

## **Анализ потенциальных аварий при проведении работ по снятию с эксплуатации энергоблока №2 Чернобыльской АЭС.**

**Бобро Д.Г.<sup>1</sup>, Глыгало В.Н.<sup>1</sup>, Гончаров Б.И.<sup>1</sup>, Носовский А.В.<sup>1</sup>, Рылов В.Р.<sup>1</sup>, Сейда В.А.<sup>2</sup>**

1. *Чернобыльский центр по проблемам ядерной безопасности, радиоактивных отходов и радиозологии.*
2. *ГСП "Чернобыльская АЭС".*

В соответствии с нормативным документом Украины [1], для получения отдельного разрешения на начало работ по снятию с эксплуатации на этапе окончательного закрытия эксплуатирующая организация должна разработать и представить органу государственного регулирования в области ядерной и радиационной безопасности:

- Регламент эксплуатации энергоблока на этапе окончательного закрытия;
- Программу реализации этапа окончательного закрытия;
- Отчет по анализу безопасности энергоблока на этапе окончательного закрытия.

Перечень информации, который должен быть представлен в "Отчете по анализу безопасности...", приведен в нормативном документе [2].

Наибольшую сложность при разработке отчета по анализу безопасности представляет проведение анализа безопасности при различных авариях, которые могут произойти на энергоблоке при проведении работ по снятию с эксплуатации. Необходимо отметить, что работы по анализу безопасности для энергоблока, снимаемого с эксплуатации, ранее в Украине не проводились.

Целью проведенной работы было определение перечня возможных аварий при проведении работ на этапе окончательного закрытия энергоблока №2 ЧАЭС и оценка их последствий для персонала, населения и окружающей среды. В ходе выполнения данной работы были реализованы следующие задачи:

- проведен анализ имеющейся документации, устанавливающей требования к деятельности по снятию с эксплуатации и определяющей состояние энергоблока №2 Чернобыльской АЭС на этапе окончательного закрытия;
- проведена оценка рисков, связанных с планируемой деятельностью по снятию с эксплуатации;
- определен перечень возможных аварий при проведении работ по снятию с эксплуатации на этапе окончательного закрытия;
- определены исходные события для возможных аварий, подлежащие рассмотрению при проведении анализа;
- определены вероятности потенциальных аварий и их исходных событий;
- оценены потенциальные последствия возможных аварий для персонала, населения и окружающей природной среды;
- определены мероприятия по предотвращению аварий и ликвидации их последствий.

Оценка вероятностей и радиационных последствий потенциальных аварий была выполнена по методике АЕА Technology.

### **Исходное состояние блока на начало этапа окончательного закрытия:**

- Блок проработал с 1978 по 1991г. и был остановлен в 1991г. после пожара в турбинном отделении.
- Состояние строительных конструкций позволяет осуществлять их безопасную эксплуатацию в течение не менее 50 лет.
- С энергоблока удалено все ядерное топливо (из реактора, бассейнов выдержки и помещений для хранения свежего топлива).
- Реакторное пространство продувается воздухом со степенью влажности не более 60%.
- Опорожнен и переведен в режим сухой консервации контур многократной принудительной циркуляции.
- Часть технологических систем выведена из эксплуатации.
- По результатам расчета наведенной активности конструкций реактора и проведенного комплексного инженерного и радиационного обследования блока №2 получены основные радиационные характеристики систем, оборудования, строительных конструкций и конструктивных элементов блока №2.

На этапе окончательного закрытия на блоке планируется проведение следующих работ:

- освобождение блока от радиоактивных отходов, высокоактивных специзделий из центрального зала и т.п.;
- опорожнение бассейнов выдержки (БВК), бассейнов выдержки ТК (БВТК);
- контроль за состоянием блока, эксплуатация, техническое обслуживание и ремонт оборудования, остающегося в работе;
- демонтаж внешних, по отношению к реакторной установке, систем и элементов (таких как оборудование турбинного отделения);
- сохранение и укрепление барьеров, предотвращающих распространение радиоактивных веществ в окружающую среду;
- реконструкция и модернизация систем обеспечения безопасности, жизнеобеспечения и контроля за состоянием блока.

### **ПЕРЕЧЕНЬ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ АВАРИЙ ДЛЯ 2-ГО БЛОКА ЧАЭС НА ЭТАПЕ ОКОНЧАТЕЛЬНОГО ЗАКРЫТИЯ.**

Анализ аварий, возможных при ведении деятельности по снятию с эксплуатации энергоблока №2 ЧАЭС осуществлялся методом экспертной оценки. При проведении оценки эксперты руководствовались как требованиями норм, правил и стандартов в области использования атомной энергии и обеспечения безопасности, действующими в Украине, так и мировым опытом ведения работ по анализу безопасности деятельности по снятию с эксплуатации ядерных установок, опытом эксплуатации и прекращения эксплуатации энергоблоков Чернобыльской АЭС.

При выборе аварий, подлежащих анализу безопасности, рассматривались только те аварии, последствиями которых является выход радиоактивных веществ за установленные барьеры и/или облучение персонала. Аварии, последствия которых являются общепромышленными (например, падение с высоты, попадание людей под действие электрического тока, выход из строя вспомогательного оборудования и т.п.), в рамках данной работы не рассматривались. Также при выборе аварий, подлежащих анализу, не рассматривались аварии, причиной которых являются террористические акты или умышленные преступные действия одного человека, либо группы лиц. При проведении предварительной оценки было принято, что вероятность подобных событий невозможно определить с достаточной долей достоверности, а кроме того риск подобных происшествий обратно пропорционален уровню физической защиты предприятия.

