

Предварительная оценка рисков
деятельности по снятию с эксплуатации
энергоблока №2 Чернобыльской АЭС
(анализ потенциальных аварий при
проведении работ по снятию с
эксплуатации).

**Бобро Д.Г. , Глыгало В.Н. , Гончаров Б.И. ,
Носовский А.В. , Рылов В.Р. , Сейда В.А.**

Славутичская лаборатория международных исследований и технологий

Введение

- Согласно НП Украины "Общие положения обеспечения безопасности при снятии с эксплуатации атомных электростанций и исследовательских реакторов" (НП **306.2.02/1.004-98**), для получения отдельного разрешения на начало работ по снятию с эксплуатации на первом этапе (этапе окончательного закрытия) эксплуатирующая организация (ГСП "Чернобыльская АЭС") 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.

- В ходе выполнения данной работы были реализованы следующие задачи:
 - анализ имеющейся документации, устанавливающей требования к деятельности по снятию с эксплуатации и определяющей состояние энергоблока №2 Чернобыльской АЭС на этапе окончательного закрытия;
 - оценка рисков, связанных с планируемой деятельностью;
 - определен перечень возможных аварий при проведении работ;
 - 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.

Исходное состояние:

1. Состояние строительных конструкций позволяет осуществлять их безопасную эксплуатацию в течение не менее 50 лет.
2. С энергоблока удалено все ядерное топливо (из реактора, бассейнов выдержки и помещений для хранения свежего топлива).
3. Реакторное пространство продувается воздухом со степенью влажности не более 60%.
4. Опорожнен и переведен в режим сухой консервации контур многократной принудительной циркуляции.
5. Часть технологических систем выведена из эксплуатации.
6. 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 закрытия будут проводиться следующие работы:

- **освобождение блока от радиоактивных отходов, высокоактивных специзделий из центрального зала и т.п.;**
- **опорожнение БВК, БВТК (если это не сделано ранее);**
- **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.

- 1. Пожар в кабельных полуэтажах и отсеках*
- 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.*
- 3. Падение высокоактивных спец. изделий, контейнеров с РАО при перемещении их с помощью грузоподъемных механизмов.*
- 4. Обрушение РЗМ-2 или мостового крана 50/10 т в ЦЗ-2 (п.612/2)*
- 5. Падение тяжелых предметов в БВК и БВТК.*
- 6. Разрушение оборудования и трубопроводов, содержащих жидкие радиоактивные среды.*
- 7. Отказ системы вентиляции.*
- 8. Разгерметизации контура продувки РП-2*
- 9. Потеря энергоснабжения блока.*

- 10. *Авария на оборудовании, обеспечивающем блок теплом.*
- 11. *Не компенсированное снижение уровня воды в 2БВК-1,2 или БВТК с находящимися в них на хранении высокоактивными специзделиями (стержни СУЗ, ДП, ДКЭ-Р,Н, КД и ТД).*
- 12. *Отказ оборудования линии измельчения длинномеров (ЛИД) или тонномеров (СРТ) при измельчении и загрузке в спецконтейнера высокоактивных длинномеров*
- 13. *Несанкционированное посещение помещений с высокими уровнями ионизирующих излучений.*
- 14. *Потеря контроля над источником ионизирующего излучения.*
- 15. *Горение графитовой кладки реактора блока №2.*
- 16. *Падение летательного аппарата*
- 17. *Природные катаклизмы: смерч, ураган, землетрясение, наводнение.*

ОЦЕНКА ПОСЛЕДСТВИЙ ВОЗМОЖНЫХ АВАРИЙ

■ 1. *Пожар в кабельных полуэтажах и отсеках.*

■ 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 $\sim 10^{-4}$ раз в год.

■ 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 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 $\sim 10^{-4}$ раз в год.

■ Персонал, получит дозу от внешнего и внутреннего облучения до 110 мкЗв. Оцененная величина выхода радиоактивности в воздушную среду - 0,5 МБк.

