

## Реализация процедур обеспечения радиационной безопасности в технологических процессах демонтажа оборудования при выводе блоков АЭС из эксплуатации

*А.И. Берела, С.А. Томилин, А.Г. Федотов*

*Волгодонский инженерно-технический институт –  
филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ»*

**Аннотация:** Рассмотрены вопросы реализации процедур обеспечения радиационной безопасности в проектируемых технологических процессах демонтажа оборудования блоков АЭС при их выводе из эксплуатации. Представленный материал предназначен для специалистов, участвующих в разработке проектов вывода из эксплуатации блоков АЭС.

**Ключевые слова:** блок АЭС, вывод из эксплуатации, демонтаж оборудования, технологический процесс, радиационная безопасность, процедуры обеспечения радиационной безопасности.

Проектирование технологических процессов демонтажа оборудования при подготовке к выводу из эксплуатации блоков АЭС (ВЭ АЭС) связано с необходимостью применения в них процедур обеспечения радиационной безопасности персонала, населения и окружающей среды [1].

Это требование регламентируется как санитарными правилами эксплуатации АЭС (подготовка к выводу из эксплуатации отнесена к завершающей стадии эксплуатации), так и нормативным документом НП-012-99 «Правила обеспечения безопасности при выводе из эксплуатации блока атомной станции». В свое время условие обеспечения радиационной безопасности стало основополагающим в разработке проблемно-ориентированной системы проектирования технологических процессов демонтажа оборудования при ВЭ АЭС [2–4]. Кроме того, указанное условие определяет выбор параметров этих технологических процессов [5, 6], что нашло, например, отражение при разработке таковых для выполнения демонтажных работ при консервации надреакторного пространства канальных реакторов блоков АМБ первой очереди Белоярской АЭС [7, 8]. В

качестве радиационно-опасных объектов демонтажных работ здесь выступает оборудование верхней плиты реактора: трубопроводы рабочих каналов и охлаждения каналов системы управления и защиты реактора, импульсные трубопроводы, стояки каналов и другое оборудование общей массой 85,0 т.

В настоящей работе представлены некоторые рекомендации по реализации процедур обеспечения радиационной безопасности в технологических процессах демонтажа оборудования при выводе из эксплуатации блоков АЭС, вытекающие из обобщения полученного ранее частного опыта проектирования радиационно-опасных демонтажных технологических процессов. Эти рекомендации будут полезны в современных условиях развертывания работ по подготовке вывода из эксплуатации блоков АЭС в нашей стране, уже остановленных с этой целью или дорабатывающих продленный срок эксплуатации.

1. При проектировании демонтажных технологий необходимо выполнять требования адаптации демонтажной технологии к радиационным условиям ведения работ [9]. Каждый шаг технологического проектирования должен сопровождаться анализом радиационной обстановки, включением в технологический процесс по результатам такого анализа применяемых на станции штатных процедур обеспечения радиационной безопасности и, при необходимости, специальных процедур применительно к условиям функционирования технологического процесса. При этом не должны исключаться и решения в обратном направлении – в технологическом процессе необходимо учитывать реальные возможности процедур обеспечения радиационной безопасности, что может привести, например, к ограничению использования термических способов резки, технологически предпочтительных, но ухудшающих радиационную обстановку в рабочей зоне из-за интенсивного пыле - и газовойделения.

---

2. Проектные технологические решения по демонтажным работам в плане обеспечения радиационной безопасности должны опираться на штатные процедуры организационно-технического плана, используемые при производстве радиационно-опасных работ на конкретной станции и в большей части регламентированные действующей на ней инструкцией по радиационной безопасности. Очевидно, что инструкция должна соответствовать изменившимся условиям эксплуатации остановленного блока. В таблице № 1 представлены процедуры такого рода и некоторые способы их реализации в демонтажных технологиях.

Таблица № 1

Организационно-технические процедуры радиационной безопасности,  
обязательные в технологии демонтажа оборудования