На основании предварительной экспертной оценки для рассмотрения и последующего анализа были определены следующие виды аварий:

1. *Пожар в кабельных помещениях.*
2. *Пожар в местах сбора и временного хранения РАО, либо в помещениях, в которых находится оборудование, загрязненное радиоактивными веществами.*
3. *Падение высокоактивных специзделий, контейнеров с РАО при перемещении их с помощью грузоподъемных механизмов.*
4. *Обрушение РЗМ или мостового крана в центральном зале.*
5. *Падение тяжелых предметов в БВК и БВТК.*
6. *Разрушение оборудования и трубопроводов, содержащих жидкие радиоактивные среды.*
7. *Отказ системы вентиляции.*
8. *Разгерметизация контура продувки РП-2*
9. *Потеря энергоснабжения блока.*
10. *Авария на оборудовании, обеспечивающем теплоснабжение блока.*
11. *Некомпенсируемое снижение уровня воды в БВК или БВТК с находящимися в них на хранении высокоактивными специзделиями.*
12. *Отказ оборудования линии измельчения длинномеров или тонкомеров .*
13. *Несанкционированное посещение помещений с высокими уровнями ионизирующих излучений.*
14. *Потеря контроля над источником ионизирующего излучения.*
15. *Горение графитовой кладки реактора.*
16. *Землетрясение*
17. *Падение летательного аппарата*
18. *Смерч, ураган, торнадо*
19. *Наводнение, подтопление*



## ОЦЕНКА ПОСЛЕДСТВИЙ ВОЗМОЖНЫХ АВАРИЙ

### **1. Пожар в кабельных помещениях**

Основной негативный фактор пожара в кабельных помещениях (полуэтажах и отсеках) не радиационный. Пожар в кабельных полуэтажах и отсеках может привести к выходу из строя оборудования систем, важных для безопасности, систем жизнеобеспечения, либо оборудования, осуществляющего контроль за состоянием блока.

Вероятность возникновения данной аварии была оценена на уровне  $\sim 10^{-4}$ .

В случае, если в результате пожара произойдет выход из строя систем, важных для безопасности, на ЧАЭС предусмотрен комплекс компенсирующих мероприятий.

При нахождении на блоке систем газового пожаротушения и системы обнаружения пожаров в готовности в проектном объеме для этапа окончательного закрытия обеспечивается достаточная пожаробезопасность в кабельных полуэтажах и отсеках. Дополнительных систем пожаротушения кабельных полуэтажей и отсеков не требуется. Комплекс компенсирующих мероприятий обеспечивает поддержание энергоблока в безопасном состоянии даже в случае выхода отдельных систем из строя. Радиационные последствия для персонала, населения и окружающей среды отсутствуют.

### **2. Пожар в местах сбора и временного хранения РАО, либо в помещениях, в которых находится оборудование, загрязненное радиоактивными веществами выше КУ для помещений II-ой подзоны.**

Пожар в вышеуказанных местах может привести к выходу радиоактивных веществ в окружающую среду, повышенному радиоактивному загрязнению поверхностей оборудования и помещений постоянного пребывания персонала, либо облучению персонала, принимающего участие в тушении пожара, либо персонала, находящегося в смежных помещениях.

Вероятность возникновения данной аварии была оценена на уровне  $\sim 10^{-4}$ .

На основании приведенных расчетов можно сделать вывод о том, что персонал, принимающий непосредственное участие в ликвидации рассматриваемой аварии, получит дозу от внешнего и внутреннего (ингаляционного) облучения до 110 мкЗв.

Проведенный анализ позволил сделать вывод о том, что дымообразование будет незначительным и задымленными окажутся небольшое количество помещений, при этом, в смежных помещениях концентрация радиоактивных веществ в воздухе будет ниже вследствие рассеяния и работы систем вентиляции. Таким образом, радиационные последствия пожара будут значимы только для персонала, принимающего участие в тушении пожара.

Оцененная величина выхода радиоактивности в воздушную среду составляет 0,5 МБк, что, даже в случае полного выброса данной активности в окружающую среду, не превышает допустимых уровней выбросов. Учитывая, что в зоне отчуждения запрещено проживание населения, а также на основании того, что рассчитанная доза для персонала, принимавшего участие в ликвидации рассматриваемой аварии, и находящегося непосредственно в радиоактивном облаке незначительна (до 110 мкЗв), был сделан вывод о том, что проведение расчетов для оценки радиационных последствий для населения и окружающей среды не требуется.

3. ***Падение высокоактивных специзделий, контейнеров с РАО при перемещении их с помощью грузоподъемных механизмов.***

Последствиями данной аварии могут являться ухудшение радиационной обстановки в местах падения и в смежных помещениях блока, повышенное радиоактивное загрязнение поверхностей оборудования и помещений и облучение персонала, принимающего участие в ликвидации аварии.

Вероятность возникновения данной аварии была оценена на уровне  $- 1,3 \times 10^{-2}$  раз в год. Исходя из опыта проведения аналогичных работ в период ликвидации аварийной ситуации, связанной с падением специзделия во время проведения транспортно-технологических операций (ТТО) в 1999, было принято, что доза внешнего облучения персонала, принимающего участие в ликвидации последствий аварии, составит 2 мЗв.

С учетом того, что система вентиляции проводит очистку выброса на фильтрах, был сделан вывод о том, что проведение расчетов для оценки радиационных последствий для населения и окружающей среды не требуется.

