

**ПРОБЛЕМЫ ЯДЕРНОЙ, РАДИАЦИОННОЙ
И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

УДК 621.039.5 : 621.311.25

**О РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ
ДЕМОНТАЖНЫХ РАБОТ ПРИ ВЫВОДЕ ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ
БЛОКОВ АЭС**

© 2014 г. А.И. Берела, М.Н. Галанова, В.А. Игнаткин

*Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального исследовательского
ядерного университета «МИФИ», Волгодонск, Ростовская обл.*

В работе освещены проблемы обеспечения радиационной безопасности при выполнении монтажных работ, связанных с выводом из эксплуатации блоков атомных электрических станций (АЭС). Показано, что возникновение проблемы обусловлено физической сущностью процессов, протекающих в активной зоне при работе ядерных реакторов, а также явлениями переноса теплоносителем через активную зону и активацией продуктов коррозии с последующим их отложением на рабочих поверхностях оборудования и трубопроводов.

Ключевые слова: вывод блоков АЭС из эксплуатации, радиационная безопасность, нейтронное облучение, наведенная радиоактивность, поверхностная радиоактивность, монтажные работы, проникающая способность, ионизирующая способность, защитные экраны.

Поступила в редакцию 09.06.2014 г.

Вывод блоков АЭС из эксплуатации необходимо рассматривать, как новое и наукоемкое направление в атомной энергетике. Его сущность состоит в проведении после окончательного останова блока удаления ядерного топлива из реактора и приреакторных бассейнов выдержки комплекса мероприятий, в результате которых исключается возможность использования блока в качестве энергоисточника.

К настоящему времени в мире остановлены и находятся в разных стадиях вывода из эксплуатации 138 энергоблоков АЭС, не считая экспериментальных, промышленных, исследовательских и транспортных реакторов. В России прекращена эксплуатация четырех блоков первой очереди Белоярской АЭС и Нововоронежской АЭС. В этом и последующем десятилетии в связи с выработкой уже продленного срока службы предстоит остановить эксплуатацию еще 28 блоков АЭС, построенных в советское время. Объем предстоящих в ближайшем будущем работ по демонтажу оборудования остановленных типовых блоков АЭС (уранграфитовых и корпусных) составит 600000 – 650000 тонн [1].

Технологические процессы демонтажа оборудования должны соответствовать требованиям радиационной безопасности. Эти требования опираются на главные принципы обеспечения радиационной безопасности, к которым относят:

- принцип нормирования – недопущение превышения лимитов доз индивидуального облучения населения от всех источников облучения;
- принцип обоснования – запрет на все виды деятельности, связанные с использованием источников облучения, полученная польза от которых для человека и общества не превосходит риск возможного вреда;
- принцип оптимизации – ALARA (As Low As Reasonably Achievable – так низко, насколько это возможно) – поддержание на максимально низком уровне

индивидуальных доз облучения, учитывая экономические и социальные факторы, а также число облучаемых лиц при использовании любого источника облучения [2].

ВОЗНИКНОВЕНИЕ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ СИСТЕМ, ОБОРУДОВАНИЯ И ПОМЕЩЕНИЙ БЛОКА

Природа возникновения радиационно-опасной обстановки дает базовые понятия обеспечения радиационной безопасности демонтажных работ.

Материалы ядерных реакторов десятки лет подвергаются сильному облучению нейтронами. При облучении частицами стабильные ядра элементов могут превращаться в радиоактивные и, таким образом, приобретать наведенную радиоактивность [3]. Поэтому интенсивность наведенной радиоактивности материалов реактора крайне высока, что создает проблемы не только с его демонтажем и утилизацией при выводе блока АЭС из эксплуатации, но и с демонтажем оборудования и трубопроводов первого контура ядерной энергетической установки, загрязняемыми как поверхностными коррозионными отложениями этих материалов, так и активированными в активной зоне реактора продуктами коррозии, перемещаемыми теплоносителем.

В реакторе РБМК наведенную радиоактивность получают блоки графитовой кладки (нуклид С-14), масса этих блоков около тысячи тонн.

ВИДЫ И БИОЛОГИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

Знание свойств и характеристик ионизирующих излучений позволяет принимать правильные технические и организационные решения для радиационно-безопасного производства демонтажных работ.

К числу наиболее опасных излучений относят альфа-, бета- и гамма-излучения. *Альфа-излучение* – поток ядер атома гелия, распространяющихся с начальной скоростью около 20 000 км/с. *Бета-излучение* представляет собой поток электронов, которые могут распространяться с различными скоростями, в зависимости от энергии излучения. *Гамма-излучение* представляет собой электромагнитное излучение с длиной волны менее $2 \cdot 10^{-10}$ м, испускаемое ядрами атомов при радиоактивных превращениях. Оно испускается отдельными квантами, распространяясь со скоростью света [4].