| Вид процедур   | Реализация процедур   | Примечание   |
|--|---|--|
| Непревышение предельно допустимых выбросов и сбросов. Предотвращение выноса «загрязнений» из рабочих зон | Использование штатной спецвентиляции<br>Использование штатной спецканализации<br>Отказ (или ограничение применения) от способов резки с интенсивным газо-, пылевыведением<br>Отказ (или ограничение применения) от жидких технологических сред<br>Очистка и дезактивация упаковок РАО и СТО | С учетом мощности и технического состояния систем спецвентиляции и спецканализации |
| Планирование дозозатрат персонала  | Определение базовых дозозатрат с учетом характеристик радиационного фона в рабочих зонах, временных и трудовых затрат<br>Определение дозозатрат на ликвидацию последствий возможных аварий на сценариях с исходным событием – отказом СТО   | Должны быть отражены в техническом отчете по обоснованию РБ                        |
| Проведение радиационного мониторинга   | Исходный мониторинг – в рамках КИРО<br>Текущий мониторинг – при вскрытии каждой рабочей зоны  |  |
| Проведение радиационного контроля в рабочей зоне   | Перед началом рабочей смены<br>Периодически и по ситуации – в ходе рабочей смены  | При вскрытии ИИИ и интенсивном выделении вторичных РАО                             |

Продолжение табл. № 1

| Вид процедур  | Реализация процедур              | Примечание          |
|---------------|----------------------------------|---------------------|
| Использование | Проведение работ по нарядам, при | С учетом требований |

|   |  |  |
|---|--|--|
| организационных мероприятий   | необходимости под контролем руководителя работ<br>Инструктаж перед рабочей сменой<br>Обустройство рабочих зон дисциплинирующими барьерами, знаками безопасности<br>Разметка маршрута движения персонала  | действующей ИРБ и СП АС  |
| Применение радиационно-защитных барьеров, экранов «теневого» защиты   | Установка защитных барьеров и экранов по границе и внутри рабочей зоны<br>Применение защитных плит в конструкции специальных СТО<br>Перекладка по ходу работ защитных плит на вертикальных проемах в рабочих зонах<br>Установка шлюзов в проемах рабочих зон | Вскрытие минимально необходимого пространства при организации рабочей зоны |
| Дезактивация  | Дезактивация помещений, рабочих зон и оборудования СТО (при техническом обслуживании), упаковок РАО перед транспортированием из рабочей зоны   | По результатам радиационного контроля                                      |
| Местный отсос и фильтрация вторичных пыле-, газообразных РАО  | Использование установки местного отсоса и фильтрации на операциях термической и абразивной резки   | С возможностью встраивания в систему штатной спецвентиляции                |
| Использованные сокращения: РАО – радиационно-активные отходы; СТО – средства технологического оснащения; КИРО – комплексное инженерно-радиационное обследование; ИИИ – источник ионизирующего излучения; ИРБ – инструкция по радиационной безопасности; СП АС – санитарные правила атомной станции. |  |  |

3. В ходе проектирования демонтажных технологий существует необходимость в дополнении представленных выше штатных процедур специальными, реализуемыми за счет методов и способов ведения работ, а также конструкции средств технологического оснащения. В таблице № 2 приведен ряд таких процедур, предусмотренных в технологическом процессе демонтажа оборудования верхней плиты реактора АМБ-100 и имеющих достаточно универсальный характер для применения в широком спектре демонтажных технологий.

Таблица № 2

Процедуры радиационной безопасности,



сопутствующие технологическому процессу демонтажа

| Технологические действия   | Реализация процедур   | Примечание   |
|--|---|--|
| <b>Процедуры, реализуемые способами демонтажа</b>                |   |  |
| Фрагментация оборудования  | Отказ от кислородно-флюсовой резки коррозионно-стойких сталей, характеризующейся интенсивным газо-, пылевыведением, использование в этих целях плазменной резки                     | Анализ конкурирующих факторов термической резки: газо-, пылевыведение и высокая производительность   |
|  | Применение способов механической резки: абразивной; роликовыми труборезами; резцами; приводными ножницами   | Минимизация выделений вторичных РАО  |
| Упаковка (контейнеризация) РАО                                   | Применение транспортных защитных контейнеров и пеналов  | Пеналы для низкоактивных РАО   |
| <b>Процедуры, реализуемые методами демонтажа</b>                 |   |  |
| Выбор последовательности демонтажа по рабочим зонам              | Уменьшение дозовой нагрузки при выполнении демонтажных работ за счет рационального выбора маршрута демонтажных работ на блоке АЭС   | Учитываются возможности СТО, радиационной защиты, выбора трасс перемещения и другие факторы          |
| Выбор последовательности демонтажа в рабочей зоне                | Рациональная последовательность работ по локальным объемам рабочих зон  | Учитываются возможности СТО, радиационной защиты, соотношение трудоемкость–дозозатраты и др.         |
| Механизация и дистанционное управления операциями                | Целесообразное применение механизированных и дистанционно-управляемых СТО, ручного инструмента и оснастки   | Учитываются затраты на проектирование, изготовление и приобретение СТО                               |
| Выбор и обустройство трассы перемещения радиоактивных фрагментов | Упаковки РАО перемещаются по территории блока на хранение или переработку по выбранному маршруту с использованием штатных коридоров и проемов блока, штатных грузоподъемных средств | Учитывается необходимость в дополнительном комплектовании грузоподъемными и транспортными средствами |