Таким образом, комплекс организационно-технических мероприятий обеспечивает достаточную безопасность персонала, населения и окружающей среды при функционировании в проектном объеме на блоке №2 оборудования, предназначенного для выполнения ТТО, оборудования радиационного контроля и вентиляции. Дополнительных компенсирующих мероприятий не требуется. Радиационные последствия для персонала, населения и окружающей среды незначительны.

4. ***Обрушение РЗМ или мостового крана в ЦЗ.***

Данная авария может привести к повреждению конструктивных элементов реактора, оборудования и конструктивных элементов центрального зала или разрушению стеновых панелей ЦЗ, других строительных конструкций.

На основании проведенных расчетов был сделан вывод о том, что персонал, принимающий участие в оценке последствий рассматриваемой аварии, получит дозу от внешнего и внутреннего (ингаляционного) облучения до 80 мкЗв.

Учитывая, что система вентиляции проводит очистку выброса на фильтрах, а также на основании того, что расчетная ингаляционная доза для персонала, принимавшего участие в оценке последствий рассматриваемой аварии, незначительна (до 50 мкЗв), был сделан вывод о том, что проведение расчетов для оценки радиационных последствий для населения и окружающей среды не требуется.

В части компенсирующих мероприятий по предотвращению подобных аварий необходимо выполнить расчет сейсмостойкости крана РЗМ и крана ЦЗ и, при необходимости, их укрепление.

Вероятность этой аварии при исходных событиях естественного характера оценивается как  $10^{-7}$  раз в год, а при исходных событиях, вызванных отказом оборудования с наложением ошибок персонала -  $10^{-4}$  раз в год.

5. ***Падение тяжелых предметов в БВК и БВТК.***

Данная авария может привести к повреждению облицовки БВК и их опорожнению (с выходом радиоактивных веществ в помещения блока, повышенному загрязнению поверхностей оборудования и помещений и дополнительному облучению персонала), повреждению специзделий, находящихся в БВК или БВТК.

Вероятность этой аварии при исходных событиях естественного характера оценивалась как  $10^{-7}$  раз в год, а при исходных событиях, вызванных действиями людей –  $10^{-4}$  раз в год.

Возможные дозы облучения персонала, концентрация радиоактивных веществ в воздухе и уровень загрязнения ЦЗ-2, помещений РО не превысят значений, установленных для нормальной эксплуатации.

Поскольку в процессе ликвидации последствий аварии, особенно при разборе завалов в БВТК и удалении высокоактивных специзделий, в случае их попадания в ЦЗ и другие помещения реакторного отделения, придется проводить работы с высокоактивным оборудованием, данные работы будут проводиться по специальным программам с применением дистанционирующих приспособлений и временных биологических заграждений. Опыт проведения подобных работ отработан при производстве работ по расчистке бассейнов выдержки кассет и устранению их дефектов.

В связи с малой вероятностью аварии, технические компенсирующие мероприятия (например, укладка на дно бассейна специального настила из толстолистовой стали и т.п.) представляются нецелесообразными. Снижение вероятности возникновения аварии можно достичь организационными мерами.

#### **6. *Разрушение оборудования и трубопроводов, содержащих жидкие радиоактивные среды.***

Данная авария может привести к р/а загрязнению помещений и оборудования, ухудшению радиационной обстановки в помещениях блока и дополнительному облучению персонала.

Из результатов проведенного анализа следует, что радиационная безопасность в данной рассматриваемой потенциальной аварии обеспечивается мерами, предусмотренными проектом и к ухудшению радиационной обстановки, облучению персонала и выходу р/а веществ в окружающую среду не приводит.

Вероятность этой аварии при исходных событиях естественного характера оценивалась как  $10^{-7}$  раз в год, а при исходных событиях, вызванных действиями людей –  $10^{-4}$  раз в год.

#### **7. *Отказ системы вентиляции.***

Данная ситуация приведет к ухудшению локализации ряда помещений, что приведет к увеличению аэрозольной активности в помещениях постоянного пребывания персонала.

На основании проведенного анализа можно сделать вывод, что отказ систем вентиляции не приведет к повышенному радиационному воздействию на персонал, население и окружающую среду. Для анализа влияния отказа системы вентиляции на радиационные последствия необходимо рассмотреть наиболее тяжелый вариант – случай радиационной аварии на блоке с наложением отказа системы вентиляции. При таком наложении радиационное воздействие на персонал при аварии потенциально будет выше, за счет более высоких уровней активности аэрозолей и пыли в обслуживаемых и периодически обслуживаемых производственных помещениях. Однако, в соответствии с “Планом защиты персонала в случае радиационной аварии” [3], в данном случае персонал обязан надеть средства индивидуальной защиты органов дыхания и укрыться в убежищах, оборудованных системами автономного жизнеобеспечения. В случае выполнения персоналом данных требований, отказ систем вентиляции не окажет существенного влияния на увеличение доз ингаляционного облучения персонала.

Для сохранения работоспособности технологических систем вентиляции блока в проектом объеме, рекомендуется на этапе окончательного закрытия осуществить их электроснабжение от секций надежного питания, чем обеспечивается требуемая надежность и достаточная вентиляция, локализация и очистка воздуха от радиоактивных

аэрозолей при различных режимах работы блока, в том числе в режиме обесточивания собственных нужд и других аварийных ситуациях.

#### 8. *Разгерметизации контура продувки РП*

Данная ситуация может привести к выходу р/а веществ, накопленных в графитовой кладке реактора в помещения блока, что приведет к изменению аэрозольной активности в ЦЗ.

