). – С. 10–21.

Богорощ А. Т., Доценко Ю. П., Соловьев В. П. О предпосылках формирования научно-технической политики // Проблемы науки. – 1999. – № 5. – С. 18–29.

Боровий О. О., Бар'яхтар В. Г., Кухар В. П. Уроки Чорнобиля: проблеми об'єкта «Укриття» // Вісн. НАН України. – 2001. – № 4. – С. 33–45.

Бугай Д. О., Джено С. П., Носовський А. В. та ін. Радіогідрогеологічний моніторинг об'єкта «Укриття» в зв'язку з виведенням Чорнобильської АЕС із експлуатації // Екологія підприємств ядерного циклу: 36. тез. доп. міжнар. конф. Укр. ЯТ / За ред. С. В. Барбашева. – Одеса: Астропринт, 1998. – С. 40.

Будущее атомной энергетики: за и против: Реф. сб. – М.: ИНИОН АН СССР, 1990. – 214 с.

Булдаков Л. А. Медицинские последствия радиационных аварий для населения // Мед. радиология и радиационная безопасность. – 2002. – Т. 47. – № 2. – С. 7–18.

Булдаков Л. А., Гуськова А. К. 15 лет после аварии на Чернобыльской АЭС // Радиационная биология и радиоз экология. – 2002. – Т. 42. – № 2. – С. 228–233.

Былкин Б. К., Зверков Ю. А., Зидин В. К. Техничко-економічні оцінки планового і досрочного снятия с эксплуатации АЭС первого поколения в России // Атом. энергия. – 1995. – Т. 78. – № 4. – С. 262–269.

Васильев С. Ю. Реабилитация радиоактивно загрязненных территорий при снятии с эксплуатации ядерных объектов // Атом. техника за рубежом. – 2002. – № 4. – С. 3–9.

Васильченко В. Н., Емельяненко Е. З., Ким В. В., Смышляев А. Е. Моделирование аварий на ядерных энергетических установках атомных электростанций / Под общ. ред. В. И. Скалозубова. – Одесса: Резон-2000, 2002. – 466 с.

Васильченко В. Н., Кисиль И. М., Крамеров А. Я. Анализ запроектных аварий с дефицитом подпитки контура охлаждения РБМК-1000 и их радиационные последствия: Материалы 6-й Рос. науч. конф. по защите от ионизирующих излучений ядерно-технических установок. – Обнинск, 1994. – С. 15–21.

Васильченко В. Н., Крышев И. И., Носовський А. В. і др. Статус водосема-охладителя Чорнобильської АЭС // Радиационная и экологическая безопасность предприятий ядерного топливного цикла: Сб. науч. ст. – Одесса: УкрЯО, 1995. – Вып. 1. – С. 20–25.

Вимоги до структури та змісту звіту з аналізу безпеки зняття з експлуатації атомних електростанцій і дослідницьких ядерних реакторів: Норми та правила з ядерної та радіаційної безпеки: НП 306.3.02/3.040–2000. – К.: Мін-во екол. ресурсів України, 2000. – 9 с.

Герасимов А. В. Психофизиологические и личностные факторы аварийности на энергопредприятиях // Физиол. журн. – 1991. – Т. 37. – № 5. – С. 103–111.

Гончаров Б. И., Носовский А. В., Фолин В. В. и др. Эффективное снижение выбросов радиоактивных благородных газов на АЭС с реакторами РБМК // Атом. энергия. – 1995. – Т. 79. – № 4. – С. 311–313.

Гуськова А. К. К обоснованию лимита хронического облучения // Вопросы радиационной безопасности. – 1999. – № 1 (13). – С. 16–19.

Дворина Г. М. Надежность технологических систем в системной ментальности человеческого фактора // Энергия. – 2002. – № 8. – С. 54–56.

Деякі результати радіогідрогеологічного моніторингу об'єкта «Укриття» / С. П. Джепо, А. В. Носовський, О. С. Скальський та ін. // Бюл. екол. стану зони відчуження та зони безумовного (обов'язкового) відселення. – Чернівці: Чернівецький інформ, 1999. – № 14. – С. 19–21.