- **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, помещений и облучение персонала, принимающего участие в ликвидации аварии.
- Вероятность возникновения— $1,3 \times 10^{-2}$ раз в год.
- Доза внешнего облучения персонала составит 2 мЗв.
- **4. Обрушение РЗМ-2 или мостового крана 50/10 т в ЦЗ-2 (п.612/2).**
- Данная авария может привести к повреждению конструктивных элементов реактора, оборудования и конструктивных элементов центрального зала или разрушению стеновых панелей ЦЗ-2, других строительных конструкций.
- Вероятность событий естественного характера оценивается как 10^{-7} раз в год, а вызванных отказом оборудования с наложением ошибок персонала - 10^{-4} раз в год. Персонал, принимающий участие в данной аварии, получит дозу от внешнего и внутреннего облучения до 80 мкЗв.

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

■ Данная авария может привести к повреждению облицовки 2БВК-1,2 и их опорожнению (с выходом радиоактивных веществ в помещения блока, повышенному загрязнению поверхностей оборудования и помещений и дополнительному облучению персонала), повреждению специзделий, находящихся в 2БВК-1,2 или БВТК.

■ Вероятность событий естественного характера оценивалась как 10^{-7} раз в год, а вызванных действиями людей – 10^{-4} раз в год.

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

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

■ Вероятность событий естественного характера - 10^{-7} раз в год, а вызванных действиями людей – 10^{-4} раз в год.

■ **7. *Отказ системы вентиляции.***

- Данная ситуация приведет к ухудшению локализации помещений 1 и 2 подзоны, что приведет к увеличению аэрозольной активности в помещениях постоянного пребывания персонала.
- Отказ систем вентиляции не приведет к повышенному радиационному воздействию на персонал, население и окружающую среду.

■ **8. *Разгерметизации контура продувки РП-2.***

- Может привести к выходу р/а веществ, накопленных в графитовой кладке реактора в помещения блока, что приведет к изменению аэрозольной активности в ЦЗ-2.
- Вероятность событий естественного характера - 10^{-7} раз в год,
- а вызванных действиями людей – 10^{-4} раз в год.

■ **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 №2 и отсутствие радиационных последствий.

■ **10. Авария на оборудовании, обеспечивающем блок теплом.**

- 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.
- 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. Не компенсируемое снижение уровня воды в 2БВК-1,2 или БВТК с находящимися в них на хранении высокоактивными специзделиями (стержни СУЗ, ДП, ДКЭ-Р,Н, КД и ТД).**
 - Может привести к ухудшению радиационной обстановки в ЦЗ-2, на крыше ЦЗ-2, и в смежных с 2БВК-1,2 или БВТК помещениях блока и дополнительному облучению персонала.
 - Вероятность событий естественного характера - 10^{-7} раз в год, связанных с отказом оборудования – 5×10^{-5} раз в год, а вызванных ошибками персонала – 10^{-4} раз в год.
- **12. Отказ оборудования линии измельчения длинномеров (ЛИД) или тонкомеров (СРТ) при измельчении и загрузке в спецконтейнера высокоактивных длинномеров.**
 - Может привести к ухудшению радиационной обстановки в ЦЗ-2, на крыше ЦЗ-2, 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 не превысят значений, установленных для нормальной эксплуатации.
 - Вероятность событий связанных с отказом оборудования - 5×10^{-5} раз в год, а вызванных действиями людей - 10^{-4} раз в год.

- ***13. Несанкционированное посещение помещений с высокими уровнями ионизирующих излучений.***
- 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.
- В связи с тем, что на ЧАЭС предусмотрен комплекс организационных и технических мер по предотвращению рассматриваемой аварии, а максимальный зарегистрированный уровень МЭД составляет 5 бэр/час, принимаем, что серьезных опасностей для персонала данная авария не представляет.
- ***14. Потеря контроля над источником ионизирующего излучения.***
- Данная ситуация может привести к повышенному облучению персонала, проводящего работы с использованием источников ионизирующих излучений, или принимающего участие в ликвидации последствий аварии.
- Вероятность аварии оценена как 5×10^{-5} раз в год.

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

- 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. Возникновение аварии, не связано с действиями персонала.

- Вероятность событий – 10^{-7} раз в год.