Вероятность этой аварии при исходных событиях естественного характера оценивалась как  $10^{-7}$  раз в год, а при исходных событиях, вызванных действиями людей –  $10^{-4}$  раз в год.

На основании проведенного анализа сделан вывод о том, что разгерметизация контура продувки РП не приведет к повышенному радиационному воздействию на персонал, население и окружающую среду – индивидуальная доза от внутреннего (ингаляционного) облучения персонала, находящегося в ЦЗ, составит до 0,1 мкЗв, а выход радиоактивных веществ за пределы РП и радиоактивное загрязнение ЦЗ и смежных с ним помещений будет незначительным, т.к. нарушения целостности РП как системы локализации не происходит.

Для снижения вероятности разгерметизации контура продувки РП блока рекомендуется поддерживать в работоспособном состоянии оборудование, предотвращающее несанкционированное повышение давления в реакторном пространстве.

#### 9. *Потеря энергоснабжения блока.*

Потеря энергоснабжения может привести к выходу из строя оборудования систем безопасности, систем, важных для безопасности, систем жизнеобеспечения, либо оборудования, осуществляющего контроль за состоянием блока.

При работоспособности дизель-генераторов и обеспечении достаточного запаса дизельного топлива и масла сохраняется приемлемая надежность энергоснабжения блока и отсутствие значимых радиационных последствий. При отсутствии возможности электроснабжения секций надежного питания блока от дизель-генераторов, необходима разработка дополнительных организационных мероприятий по обеспечению радиационной безопасности персонала и окружающей среды.

Анализ аварийной ситуации с полной потерей энергоснабжения всей станции с обесточиванием ОРУ- 110, 330, 750 кВ и отказом всех дизель-генераторов первой и второй очередей ЧАЭС, показал, что при отсутствии радиационно-опасных работ на блоке, радиационных последствий для персонала, населения и окружающей среды не будет, а в случае проведения радиационно-опасных работ, последствия будут иметь место только для персонала, проводящего данные работы, однако, даже в этом случае последствия будут незначительны.

#### 10. *Авария на оборудовании, обеспечивающем теплоснабжение блока*

Авария на оборудовании, обеспечивающем блок теплом может привести к выходу из строя оборудования систем безопасности, систем, важных для безопасности, систем жизнеобеспечения, либо оборудования, осуществляющего контроль за состоянием блока.

Анализ аварии на тепловых сетях с полной потерей теплоснабжения блока в условиях отрицательных температур при выполнении действий и мер, предусмотренных “Планом действий персонала в условиях отрицательных температур наружного воздуха при

останове и опорожнении теплосети” [4], показал, что радиационные последствия для персонала, населения и окружающей среды отсутствуют и дополнительных источников теплоснабжения и технических мер не требуется. Принимаемые меры гарантируют, что при прекращении теплоснабжения блока в условиях отрицательных температур не произойдет размораживания оборудования, содержащего радиоактивные среды, а следовательно, не произойдет выхода радиоактивных веществ за границы, определенные проектом блока.

**11. Некомпенсируемое снижение уровня воды БВК или БВТК с находящимися в них на хранении высокоактивными специзделиями (стержни СУЗ, ДП, ДКЭ-Р,Н, КД и ТД).**

Данная авария может привести к ухудшению радиационной обстановки в ЦЗ, на крыше ЦЗ, и в смежных с 2БВК-1,2 или БВТК помещениях блока и дополнительному облучению персонала.

Вероятность этой аварии при исходных событиях естественного характера оценивается как  $10^{-7}$  раз в год, при исходных событиях, связанных с отказом оборудования, –  $5 \times 10^{-5}$  раз в год, а при исходных событиях, вызванных ошибками персонала –  $10^{-4}$  раз в год.

Из результатов проведенного анализа следует, что радиационная безопасность в случае данной аварии обеспечивается мерами, определенными проектом, и к существенному ухудшению радиационной обстановки, повышенному облучению персонала и выходу р/а веществ в окружающую среду не приводит.

Наиболее опасным последствием данной аварии явится увеличение МЭД на перекрытии БВТК до 30 Р/час в случае его полного опорожнения.

На основании вышеизложенного, в части компенсирующих мероприятий, рекомендуется предусмотреть на этапе окончательного закрытия:

- как можно более раннее освобождение БВТК от высокоактивных специзделий;
- внесение в эксплуатационную документацию изменения по действиям оперативного персонала в случае быстрого снижения уровня;
- внесение в эксплуатационную документацию изменения по действиям при изменившейся радиационной обстановке на перекрытии БВТК и в ЦЗ.

**12. Отказ оборудования линии измельчения длинномеров (ЛИД) или тонкомеров (СРТ).**

Данная авария может привести к ухудшению радиационной обстановки в ЦЗ, на крыше ЦЗ, в смежных с местом проведения работ помещениях блока и дополнительному облучению персонала. Однако, в связи с тем, что все операции по измельчению специзделий проводятся дистанционно, в специально предназначенных для этого помещениях, возможные дозы облучения персонала и уровни загрязнения помещений не превысят значений, установленных для нормальной эксплуатации. Выхода радиоактивных веществ в другие помещения блока и окружающую среду не предполагается.

Вероятность этой аварии при исходных событиях, связанных с отказом оборудования, оценивается как  $5 \times 10^{-5}$  раз в год, а при исходных событиях, вызванных действиями людей –  $10^{-4}$  раз в год.