Ионизирующая способность альфа-излучения огромна, но проникающая способность незначительна. Надежной защитой от альфа-частиц является одежда человека или лист плотной бумаги. Бета-частицы имеют меньшую ионизирующую, но большую проникающую способность, чем ядра гелия. Одежда поглощает до 50 % бета-частиц. Ионизирующая способность гамма-лучей значительно меньше, чем у бета- и альфа-частиц. Однако они имеют наибольшую проникающую способность и в воздухе может распространяться на сотни метров [5].

Биологическое действие ионизирующих излучений сводится к изменению структуры или разрушению различных органических веществ. При воздействии на организм оно приводит к ионизации молекул воды и молекул различных белковых веществ. При этом в тканях образуются свободные радикалы, обладающие большой токсичностью. Смертельной для человека является доза гамма- или рентгеновских лучей, составляющая 500...700 рентген. Облучение может стать причиной выпадения волос, ломкости ногтей, нарушению деятельности желудочно-кишечного тракта, появлению катаракты, изменению в наследственных функциях, острой или хронической лучевой болезни [6].

ЗАЩИТА ОТ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

Защита от альфа-излучения достигается применением экранов из обычного или органического стекла толщиной несколько миллиметров. Для защиты от бета-излучения экраны изготавливают из алюминия или пластмассы (органическое стекло). От гамма- и рентгеновского излучения эффективно защищают свинец, сталь, вольфрамовые сплавы, т.е. материалы с высокой плотностью. Для защиты от нейтронов применяются комбинации материалов, обладающих высокой замедляющей (вода, парафин, полиэтилен, графит, бетон), а также высокой поглощающей (бор, кадмий, железо и др.) способностью. Защитные экраны от гамма-лучей и нейтронов представляют собой сочетание с водой или графитом материалов, имеющих большую плотность, например, свинец – вода, железо – вода или железо – графит. [6]

Из принципиальной зависимости интенсивности гамма-излучения от глубины его проникновения в вещество (рис.1) следует, что гамма-излучение не может быть полностью поглощено. Можно лишь в определенной степени ослабить его интенсивность.

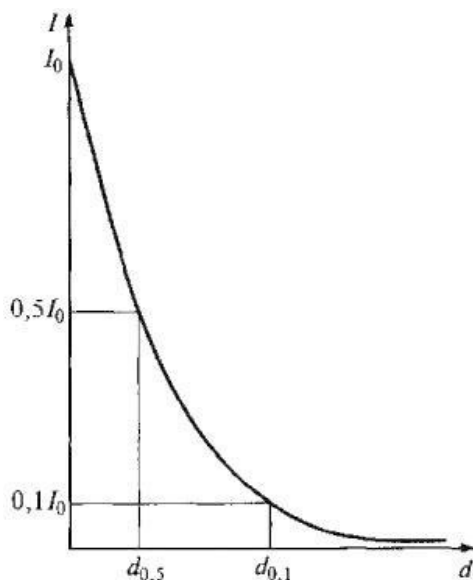


Рис. 1. Зависимость интенсивности гамма-излучения от глубины его проникновения в вещество

ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ
ДЕМОНТАЖНЫХ РАБОТ

Подготовка нормативной базы атомной энергетики к выводу из эксплуатации блоков АЭС нашло отражение, прежде всего, в разработке документов по обеспечению радиационной безопасности выполняемых при этом работ:

- РД ЭО 0013-93. Основные положения по снятию с эксплуатации блоков АС, отработавших проектный срок службы;
- НП 012-99. Правила обеспечения безопасности при выводе из эксплуатации блока атомной станции;
- РБ-013-2000. Требования к содержанию программы вывода из эксплуатации блока атомной станции;
- СП 2.6.1.2205-07. Обеспечение радиационной безопасности при выводе из эксплуатации блока атомной станции. Санитарные правила СП ВЭ БАС-07;
- Руководство по безопасности при использовании атомной энергии «Структура и содержание отчета по результатам комплексного инженерного и

радиационного обследования для вывода из эксплуатации блока атомной станции».

Документы носят обязательный характер для проектирования работ по демонтажу радиоактивного оборудования блоков – одной из важнейших составляющих демонтажных работ.

Соответствующий подход к проектированию и выполнению демонтажных работ в части разработки технологических процессов и средств их технологического оснащения представлен авторами, занимающимися данной проблематикой в отношении остановленных блоков первой очереди Белоярской АЭС [1, 7–10].

С целью минимизации дозовых нагрузок демонтажных работ при проектировании технологических процессов демонтажа оборудования предложена проблемно-ориентированная система с разработкой структурированного списка условий безопасности и классификацией помещений блоков по уровню радиационного фона [1, 7, 8], задействованных в выборе технологических и технических решений.

Необходим анализ и представление радиационных параметров среды действия в системе проектирования и реализации демонтажных технологий, при этом основным источником соответствующих данных должно стать правильно спланированное и выполненное комплексное инженерное обследование помещений и оборудования, остановленного для вывода из эксплуатации блока [1].