■ **16. *Землетрясение***

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

- Расчетные значения составили для "проектного землетрясения"– 5 баллов, а максимальное расчетное землетрясение– 6 баллов (институт геофизики им. С.И. Субботина). Вероятность землетрясения силой, достаточной для разрушения строительных конструкций энергоблока №2 (более 6 баллов), была принята равной 1×10^{-7} раз в год.

■ **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.
- Для ЧАЭС, 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 равна 10^{-7} раз в год.

■ **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 ЧАЭС 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%.

■ **19. *Наводнение, подтопление***

- Наводнение может привести к затоплению помещений блока и выходу радиоактивных веществ в окружающую среду.
- По результатам анализа можно сделать вывод, что возможность затопления промышленной площадки ЧАЭС и соответственно основного корпуса блока №2, водами р.Припять отсутствует даже при прохождении паводка 0,01% обеспеченности. Вероятность паводка такой обеспеченности весьма низка: 1 раз в 10000 лет.



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- 1. Потенциальные аварии при проведении работ по снятию с эксплуатации на энергоблоке №2 на этапе окончательного закрытия не окажут повышенного радиационного воздействия на население.
- 2. Перечень организационно-технических и защитных мероприятий, предусмотренных действующей на ЧАЭС 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 на энергоблоке №2 на этапе окончательного закрытия не приведет к облучению персонала дозами, превышающими предел дозы, установленной действующими в Украине национальными гигиеническими нормативами "Нормы радиационной безопасности Украины" (НРБ У – 97), а так же не приведет к выходу радиоактивных веществ за границы, предусмотренные проектом АЭС в количествах, превышающих нормы, установленные "Санитарными правилами проектирования и эксплуатации атомных станций" (СП АС – 88).

- 4. Аварией с максимальными последствиями для персонала и окружающей среды при снятии с эксплуатации будет являться авария, связанная с возгоранием графитовой кладки реактора в результате нарушения правил пожарной безопасности при проведении работ, либо вследствие "прямого попадания" летательного аппарата в здание реакторного отделения энергоблока №2, либо вследствие землетрясения силой, превышающей МРЗ.
- 5. В связи с тем, что на этапе окончательного закрытия энергоблока №2 не планируется масштабных работ, связанных с воздействием на конструкции реактора, вероятность аварии, связанной с возгоранием графитовой кладки можно принять равной 1×10^{-7} раз в год.
- 6. 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 Зв;
 - выход в окружающую среду вместе с продуктами горения радиоактивных веществ суммарной активностью до $1,1 \times 10^{14}$ Бк.
- 7. Увеличение уровня риска для персонала в результате максимальной аварии составит $9,4 \times 10^{-7}$ смертей/год.

Рекомендации

- 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 (вышибные панели системы продувки РП, дизель-генераторы, оборудование радиационного контроля, вентиляции и промливневой канализации).
- 3. Предусмотреть возможность подачи в реакторное пространство и в полости смежных металлоконструкций азота (в случае возгорания графита).
- 4. Провести дополнительные исследования фактической сейсмостойкости зданий энергоблока №2 и крана РЗМ и крана ЦЗ-2, а также стойкости строительных конструкций по отношению к ударным нагрузкам. В случае необходимости по результатам исследований разработать и реализовать соответствующие мероприятия.
- 5. Осуществить запитку части вентиляционных систем от секций системы надежного питания (после проведения технико-экономического обоснования и определения перечня вентиляционного оборудования, подлежащего запитке).

- 6. Разработать процедуры по действиям персонала в случае полного обесточивания блока №2. Внести соответствующие изменения в действующую эксплуатационно-техническую документацию.
- 7. При планировании работ на этапе окончательного закрытия, предусмотреть как можно более раннее освобождение энергоблока №2 от высокоактивных специзделий.
- 8. Обозначить знаками радиационной опасности высокоактивные источники ионизирующего излучения, находящиеся в необслуживаемых помещениях зоны строгого режима.
- 9. Провести исследования энергии Вигнера, накопленной в графитовых элементах конструкции за время эксплуатации реактора.
- 10. Вести постоянный гидрогеологический мониторинг промплощадки ЧАЭС и базу данных уровней грунтовых вод и их ежегодный анализ.