По результатам анализа потенциальной аварии, связанной с отказом оборудования линии измельчения длинномеров или станка рубки тонкомеров установлено, что радиационных последствий для персонала, населения и окружающей среды не будет. Комплекс организационно-технических мероприятий, предусмотренных действующей эксплуатационно-технической документацией достаточен для предотвращения аварий данного типа и безопасной ликвидации их последствий.

Необходимо отметить, что на этапе прекращения эксплуатации либо на этапе окончательного закрытия планируется проведение реконструкции ЛИД и СРТ. В соответствии с требованиями действующей нормативно-технической документации в составе проекта реконструкции в обязательном порядке будет проведен анализ возможных аварийных ситуаций с разработкой компенсирующих мероприятий.

**13. Несанкционированное посещение помещений с высокими уровнями ионизирующих излучений.**

Данная ситуация может привести к повышенному облучению персонала. Особую опасность для персонала представляют "необслуживаемые" помещения и помещения особой подзоны, МЭД от ИИИ в которых такова, что может привести к превышению допустимой годовой дозы при нахождении человека в помещении в течение 1-ой рабочей смены.

Исходными событиями для аварии, связанной с повышенным несанкционированным облучением персонала могут быть только ошибки персонала (нарушение существующих процедур). Вероятность (частота) этой аварии оценивается как  $10^{-4}$  раз в год.

В соответствии с эксплуатационно-технической документацией, действующей на ЧАЭС, "необслуживаемые" помещения в нормальном состоянии должны быть закрыты на замки и опечатаны, работы в помещениях 1-ой подзоны проводятся только по единым нарядам-допускам (ЕНД) с обязательным дозиметрическим контролем. Посещение "необслуживаемых" помещений оперативным персоналом производится по сменным заданиям, после инструктажа, проводимого персоналом цеха радиационной безопасности, и с обязательным применением средств оперативного индивидуального дозконтроля.

В связи с тем, что на ЧАЭС предусмотрен комплекс организационных и технических мер по предотвращению рассматриваемой аварии, был сделан вывод о том, что серьезных опасностей для населения и окружающей среды нет.

Для снижения вероятности подобных аварий рекомендовано предусмотреть периодическую переподготовку персонала и обозначить знаками радиационной опасности ИИИ, находящиеся в "необслуживаемых" помещениях.

**14. Потеря контроля над источником ионизирующего излучения.**

Данная ситуация может привести к повышенному облучению персонала, проводящего работы с использованием источников ионизирующих излучений (ИИИ), или принимающего участие в ликвидации последствий аварии.

По результатам проведенного комплексного инженерного и радиационного обследования установлено, что все ИИИ, обладающее МЭД, представляющей опасность для персонала, являются стационарными (за исключением специзделий, находящихся в БВТК). Все известные источники обозначены по месту знаками радиационной опасности (за исключением ИИИ, находящихся в "необслуживаемых" помещениях). Поскольку все монтажные работы проводятся по ЕНД, в котором обязательно указывается места, в которые должны перемещаться образовавшиеся отходы, и с радиационным контролем, потеря контроля над такими источниками невозможна. Радиационные последствия для персонала может иметь только авария, связанная с потерей контроля над переносным ИИИ. Работы с  $\gamma$ -дефектоскопическими установками являются для ЧАЭС штатными. На станции существует эксплуатационно-техническая документация, описывающая порядок и процедуры проведения подобных работ, и персонал, обученный для работы с  $\gamma$ -дефектоскопическими установками. Исходным событием для аварии, связанной с потерей контроля над источником может быть отказ оборудования (выпадение

источника из «радиационной головки»). Вероятность этой аварии была оценена как  $5 \times 10^{-5}$  раз в год.

Несанкционированное облучение персонала возможно в случае ошибок персонала и при наличии отказа оборудования, а именно при нахождении персонала без дозиметрического контроля вблизи высокоактивного источника, находящегося вне «радиационной головки».

В связи с тем, что ситуации, подобные рассматриваемой аварии, описаны в инструкциях по эксплуатации  $\gamma$ -дефектоскопов и тем, что дефектоскопические работы проводятся по ЕНД под постоянным дозиметрическим контролем, принимаем, что предусмотренные организационные меры достаточны для предотвращения облучения персонала.

Для исключения возможного переоблучения вследствие незнания и не выполнения соответствующих процедур, необходимо предусмотреть периодическую специальную переподготовку персонала.

#### **15. Горение графитовой кладки реактора блока №2.**

Горения графитовой кладки реактора может произойти в результате производства огневых работ с нарушением ТБ. Данная ситуация может привести к выходу р/а веществ, накопленных в графитовой кладке реактора, в помещения блока, окружающую среду, повышенному радиоактивному загрязнению поверхностей оборудования и помещений постоянного пребывания персонала и облучению персонала.

Горения графитовой кладки замедлителя и отражателя активной зоны реакторной установки может произойти только в результате производства огневых работ с нарушением техники пожарной безопасности и только при условии разгерметизации реакторного пространства (РП) и открытого доступа воздуха. Данное условие маловероятно, так как на этапе окончательного закрытия блока №2 демонтажных и огневых работ на металлоконструкциях схем «КЖ», «Е», «ОР» не планируется, возможно только производство работ по отбору образцов конструкций реактора для проведения их исследований. Кроме того, температура графита постоянно контролируется оперативным персоналом в автоматическом режиме с выводом информации на блочный щит управления. Перечисленные выше условия, при которых возможно горение графитовой кладки, крайне маловероятны. Вероятность данной аварии была принята равной вероятности, вызванной внешними событиями –  $10^{-7}$  раз в год.