Доклад международной консультативной группы по ядерной безопасности (INSAG) // Культура безопасности. Сер. изд. по безопасности. Вена: МАГАТЭ, 1990. – № 75, INSAG-4.

Домашнев Е. Д. О возможности развития атомной энергетики в Украине // Промтеплотехника. – 1998. – Т. 20. – № 3. – С. 42–49.

Еперин А. П. О культуре безопасности АЭС // Экология и атом. энергетика. – 2000. – Вып. 1. – С. 28–31.

Еременко В. А., Андреев О. В., Штейнберг Н. А. Влияние человеческого фактора на безопасность в атомной энергетике // Безопасность труда в промышленности. – 1990. – № 9. – С. 44–49.

Захаренко М. И., Носовский А. В., Чернюк В. И. и др. Результаты исследования функционального состояния оперативного персонала Чернобыльской АЭС при 8- и 12-часовом графиках работы // Проблемы Чернобыльской зоны отчуждения: Науч.-техн. сб. – 1996. – Вып. 4. – С. 66–70.

Иванов Е. А., Носовский А. В., Осолков Б. Я., Удовиченко В. П. Славутич: Вопросы радиационной экологии: Монография / Под общ. ред. А. В. Носовского, Б. Я. Осолкова. – К.: Вища шк., 2001. – 263 с.

Иванов Е. А., Носовский А. В., Хамьянов Л. П. и др. Радиоактивное загрязнение окружающей среды Ам-241 вследствие аварии на Чернобыльской АЭС // Атом. энергия. – 1994. – Т. 77. – Вып. 2. – С. 140–145.

Ильин Л. А. Радиационные аварии: медицинские последствия и опыт противорадиационной защиты // Атом. энергия. – 2002. – Т. 92. – Вып. 2. – С. 143–152.

Истомин Н. И., Клименко И. Н., Носовский А. В. и др. Отраслевая система аварийного реагирования и внешний кризисный центр Чернобыльской АЭС // Науч. и техн. аспекты междунар. сотрудничества в Чернобыле: Сб. науч. ст. и докл. – Славутич: Укратомиздат, 1999. – С. 370–379.

Итоги комплексного анализа запроектной аварии с длительной потерей электроснабжения собственных нужд для блоков РБМК-1000 1-го и 2-го поколения. Рекомендации по управлению аварией и снижению тяжести ее последствий // Отчет ВНИИАЭС. – М., 1991. – Инв. № ОЭ-2936/91. – 156 с.

Карасюк А. А., Сидоренко А. И. Вокруг Чернобыля: диалоги с учеными. – М.: ИзДАТ, 1991. – 112 с.

Кеирим-Маркус И. Б. Еще о регламентации облучения человека // Мед. радиология и радиационная безопасность. – 2000. – Т. 45. – № 3. – С. 41–44.

Кеирим-Маркус И. Б. Комментарии // Радиационная безопасность. Рекомендации МКРЗ 1990 г. Публикация 60 МКРЗ: Пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат, 1994. – Ч. 2. – С. 161–207.

Кеирим-Маркус И. Б. Неконструктивный радиационный гермезис // Мед. радиология и радиационная безопасность. – 2002. – Т. 47. – № 2. – С. 73–76.