Продолжение табл. № 2

| Технологические действия | Реализация процедур | Примечание |
|--------------------------|---------------------|------------|
|--------------------------|---------------------|------------|



| <b>Процедуры, реализуемые средствами технологического оснащения демонтажа</b> |  |  |
|---|--|--|
| Механизация и дистанционное управление СТО                                    | Реализация механизированных и дистанционных технологий   | Необходимы затраты на проектирование и изготовление СТО и системы управления |
| Применение функционально надежных и работоспособных СТО                       | Обеспечивают сокращение дозовых затрат на основные работы и восстановление работоспособности в случае выхода из строя    | Конструкции СТО отрабатываются при проектировании и испытаниях               |
| Применение удобных в наладке, обслуживании и ремонте СТО                      | Обеспечивают сокращение дозовых затрат на подготовку к работе и работы по техническому обслуживанию                      | То же  |
| Применение радиационно-защитных элементов                                     | Применяются в конструкции демонтажного моста и транспортно-технологических контейнеров                                   | То же  |
| Применение в конструкции СТО элементов пыле-, влагозащиты                     | Оснащаются как разрабатываемые, так и покупные СТО (покупные выбираются с конструктивными элементами пыле-, влагозащиты) | То же  |

4. Проектирование технологических процессов демонтажных работ (в соответствии с процедурой «Планирование дозозатрат персонала», приведенной в таблице № 1) должно сопровождаться и обосновываться измерениями и расчетами мощности эквивалентной дозы в рабочих зонах, расчетами и компетентными оценками трудоемкости технологических и вспомогательных операций, выполняемых в них, и требуемых коллективных дозозатрат персонала. На основе полученных результатов таких расчетов следует принимать, корректировать или существенно изменять принятые решения как технологические, так и, при необходимости, решения по существу соответствующих разделов проекта подготовка к ВЭ АЭС [7,8,10,11].

К тому же здесь могут возникнуть сложности, связанные с неприемлемостью полученной расчетной коллективной дозы из-за дефицита профессионально подготовленного персонала и (или) невозможности его рационального использования в ограниченной зоне работ. В плане

профессиональной подготовки существенное значение приобретают знания в технологии демонтажных работ, которые могут быть получены при целенаправленной подготовке специалистов для АЭС [12, 13].

**Заключение.** Специфика проектирования технологических процессов демонтажа радиоактивного оборудования блоков АЭС, выводимых из эксплуатации, связана с необходимостью обеспечения радиационной безопасности их функционирования. Процедуры обеспечения радиационной безопасности определяются технологическими решениями по применяемым методам и способам демонтажа, средствам технологического оснащения работ, а также сопутствующими подготовительными работами и организационно-техническими мероприятиями. Следует заметить, что приведенные в данной статье соображения о применении процедур обеспечения радиационной безопасности демонтажных технологий при выводе блоков АЭС из эксплуатации справедливы для всех типов блоков АЭС России.

### Литература

1. Былкин Б.К., Цыпин С.Г., Хрулев А.А. Радиационная безопасность демонтажа при снятии с эксплуатации АЭС //Атомная техника за рубежом. 1995. №5. С. 9-22.
2. Berela A.I., Bylkin B.K. Problem-oriented system for designing a technology for disassembling the power-generating units of nuclear power plants // Atomic Energy. 2000. T. 89. Nu. 3. P. 189–196.
3. Берела А.И., Федотов А.Г., Томилин С.А., Былкин Б.К. Разработка технологических процессов демонтажа оборудования при выводе из эксплуатации атомных станций // Инженерный вестник Дона. 2013, №2 URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n2y2013/1734/](http://ivdon.ru/magazine/archive/n2y2013/1734/).
4. Берела А.И., Былкин Б.К., Томилин С.А., Федотов А.Г. Анализ и представление среды действия в системе проектирования технологии



демонтажа оборудования при выводе из эксплуатации блока АЭС // Глобальная ядерная безопасность. 2014. №1 (10). С. 25–31.

5. Берела А.И., Былкин Б.К., Шапошников В.А. Оптимизационные аспекты проектирования технологического процесса демонтажа оборудования при выводе из эксплуатации блоков атомных станций // Тяжелое машиностроение. 2004. №6. С. 9-14.