Оценка радиационных последствий аварии была выполнена по методике АЕА Technology (для ЦЗ использовалась модель выброса в постоянный объем, а для промплощадки – модель распространения дыма по Гауссу).

Выход в окружающую среду радиоактивных веществ составит (вместе с продуктами горения) до  $1,1 \times 10^{14}$  Бк суммарной активности (для рассматриваемых промежутков времени основные радиоизотопы – это  $\beta$ -активные изотопы углерода-14, хлора-36 и трития, а также  $\gamma$ -активный изотоп кобальта-60).

В результате рассматриваемой аварии персонал, находящийся в помещениях, в которые произойдет выброс продуктов горения (ЦЗ и смежные помещения), может получить дозу на уровне годового предела дозы (облучение до 5 человек из числа персонала дозами до 17 мЗв – 85% от годового предела дозы, в основном ингаляционно).

Последствия для остального персонала станции, находящегося на промплощадке, менее значительны – доза до 0,22 мкЗв для персонала находящегося на расстоянии ~500м от венттрубы (дополнительное ингаляционное облучение всего персонала коллективной дозой до 5,5 мЗв) и до 20 мкЗв для персонала, находящегося на расстоянии 1-2 км от венттрубы (на этом расстоянии воздействие от данной аварии будет максимальным).

Необходимо отметить, что в соответствии с "Планом защиты персонала в случае

радиационной аварии" [3], в данном случае персонал обязан надеть средства индивидуальной защиты органов дыхания и укрыться в убежищах, оборудованных системами автономного жизнеобеспечения. В случае выполнения персоналом данных требований, дополнительное индивидуальное облучение будет существенно снижено. Увеличение уровня риска для персонала в результате максимальной аварии составит  $9,4 \times 10^{-7}$  смертей/год. Учитывая, что в зоне отчуждения запрещено проживание населения, последствия для населения и окружающей среды незначительны – увеличение составит  $\sim 10^{-8}$  смертей/год.

## 16. Землетрясение

Землетрясение может привести к нарушению целостности барьеров глубокоэшелонированной защиты, выходу радиоактивных веществ в окружающую среду и облучению персонала и населения.

Выполненные в период 1995÷96 гг. исследования института геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины, совместно с Киевским институтом "Энергопроект" показали, что полученные ранее оценки сейсмичности района расположения ЧАЭС несколько завышены. Расчетные величины сотрясаемости, полученные с учетом реализации максимальной магнитуды землетрясений зоны Вранча (Карпаты) и местных сейсмогенных зон, составили для "проектного землетрясения" (ПЗ – землетрясение, вызывающее на площадке сотрясения максимальной интенсивности за период 100 лет) – 5 баллов, а максимальное расчетное землетрясение (МРЗ – вероятность 10000 лет) – 6 баллов. Приращение балла для всех инженерно-геологических участков площадки ЧАЭС составляет 0 баллов относительно исходной сейсмичности. Приказом Госкомитета по строительству, архитектуре и жилищной политике Украины № 10 от 21 января 1998 г утверждена карта сейсмичности промплощадки Чернобыльской АЭС, по которой сила ПЗ на площадке ЧАЭС составляет 5 баллов, а МРЗ – 6 баллов.

В соответствии с "Отчетом по результатам обследования строительных конструкций зданий и сооружений блока №2 ЧАЭС" [5], разработанным Государственным научно-исследовательским институтом (НИИСК) по результатам исследований, выполненных на энергоблоке №2, сейсмостойкость зданий блока достаточна для восприятия землетрясения силой 6 баллов. Вероятность землетрясения силой, достаточной для разрушения строительных конструкций энергоблока (более 6 баллов), была принята равной  $1 \times 10^{-7}$  раз в год.

Последствиями землетрясения, способного вызвать разрушения строительных конструкций, могут являться:

- падение тяжелых предметов в центральном зале;
- нарушение целостности оборудования, содержащего радиоактивные среды.

Очевидно, что радиационные последствия землетрясения в этом случае будут являться суперпозицией радиационных последствий аварий, рассмотренных при анализе вышеупомянутых аварий.

При наихудшем варианте развития аварии (полное разрушение строительных конструкций реакторного отделения) произойдет разгерметизация реакторного пространства, ударное воздействие на конструкции реактора (максимальное – в случае разрушения опорных металлоконструкций и строительных конструкций реактора) и выход в помещения блока и окружающую среду радионуклидов, накопленных в конструкциях реактора. В данном варианте основным источником радионуклидов, выброшенных в окружающую среду будет являться графитовая кладка реактора.

Максимальные радиационные последствия данного варианта развития аварии были приняты равными радиационным последствиям аварии, рассмотренной при анализе горения графитовой кладки; при этом, руководствовались следующими соображениями:

- доля выброса при рассмотрении горения кладки принималась равной 1 (полное сгорание кладки), тогда как при ударном воздействии доля выброса равна  $5 \times 10^{-4}$ ;
- вместе с тем, время нахождения персонала в радиоактивном облаке будет значительно больше, в связи с тем, что при землетрясении с разрушением строительных конструкций блока возможны завалы на путях эвакуации персонала.

В связи с тем, что сейсмостойкость зданий и сооружений блока достаточна для восприятия максимального расчетного землетрясения, а вероятность землетрясения с интенсивностью сотрясаемости, превышающей значения МРЗ, крайне мала, было принято, что проведение оценки радиационных рисков для населения и окружающей среды не требуется.