- Кеирим-Маркус И. Б. Регламентация облучения для 21 века // Мед. радиология и радиационная безопасность. – 2000. – Т. 45. – № 1. – С. 6–12.
- Ключников А. А., Носовский А. В. Роль науки и образования при создании технополиса в городе Славутиче // Проблемы Чернобыля. – 2004. – Вып. 15. – С. 6–13.
- Ключников О. О., Носовський А. В. Науково-технічні аспекти перетворення об'єкта «Укриття» в екологічно безпечну систему // Наук. вісті НТУУ «КПІ». – 2004. – № 4 (36). – С. 47–56.
- Козлов В. Ф. Организация и руководство выводом из эксплуатации крупных ядерных установок // Атом. техника за рубежом. – 2002. – № 9. – С. 14–18.
- Кононович А. Л., Носовский А. В., Осолков Б. Я. и др. Оценка радиоактивного состояния подземных вод в районе Чернобыльской АЭС // Атом. энергия. – 1994. – Т. 77. – Вып. 5. – С. 386–391.
- Кононович А. Л., Носовский А. В., Школьников С. Я. и др. Радиационные последствия гипотетического прорыва ограждающей дамбы водоема-охладителя Чернобыльской АЭС // Атом. энергия. – 2000. – Т. 88. – Вып. 4. – С. 303–307.
- Корнєєв А. А., Носовський А. В., Осолков Б. Я. Влияние объекта «Укрытие» на окружающую среду: Материалы 2-й междунар. науч.-практ. конф., посвященной 10-й годовщине завершения работ по строительству объекта «Укрытие» // Огни Славутича. – 1997. – С. 59–67.
- Корнєєв А. А., Носовський А. В., Осолков Б. Я. Проблемы экологии объекта «Укрытие» // Проблемы Чернобыля: Наук.-техн. зб. МНТЦ «Укриття». – К.: Укратомиздат, 1999. – Вып. 5. – С. 117–123.
- Кочетков О. А., Носовский А. В., Цовьянов А. Г. и др. Опыт эксплуатации системы санитарно-пропускного режима на Чернобыльской АЭС // Атом. энергия. – 1997. – Т. 82. – Вып. 2. – С. 140–146.
- Кутяков В. А., Демин В. Ф., Голиков В. Я. Проблемы нормирования в области ионизирующего излучения // Атом. энергия. – 1998. – Т. 85. – Вып. 2. – С. 164–171.
- Медицинские последствия чернобыльской аварии // Результаты пилотных проектов АЙФЕКА и соответствующих национальных программ: Науч. отчет. – Женева, 1996. – № 3. – 559 с.
- Международный чернобыльский проект: Технический доклад. Оценка радиологических последствий и защитных мер. – IAEA, 1992. – 740 с.
- Нормы радиационной безопасности: НРБ-99: Гигиенические нормативы. – М.: Центр сан.-эпидемиологического нормирования, гигиенической сертификации и экспертизы Минздрава России, 1999. – 38 с.
- Носовський А. В. Безопасність життєдіяльності: Монографія. – К.: Політехніка, 2005. – 288 с.
- Носовський А. В. Вопросы культуры безопасности на атомных электрических станциях. Препринт: 98-8 / НАН України; МНТЦ «Укриття». – Чернобыль, 1998. – 8 с.
- Носовський А. В. Вопросы нормирования облучения персонала и населения // Ядерная и радиационная безопасность. – 2000. – Т. 3. – Вып. 3. – С. 16–21.
- Носовський А. В. Дозы облучения, полученные в результате аварии на Чернобыльской АЭС, и медицинские эффекты // Ядерная и радиационная безопасность. – 2003. – Т. 6. – Вып. 1. – С. 11–24.
- Носовський А. В. Закриття Чернобыльської АЕС і перспективи розвитку атомної енергетическої галузі України // Проблеми Чернобыля. – Чернобыль, 2001. – Вып. 7. – С. 6–22.
- Носовський А. В. Концептуальні аспекти вивода з експлуатації енергоблоків Чернобыльської АЕС // Науч. и техн. аспекты междунар. сотрудничества в Чернобыле: Сб. науч. ст. и докл. – Славутич: Укратомиздат, 1999. – С. 257–266.

Носовский А. В. Малые дозы и вопросы нормирования // Проблемы Чернобыля. – 2003. – Вып. 12. – С. 17–30.

Носовский А. В. Методика проведения радиационного обследования энергоблока АЭС при выводе его из эксплуатации // Экология и атом. энергетика. – 1999. – Вып. 2. – С. 58–61.

Носовский А. В. О научно-техническом сопровождении атомной энергетики // Энерг. политика Украины. – 2004. – № 4. – С. 90–94.

Носовский А. В. О принципах нормирования радиационных величин // Проблемы Чернобыля. – 2000. – Вып. 6. – С. 104–112.