6. Берела А.И., Былкин Б.К., Томилин С.А., Федотов А.Г. Выбор значений параметров технологического процесса демонтажа оборудования блоков АЭС, выводимых из эксплуатации // Глобальная ядерная безопасность. 2013. №3 (8). С. 60–64.

7. Способ герметизации внутреннего пространства канального графитоводяного ядерного реактора и устройство для его осуществления: пат. 2264667 Рос. Федерация: МПК7 G21C 13/00, 13/10, 19/00, 19/20 / А. И. Берела [и др.]. – Заявл. 02.10.2003; опубл. 20.11.2005, Бюл. № 3.

8. Берела А.И., Былкин Б.К., Этинген Ю.А. Технологическое оборудование для герметизации реакторного пространства блоков первой очереди Белоярской АЭС // Тяжелое машиностроение. 2006. №9. С. 10-13.

9. Берела А.И., Былкин Б.К., Томилин С.А., Федотов А.Г. Адаптация технологии демонтажа оборудования выводимых из эксплуатации блоков АЭС к требованиям радиационной безопасности // Инженерный вестник Дона, 2014, №2 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2416/](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2416/).

10. Берела А.И., Федотов А.Г., Томилин С.А. Технологическое оборудование, применяемое в работах по выводу из эксплуатации блоков АЭС // Глобальная ядерная безопасность. 2013. №1 (6). С. 58–66.

11. Ishikawa M. et al. Reactor decommissioning in Japan: Philosophy and first programme. – «Nuclear power performance and safety. Conference proceedings. Vienna, 28 september – 2 october 1987, v. 5. Nuclear Fuel Cycle». IAEA, Vienna. 1988. P.121-124.



12. Берела А.И., Томилин С.А., Федотов А.Г., Якубенко И.А. Образовательный модуль для подготовки специалистов по производству демонтажных работ при выводе из эксплуатации блоков АЭС // Глобальная ядерная безопасность. 2014. № 2 (11). С. 111-119.

13. Берела А.И., Томилин С.А., Федотов А.Г., Якубенко И.А. Разработка образовательного модуля для подготовки специалистов по выводу из эксплуатации блоков АЭС // Безопасность ядерной энергетики. Волгодонск, 2014. С. 39-40.

### References

1. Bylkin B.K., Tsypin S.G., Khrulev A.A. Atomnaya tekhnika za rubezhom. 1995. №5. pp. 9-22.

2. Berela A.I., Bylkin B.K. Atomic Energy. 2000. T. 89. №. 3. pp. 189–196.

3. Berela A.I., Fedotov A.G., Tomilin S.A., Bylkin B.K. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2013. №2 URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n2y2013/1734/](http://ivdon.ru/magazine/archive/n2y2013/1734/).

4. Berela A.I., Bylkin B.K., Tomilin S.A., Fedotov A.G. Global'naya yadernaya bezopasnost'. 2014. №1 (10). pp. 25–31.

5. Berela A. I., Bylkin B.K. Shaposhnikov V.A. Tyazheloe mashinostroenie. 2004. № 6. pp. 9-14.

6. Berela A.I., Bylkin B.K., Tomilin S.A., Fedotov A.G. Global'naya yadernaya bezopasnost'. 2013. №3 (8). pp. 60–64.

7. Berela A.I. and others. [Way of sealing of internal space of a channel grafitovodyany nuclear reactor and the device for its implementation]: pat. 2264667 RU.

8. Berela A.I., Bylkin B.K., Etingen Yu.A. Tyazheloe mashinostroenie. 2006. № 9. pp. 10-13.

9. Berela A.I., Bylkin B.K., Tomilin S.A., Fedotov A.G. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2014. № 2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2416/](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2416/).



10. Berela A.I., Fedotov A.G., Tomilin S.A. Global'naya yadernaya bezopasnost'. 2013. №1 (6). pp. 58–66.

11. Ishikawa M. et al. «Nuclear power performance and safety. Conference proceedings. Vienna, 28 september – 2 october 1987, v. 5. Nuclear Fuel Cycle». IAEA, Vienna. 1988. pp.121-124.

12. Berela A.I., Tomilin S.A., Fedotov A.G., Yakubenko I.A. Global'naya yadernaya bezopasnost'. 2014. № 2 (11). pp. 111-119.

13. Berela A.I., Tomilin S.A., Fedotov A.G., Yakubenko I.A. Bezopasnost' yadernoy energetiki. Volgodonsk, 2014. pp. 39-40.