Вместе с тем, рекомендуется проведение дополнительных исследований в части оценки фактической сейсмостойкости зданий и сооружений блока №2.

### **17. Падение летательного аппарата**

Падение летательного аппарата может привести к нарушению целостности барьеров глубокоэшелонированной защиты, выходу радиоактивных веществ в окружающую среду и облучению персонала и населения.

Расчетные данные по допустимым ударным нагрузкам и устойчивости несущей способности строительных конструкций блока №2 в результате падения летательного аппарата отсутствуют. Исходя из консервативного подхода, было принято, что любое падение летательного аппарата вызывает разрушение строительных конструкций в районе попадания. При этом, полагалось, что падение летательного аппарата вблизи основного корпуса блока не приведет к разрушению основных несущих конструкций.

Принятие организационных мер – запрещение полетов в воздушном пространстве вблизи объекта, значительно уменьшает вероятность такого события. Для Чернобыльской АЭС, в соответствии с Перечнем воздушных трасс Украины, введенным в действие Приказом Председателя Госкомитета № 58 от 25.05.95, установлена защитная зона радиусом 5 км, в которой полеты летательных средств запрещены. На основании этого вероятность данной аварии была принята равной  $10^{-7}$  раз в год.

Результатом падения летательного аппарата в здания блока (сопровождающегося разрушением строительных конструкций) и взрыва топливных баков данного летательного аппарата может являться возникновение пожара. Наихудшим вариантом развития данной аварии будет являться падение летательного аппарата через кровлю или стены в центральный зал, с последующим нарушением герметичности реакторного пространства (вследствие сопутствующего падения РЗМ или мостового крана) и возгоранием графитовой кладки. Очевидно, что максимальные радиационные последствия такой аварии будут сходными с последствиями горения кладки, рассмотренными ранее.

В связи с тем, что вероятность падения летательного аппарата в здания энергоблока №2 ЧАЭС крайне мала, был сделан вывод о том, что проведение оценки радиационных рисков для населения и окружающей среды не требуется.

Вместе с тем, рекомендуется проведение дополнительных исследований в части оценки допустимых ударных нагрузок строительных конструкций зданий и сооружений блока №2.

### **18. Смерч, ураган, торнадо**

Смерч, ураган и т.п. может привести к нарушению целостности барьеров глубокоэшелонированной защиты, выходу радиоактивных веществ в окружающую среду и облучению персонала и населения.

В районе Чернобыльской АЭС ураганы возникают, в основном, в теплую половину года, в период мощного развития конвекции и наличия больших контрастов температур. Максимальная скорость ветра при этом достигала 25 м/сек. Вероятность возникновения ураганного ветра с максимальной скоростью 25 м/с составляет 2%, а вероятность наблюдения скорости ветра до 32 м/с составляет 1%.

Смерчи, как правило, связаны с неустойчивостью теплой воздушной массы вблизи холодного фронта, а также наличием мощных кучево-дождевых облаков большой протяженности. Смерчи могут возникать над любой подстилающей поверхностью. Частота появления смерчей в районе Чернобыльской АЭС – 2 случая за 10 лет.

В районе Чернобыльской АЭС смерчи могут возникать чаще всего 1 класса. Однако возможны более интенсивные смерчи до 3 класса. Смерчи 3 класса характеризуются максимальной горизонтальной скоростью вращательного движения 70-90 м/с и поступательной скоростью движения 10-23 м/с, при этом длина его пути составляет 16-50 км, а ширина – 161-509 м.

В соответствии со СНиП 2.01.07-85 "Нагрузки и воздействия. Нормы проектирования" площадка Чернобыльской АЭС расположена во II климатическом районе по ветровым нагрузкам с нормативным значением ветрового давления  $W_0 = 30 \text{ кгс/см}^2$  и расчетным значением ветрового давления  $W = 42 \text{ кгс/см}^2$ .

Максимальные расчетные ветровые нагрузки на строительные конструкции зданий блока не превышают  $500 \text{ кгс/см}^2$ . С учетом проектного армирования предел прочности строительных конструкций составляет  $2550 \text{ кгс/см}^2$ .

Исходя из этого, можно предположить, что разрушения строительных конструкций блока при прогнозируемых ветровых нагрузках не произойдет. Соответственно выноса радиоактивных веществ в окружающую среду и дополнительного облучения персонала и населения не будет.

Возможен выход их строя вспомогательного оборудования, связанного с энергоснабжением и теплоснабжением блока. Последствия данных аварий были рассмотрены ранее.

### 19. *Наводнение, подтопление*

Наводнение может привести к затоплению помещений блока и выходу радиоактивных веществ в окружающую среду.

Из результатов проведенного анализа можно сделать вывод, что возможность затопления промплощадки ЧАЭС и, соответственно основного корпуса блока, водами р.Припять отсутствует даже при прохождении паводка 0,01% обеспеченности. Вероятность паводка такой обеспеченности весьма низка: 1 раз в 10000 лет. За весь период контроля уровненых характеристик р.Припять с 1881г по настоящее время, паводок 1% обеспеченности был отмечен один раз в 1895г. Последний паводок 5% обеспеченности отмечен в 1979г.

Из проведенного анализа следует, что опасность подтопления грунтовыми водами помещений и оборудования блока на этапе окончательного закрытия при существующих гидрогеологических условиях также отсутствует. Однако при прохождении паводков редкой повторяемости уровень грунтовых вод может достигать уровней более 112 м. (нулевая отметка главного корпуса блока №2 находится на уровне 114 м., вспомогательных систем жизнеобеспечения: подземные коммуникации на уровне 112,0 м, а гребень дамбы пруда охладителя согласно проекта – 112,0 м).