Носовский А. В. Особенности безопасности ядерной энергетики // Ядерная и радиационная безопасность. – 2003. – Т. 6. – Вып. 2. – С. 29–39.

Носовский А. В. Преобразование объекта «Укрытие» в экологически безопасную систему: проблемы и пути решения // Энерг. политика Украины. – 2004. – № 7–8. – С. 114–121.

Носовский А. В. Развитие региональной системы научно-технической и инженерной поддержки атомной энергетической отрасли Украины // Атом. энергетика та промисловість України. – 1999. – № 1. – С. 31–33.

Носовский А. В. Технические и социальные аспекты досрочного вывода из эксплуатации энергоблоков Чернобыльской АЭС // Атом. энергетика та промисловість України. – 1999. – № 2. – С. 34–38.

Носовский А. В. Эксплуатация Чернобыльской АЭС в послеварийный период // Атом. энергия. – 1996. – Т. 81. – Вып. 5. – С. 329–333.

Носовский А. В., Ильичев С. В., Снисар И. Б. и др. Оценка аварийной дозы облучения персонала Чернобыльской АЭС за 1986 г. // Атом. энергия. – 1995. – Т. 78. – Вып. 3. – С. 195–199.

Носовский А. В., Митичкина И. Н., Хомазюк И. Н. Дозиметрическое сопровождение медицинских и эпидемиологических исследований // Чернобыльская АЭС – Славутич: медицинские аспекты. – К.: Вища шк., 1996. – С. 17–50.

Носовский А., Нелчинов Ю., Хавкин А. и др. Обследование строительных конструкций первого энергоблока Чернобыльской АЭС // Наук. та техн. аспекти міжнар. співробітництва в Чорнобилі: Зб. наук. ст. – Славутич: Укратомвидав, 2000. – Вып. 2. – С. 105–112.

Носовский А. В., Рылов В. Р., Скрипов А. Е. Методология, состав и порядок проведения комплексного инженерного и радиационного обследования блока АЭС // Проблемы Чернобыля. – 2002. – № 9. – С. 16–24.

Носовский А. В., Салий Л. М. Концептуальные подходы к разработке методики оценки затрат по снятию с эксплуатации энергоблоков атомных электрических станций // Проблемы Чернобыля. – 2003. – Вып. 13. – С. 13–16.

Носовський А. В. Досвід зняття з експлуатації енергоблоків атомних електричних станцій // Наук. вісті НТУУ «КПІ». – 2003. – № 5 (31). – С. 27–35.

Носовський А. В. Перспективи розвитку атомної енергетичної галузі України // Наук. вісті НТУУ «КПІ». – 2003. – № 4 (30). – С. 42–47.

Носовський А. В., Оскалков Б. Я. Екологічні аспекти виведення з експлуатації Чорнобильської АЕС // Бюл. екол. стану зони відчуження та зони безумовного (обов'язкового) відселення. – Чорнобиль: Чорнобильінтерінформ, 2000. – № 16. – С. 13–17.

Носовський А. В., Оскалков Б. Я. Чорнобильська АЕС. Десять років після аварії // Бюл. екол. стану зони відчуження. – Чорнобиль: Чорнобильінтерінформ, 1996. – № 1 (6). – С. 11–12.

Носовський А. В., Осколков Б. Я., Толстоногов В. К. Зняття з експлуатації Чорнобильської АЕС. Аналіз досвіду // Бюл. екол. стану зони відчуження та зони безумовного (обов'язкового) відселення. – Чорнобиль: Чорнобильінтерінформ, 2001. – № 17. – С. 43–50.

Носовський А. В., Скрипов О. Є., Толстоногов В. К. Підготовка Чорнобильської АЕС до виведення енергоблоків з експлуатації // Бюл. екол. стану зони відчуження та зони безумовного (обов'язкового) відселення. – Чорнобиль: Чорнобильінтерінформ, 2000. – № 15. – С. 21–24.

Общие положения обеспечения безопасности атомных станций: ОПБ-2000: НП306.1.02/1.034-2000 / Администрация ядерн. регулирования Украины. – К., 2000. – 31 с.

Объект «Укрытие». История, состояние и перспективы: Монография / А. А. Ключников, А. В. Носовский, В. Н. Щербин и др. – К.: Интерграфик, 1997. – 224 с.

Описание объекта «Укрытие» и требования к его преобразованию. – К.: Наук. думка, 1992. – 48 с.

О причинах и обстоятельствах аварии на четвертом энергоблоке Чернобыльской АЭС 26 апреля 1986 г. // Доклад комиссии Госпроматомнадзора СССР. – М., 1991.

Оценка состояния хранилищ радиоактивных отходов чернобыльского происхождения в Киевской области / В. М. Николенко, А. И. Леденев, А. Н. Каширный // Проблемы Чернобыльской зоны отчуждения. – 1995. – Т. 3. – С. 38–43.

Петоян И. М., Филюшкин И. В. Объективизация оценок канцерогенного риска у человека при низких уровнях облучения: новый взгляд на старую проблему // Мед. радиология и радиационная безопасность. – 2000. – Т. 45. – № 3. – С. 33–40.

Подлазов Л. Н., Трехов В. Е., Черкашов Ю. М. Расчетное моделирование аварии на четвертом блоке Чернобыльской АЭС // Атом. энергия. – 1994. – Т. 77. – Вып. 2. – С. 59–64.

Принципиальные подходы к вопросу преобразования объекта «Укрытие» в долговременную, неизменяемую экологически безопасную систему: Решение НТС Минатомэнергопрома СССР от 15.03.1991 г. – М., 1991. – 24 с.

Расследование причин возникновения нарушения на втором блоке Чернобыльской АЭС 11.10.91 г. // Отчет НИР ЧАЭС. – 1991. – Инв. № Чер-ПО2-10-10-91. – 96 с.

Рачков В. И. Экологические проблемы атомной энергетики // Изв. Акад. пром. экологии. – 2000. – № 2. – С. 72–79.

Результаты комплексных исследований радиационного состояния пунктов временной локализации радиоактивных отходов в зоне отчуждения Чернобыльской АЭС / А. И. Леденев, П. А. Овчаров, И. Б. Мишунина // Проблемы Чернобыльской зоны отчуждения. – 1995. – Т. 3. – С. 124–135.

Ретроспективная дозиметрия участников ликвидации аварии на Чернобыльской АЭС: Монография / С. В. Ильичев, О. А. Кочетков, А. В. Носовский и др.; Под ред. А. В. Носовского, В. П. Крюкова. – К.: Седастиль, 1996. – 256 с.

Рябухин Ю. С. Низкие уровни ионизирующего излучения и здоровье: системный подход // Мед. радиология и радиационная безопасность. – 2000. – Т. 45. – № 4. – С. 5–45.

Сауров М. М. Оценка вероятности летальных эффектов при действии на население ионизирующих излучений // Мед. радиология и радиационная безопасность. – 2002. – Т. 47. – № 5. – С. 5–16.

Снятие с эксплуатации Чернобыльской АЭС: текущее состояние, варианты, проблемы: Аналит. записка / Е. А. Миколайчук, Н. А. Штейнберг. – К., 1995. – Инв. № 04291. – 18 с.

Соломатин Ю. Чернобыль-2000: по делам твоим познаю тебя // Вісн. Чорнобиля. – 2000. – № 47.

Сорокин Н. М. Чернобыльская АЭС – факты, цифры, перспективы: Информ. издание. – К.: Укринформэнергосервис, 1993. – 16 с.

Стратегический план Минчернобыля в сфере обращения с радиоактивными отходами в Украине / В. И. Холоша, П. А. Корчагин, В. В. Удод // Проблемы Чернобыльской зоны отчуждения. – 1995. – Т. 3. – С. 67–78.

Субботин С. А. Атомная энергетика против энергетического кризиса // Энергия. – 2002. – № 8. – С. 18–23.

Сушкевич Г. Н. Международная система медицинской готовности к действиям при радиационных чрезвычайных ситуациях // Мед. радиология и радиационная безопасность. – 2002. – Т. 47. – № 4. – С. 5–16.