Учитывая то, что существует незначительная вероятность совпадения двух редких природных явлений: паводка редкой повторяемости и обильных атмосферных осадков, возможны кратковременные, незначительные подтопления прилегающей территории промплощадки к главному корпусу блока и подземных коммуникаций (хозпитьевого

водопровода, хозфекальной и ливневой канализаций), при этом возможны нарушения в работе данных систем. Выхода в окружающую природную среду радиоактивных веществ из помещений блока не будет. Возможно значительное увеличение концентрации радионуклидов аварийного происхождения (Sr-90, Cs-137) в отводящих ливневых водах за счет интенсивного смыва их с прилегающей территории, однако это не будет связано с работами по снятию с эксплуатации, проводимыми на энергоблоке на этапе окончательного закрытия.

Рекомендации:

- Поддерживать в рабочем состоянии все линии промливневой канализации, своевременно проводить профилактические и ремонтные работы.
- Производить гидрогеологический мониторинг промплощадки ЧАЭС. Вести базу данных уровней грунтовых вод и их ежегодный анализ.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам проведенного анализа можно сделать следующие **выводы**:

1. Потенциальные аварии при проведении работ по снятию с эксплуатации энергоблока на этапе окончательного закрытия не окажут повышенного радиационного воздействия на население.
2. 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.
3. Большая часть потенциальных аварий при проведении работ по снятию с эксплуатации энергоблока на этапе окончательного закрытия не приведет к облучению персонала дозами, превышающими предел дозы, установленной действующими в Украине национальными гигиеническими нормативами НРБУ-97 [6] и не приведет к выходу радиоактивных веществ за границы, предусмотренные проектом АЭС в количествах, превышающих нормы, установленные СП АС – 88 [7].
4. Аварией с максимальными последствиями для персонала и окружающей среды на этапе окончательного закрытия энергоблока будет являться авария, связанная с возгоранием графитовой кладки реактора в результате нарушения правил пожарной безопасности при проведении работ, либо вследствие падения летательного аппарата в здание реакторного отделения блока, либо вследствие землетрясения силой, превышающей МРЗ.

В связи с тем, что на этапе окончательного закрытия энергоблока не планируется масштабных работ, связанных с воздействием на конструкции реактора, вероятность аварии, связанной с возгоранием графитовой кладки можно принять равной  $1 \times 10^{-7}$  раз в год.

Последствиями аварии, связанной с возгоранием графитовой кладки (максимальной аварии), могут являться:

- облучение до 5 человек из числа персонала дозами до 17 мЗв (85% от годового предела дозы – в основном ингаляционно);
- дополнительное ингаляционное облучение всего персонала коллективной дозой до 10 мЗв;
- выход в окружающую среду вместе с продуктами горения радиоактивных веществ суммарной активностью до  $1,1 \times 10^{14}$  Бк.
- увеличение уровня риска для персонала в результате максимальной аварии составит  $9,4 \times 10^{-7}$  смертей/год.

По результатам проведенного анализа можно рекомендовать выполнение следующих мероприятий по снижению вероятности возникновения аварий и минимизации их последствий:

1. Проводить постоянное обучение и периодическую проверку знаний персонала правил и безопасных приемов выполнения работ.
2. Поддерживать в исправном и работоспособном состоянии оборудование, содержащее радиоактивные среды, грузоподъемное оборудование, а также оборудование, служащее для предотвращения аварии и ликвидации их последствий.
3. Провести дополнительные исследования фактической сейсмостойкости зданий энергоблока, РЗМ и крана ЦЗ, а также стойкости строительных конструкций по

отношению к ударным нагрузкам. В случае необходимости по результатам исследований разработать и реализовать корректирующие мероприятия по повышению безопасности.

4. Осуществить электроснабжение части вентиляционных систем от секций системы надежного питания.
5. Разработать процедуры по действиям персонала в случае полного обесточивания блока. Внести соответствующие изменения в действующую эксплуатационно-техническую документацию.
6. При планировании работ на этапе окончательного закрытия, предусмотреть как можно более раннее освобождение энергоблока от высокоактивных специзделий.
7. Обозначить знаками радиационной опасности высокоактивные источники ионизирующего излучения, находящиеся в необслуживаемых помещениях зоны строгого режима.
8. Провести исследования энергии Вигнера, накопленной в графитовых элементах конструкции за время эксплуатации реактора.
9. Вести постоянный гидрогеологический мониторинг промплощадки ЧАЭС. Вести базу данных уровней грунтовых вод и их ежегодный анализ.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Общие положения обеспечения безопасности при снятии с эксплуатации атомных электростанций и исследовательских реакторов (НП 306.2.02/1.004-98).
2. Требования к структуре и содержанию отчета по анализу безопасности снятия с эксплуатации атомных электростанций и исследовательских ядерных реакторов.
3. План защиты персонала в случае радиационной аварии на ЧАЭС и объекте “Укрытие”.
4. План действий персонала в условиях отрицательных температур наружного воздуха при останове и опорожнении теплосети. ЧАЭС.
5. Отчет по результатам обследования строительных конструкций зданий и сооружений блока №2 ЧАЭС, НИИСК.
6. Нормы радиационной безопасности Украины. (НРБ У-97).
7. Санитарные правила проектирования и эксплуатации атомных станций. (СП АС – 88).