Тевлин С. А. Проявление культуры безопасности в ядерной энергетике // Атом. техника за рубежом. – 2000. – № 5. – С. 22–26.

Туков А. Р., Клеева Н. А., Шафранский И. Л. Социальные аспекты оценки здоровья лиц, принимавших участие в ликвидации последствий больших радиационных аварий // Мед. радиология и радиационная безопасность. – 2000. – Т. 45. – № 2. – С. 5–15.

Тюнин И. Б. Эволюционные и инновационные ядерные реакторы для ближайшей и отдаленной перспективы // Атом. техника за рубежом. – 2005. – № 1. – С. 3–10.

Цыб А. Ф. О внесении изменений и дополнений в федеральный закон о радиационной безопасности населения // Мед. радиология и радиационная безопасность. – 2002. – Т. 47. – № 2. – С. 19–25.

Чернобыль десять лет спустя. Радиационные и медицинские последствия: Оценочный доклад Комитета по радиационной защите и здравоохранению Агентства по ядерной энергии. – М.: ЦИСиН, 1996. – 128 с.

Чернобыльская АЭС: вчера, сегодня, завтра: Информ.-аналит. сб. – Славутич: ПО ЧАЭС, 1996. – 186 с.

Экологические последствия радиоактивного загрязнения природных сред в районе аварии Чернобыльской АЭС / Ю. А. Израэль, В. Г. Соколовский и др. // Атом. энергия. – 1988. – Т. 64. – Вып. 1. – С. 35–42.

Ярмоненко С. П. Низкие уровни излучения и здоровье: радиобиологические аспекты // Мед. радиология и радиационная безопасность. – 2000. – Т. 45. – № 3. – С. 5–32.

Ярмоненко С. П. Третья международная конференция «Медицинские последствия Чернобыльской катастрофы» // Мед. радиология и радиационная безопасность. – 2001. – Т. 46. – № 5. – С. 27–33.

Annex J. Exposures and Effects of the Chernobyl Accident. Unsear 2000 Report to the General Assembly // Intern. J. of Radiation Medicine. – 2000. – №2–4. – P. 3–109.

Balonov M. I. Overview of Doses to the Soviet Population from the Chernobyl Accident and the Protective Actions Applied: The Chernobyl Papers, 1:23–45 / Ed. S.E. Merwin and M.I. Balonov // Research Enterprises. – Richland: WA, 1993.

Barkhudarov R. M. et al. Characterization of Irradiation Levels of the Population in the Controlled Areas within the First Four Years after the Chernobyl NPP Accident. – Moscow: Institute of Biophysics, 1994.

Becker K. Health Effects of High Radon Environments in Central Europe: Another Test for the LNT Hypothesis? // *Nonlinearity in Biology, Toxicology, and Medicine* 1/1, 3–35. – 2003.

Becker K. Ursachen, Folgen und Therapie des Radiophobie-Syndroms. – *atw* 49. Jg., 2004. – Heft 3. – P. 177–180.

Bylkin B., Davydova G., Nosovsky A., Neretin Y. et al. Induced Radioactivity and waste Classification of Reactor Zone Components of the Chernobyl Nuclear Power Plant Unit 1 After Final Shutdown // *Nuclear Technology*. – Vol. 136. – No 1, NUTYBB 136 (1) 1–140 (2001). – P. 76–88.

Cardis E., Gilbert E., Carpenter L. et al. Effects of low doses and low dose rates of external ionizing radiation: Cancer mortality among nuclear industry workers in three countries // *Radiat. Res.* – 1995. – Vol. 142. – P. 117–132.

Dzepo S. P. et al. Hydrogeological Effects of the Principal Radioactive Waste Burial Sites Adjacent to the Chernobyl NPP: Review // *Sarcophagus Safety '94: Proc. of Intern. Conf., Zeleny Mys, Chernobyl, Ukraine, 14–18 March 1994: OECD/NEA*. – Paris, 1995. – P. 370–382.

Gagarmsky A. Yu., Kuznetsov V. V., Ponomarev-Stepnoi N. N., Solonin M. I. Russia and Innovative Projects INPRO and Generation-IV // *Intern. Conf. on Innovative Technologies for Nuclear Fuel Cycles and Nuclear Power, 23–26 June 2003: Book of ext. synopses: IAEA-CN-108-47*. – P. 82–83.

Health and Environmental Consequences of the Chernobyl Nuclear Power Plant Accident: A Report to the US Department of Energy: DOE/ER-0332. – 1987.

Hopwood J. P. et al. Innovative Reactor Technologies. Enabling Success // *Intern. Conf. on Innovative Technologies for Nuclear Fuel Cycles and Nuclear Power, 23–26 June 2003: Book of ext. synopses: IAEA-CN-108-6*. – P. 45–47.

Ilyin L. A. et al. Radiocontamination Patterns and Possible Health Consequences of the Accident at the Chernobyl Nuclear Power Station // *J. Radiol. Prot.* – 1990. – № 10(1). – P. 3–29.

Ilyin L. A. and Pavlovskij A. O. Radiological Consequences of the Chernobyl Accident in the Soviet Union and Measures Taken to Mitigate Their Impact // IAEA. – 1987. – Bulletin 4.

INSAG-7. The Chernobyl Accident: Uptaking of INSAG-1 // A report by the Intern. Nuclear Safety Advisory group IAEA.-Vienna, 1992. – N75-IAEA-7.

Kodochigov N. et al. The Gas Turbine – Modular Helium Reactor // *Intern. Conf. on Innovative Technologies for Nuclear Fuel Cycles and Nuclear Power, 23–26 June 2003: Book of ext. synopses: IAEA-CN-108-33*. – P. 58–59.

Koster A., Matzner H. D., Nichols D. R. PBMR design for the future // *Nuclear Engineering and Design*. – 2003. – No 2–3. – P. 231–245.

Krjuchkov V. P., Osanov D. P., Vasiljchenko V. N. et al. Retrospective dose estimation of external gamma and beta radiation for liquidators of the Chernobyl nuclear power plant accident using computational method // *Proc. of Intern. Symp. on Radiation Safety: ISRS-94*. – Moscow, 1994. – P. 231–238.

Kurnosov V. A. et al. Design of Shelter – Experience of Planning and Construction in 1986 // *Sarcophagus Safety '94: Proc. of Intern. Conf., Zeleny Mys, Chernobyl, Ukraine, 14–18 March 1994: OECD/NEA*. – Paris, 1995. – P. 243–250.

Likhtarev I. A. et al. Exposure Doses to Thyroid of the Ukrainian Population After the Chernobyl Accident // *Health Physics*. – 64:594–599, 1993.

Likhtarev I. A. et al. Retrospective Reconstruction of Individual and Collective External Gamma Doses of Population Evacuated after the Chernobyl Accident // *Health Physics*. – 66(6):643–652. – 1994.

Mougorov V. M., Kupitz J. Background and Structure of The International Project on Innovative Nuclear Reactors and Fuel Cycles (INPRO) // Intern. Conf. on Innovative Technologies for Nuclear Fuel Cycles and Nuclear Power, 23–26 June 2003: Book of ext. synopses: IAEA-CN-108-75. – P. 37.

Nosovsky A. V. Chernobyl nuclear power station – past, prezent and future // Proc. of the Twentieth Intern. Symp. held by the Uranium Institute “Uranium and Nuclear Energy: 1995”. – London: The Uranium Institute, 1995. – P. 62–66.

Nosovsky A. V. Radioactivity clean-up and exposures at Chernobyl nuclear power plant // Nuclear Europe Worldscan. – 1995. – No 7–8. – P. 100.

Organization and management for Decommissioning of Large Nuclear Facilities // Technical repots series No 399. – IAEA, 2000.

Rogner H.N., Langlois L.M., McDonald A. Nuclear Power: Status and Outlook // Atomwirtschaft – Atomtechnik. – 2001. – Vol. 46. – No. 12. – P. 762–766.

Samejima K. et al. Economic Viability of Innovative Nuclear Reactor and Fuel Cycle Technologies // Intern. Conf. on Innovative Technologies for Nuclear Fuel Cycles and Nuclear Power, 23–26 June 2003: Book of ext. synopses: IAEA-CN-108-KN70. – P. 26–27.

Small Reactors Return // Nuclear Engineering International. – 2002. – Vol. 47. – No 579. – P. 24–25.

Souchkevitch G. Participants in the Clean-up Operations Following the Chernobyl Disaster: State of Health and Medical Monitoring in Belarus, Russia and Ukraine // Personal communication. – 1995.

Staff Response to Frequently Asked Questions Concerning Decommissioning of Nuclear Power Reactors NUREG 1628. – W., 1998.

Zvonova L. A. and Balonov M. I. Radioiodine Dosimetry and Prediction of Consequences of Thyroid Exposure of the Russian Population following the Chernobyl Accident // The Chernobyl Papers, 1:71–125 / Eds. S.E. Merwin & M.I. Balonov // Research Enterprises. – Richland: WA, 1993.

Науково-популярне видання

**Носовський Анатолій Володимирович,
Васильченко Віктор Миколайович,
Ключников Олександр Олександрович,
Прістер Борис Самуїлович**

**БЕЗПЕКА
АТОМНИХ СТАНЦІЙ
АВАРІЯ
НА ЧОРНОБИЛЬСЬКІЙ
АЕС
ДОСВІД ПОДОЛАННЯ.
ВИНЕСЕНІ УРОКИ**

Рос. мовою

Редактори *Н. О. Білокриницька, Ю. О. Логінов*
Оформлення художника *В. О. Гурлева*
Художній редактор *С. В. Анненков*
Технічний редактор *К. Є. Ставрова*
Коректор *І. В. Іванюк*
Комп'ютерна верстка *Л. О. Ємець*

Підписано до друку 03.02.2006. Формат 70х90^{1/16}.

Папір офсетний. Друк офсетний. Гарнітура Times New Roman.

Ум. друк. арк. 19,31 + 2,34 кольор. вкл.

Обл.-вид. арк. 20,5 + 2,39 кольор. вкл.

Тираж 3100 прим. (у т. ч. за держзамовленням 2000 прим.).

Зам. № 6-127.

Видавництво «Техніка». 04053 Київ, вул. Обсерваторна, 25.
Свідцтво про внесення до Державного реєстру України
суб'єктів видавничої справи ДК № 357 від 12.03.2001 р.

Віддруковано на Білоцерківській книжковій фабриці.
09117 Біла Церква, вул. Леся Курбаса, 4.

Свідцтво про внесення до Державного реєстру України
суб'єктів видавничої справи ДК № 567 від 14.08.2001 р.

Accident on Chernobyl Nuclear Power Plant Getting Over the Consequences and Lessons Learned



НОСОВСКИЙ

Анатолий Владимирович,
доктор технических наук.
Заместитель директора
Государственного научно-
технического центра по
ядерной и радиационной
безопасности
Государственного комитета
ядерного регулирования
Украины.
Профессор кафедры
атомных электрических
станций НТУУ «Киевский
политехнический
институт».
Автор более 130 научных
работ



ВАСИЛЬЧЕНКО

Виктор Николаевич,
кандидат технических наук,
заслуженный энергетик
Украины.
Директор
Государственного научно-
технического центра по
ядерной и радиационной
безопасности
Государственного комитета
ядерного регулирования
Украины.
Автор более 50 научных
работ



КЛЮЧНИКОВ

Александр Александрович,
член-корреспондент
Национальной академии
наук Украины, доктор
технических наук,
профессор, заслуженный
деятель науки и техники.
Директор Института
проблем безопасности
атомных электростанций
НАН Украины.
Автор более 250 научных
работ



ПРИСТЕР

Борис Самуилович,
доктор биологических наук,
заслуженный деятель науки
и техники,
лауреат Государственных
премий СССР (1974)
и Украины (2004).
Главный научный сотрудник
Института
проблем безопасности АЭС
НАН Украины.
Автор более 450 научных
работ