Применяемые средства технологического оснащения, как специально разрабатываемые, так и промышленного изготовления должны отвечать радиационным условиям ведения работ, в том числе иметь конструкционные элементы радиационной защиты и, при необходимости, дистанционное управление [9, 10].

В нашем исследовании представлен набор возможных процедур обеспечения радиационной безопасности, определяемых организацией, способами и методами ведения демонтажных работ [11]. Процедуры разработаны в сотрудничестве технологов и специалистов по радиационной безопасности, они отвечают понятиям культуры безопасности и требованиям нормативной документации по радиационной безопасности, включая инструкцию по РБ, действующую на Белоярской АЭС.

В набор включены, например, такие процедуры и решения, как:

- проведение радиационного мониторинга рабочих зон;
- планирование дозозатрат;
- применение защитных барьеров и экранов;
- предварительная и сопутствующая работам дезактивация помещений и оборудования;
- местный отсос и фильтрация вторичных пыле-, газообразных РАО;
- выбор последовательности ведения работ по блоку, помещению, оборудованию;
- механизация, автоматизация и дистанционное управление демонтажными работами.

Принятие предпочтительных технологических решений в ходе проектирования демонтажных работ может быть обосновано [7] путем минимизации интегрального критерия, построенного путем аддитивного преобразования частных критериев – технологической себестоимости и величины экономического ущерба, вызванной облучением в коллективной эффективной дозе 1 чел•Зв, отнесенными к показателям произведенной работы, например, массе демонтированного оборудования.

Кроме того, актуальным моментом является подготовка специалистов в области демонтажных работ при выводе из эксплуатации блоков АЭС [12, 13]. Здесь очень важен имеющийся опыт проектирования и производства таких работ, хотя и носящий в настоящее время частный характер, но достаточно обоснованный, в том числе с позиций обеспечения радиационной безопасности демонтажных работ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предстоящие масштабные монтажные работы при выводе блоков АЭС из эксплуатации потребуют значительного внимания в части обеспечения их радиационной безопасности. Привлекаемые к этим работам специалисты должны получить необходимые базовые знания в вузовской подготовке, обладать необходимой культурой безопасности, формируемой при овладении специальностью и постоянно развиваемой в профессиональной деятельности. Значительные возможности в обеспечении РБ представляют организационные, технические и технологические решения, принимаемые при разработке монтажных технологий и реализуемые в ходе монтажных работ. Эти решения обосновываются действующей нормативной документацией и инструкциями по РБ и опираются на профессиональные знания и компетенции специалистов, участвующих в проектировании и реализации монтажных работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Берела, А.И. и др.* Анализ и представление среды действия в системе проектирования технологии монтажа оборудования при выводе из эксплуатации блока АЭС [Текст] / А.И. Берела, Б.К. Былкин, С.А. Томилин, А.Г. Федотов // Глобальная ядерная безопасность. – 2014. – №1 (10). – С. 25–31.
2. Федеральный закон от 09.01.1996 N 3-ФЗ (ред. от 19.07.2011) «О радиационной безопасности населения» [Электронный ресурс]. – М., 1996. – Ст. 3. : Принципы обеспечения радиационной безопасности. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_117494. – 15.02.2014.
3. *Кузнецов, Р.А.* Активационный анализ [Текст] / науч.изд. / Р.А. Кузнецов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Атомиздат, 1974. – 343 с.
4. *Миргородский, В. Р.* Безопасность жизнедеятельности [Электронный ресурс] / В.Р. Миргородский. – Режим доступа: <http://www.mrkvant.com.ua/radiation/4/> – 15.02.2014.
5. *Давыдов, М. Г.* Биологическое действие ионизирующих излучений [Электронный ресурс] : учеб. пособие / М. Г. Давыдов. – Ростов-на-Дону, 2007. – Режим доступа: <http://phys.rsu.ru/web/students/RadSec/bio.pdf>. – 23.02.2014.
6. Экология и безопасность жизнедеятельности [Текст] : учеб. пособие для вузов / Д.А. Кривошеин [и др.] ; под ред. Л. А. Муравья. – М. : ЮНИТИ-ДАНА, 2000. – 447 с.
7. *Берела, А.И. и др.* Выбор значений параметров технологического процесса монтажа оборудования блоков АЭС, выводимых из эксплуатации [Текст] / А.И. Берела, Б.К. Былкин, С.А. Томилин, А.Г. Федотов // Глобальная ядерная безопасность. – 2013. – №3(8). – С. 60–64.
8. *Берела, А.И. и др.* Разработка технологических процессов монтажа оборудования при выводе из эксплуатации атомных станций [Электронный ресурс] / А.И. Берела, А.Г. Федотов, С.А. Томилин, Б.К. Былкин // Инженерный вестник Дона. – 2013. – Т. 25 – №2(25). – С. 64. – Режим доступа: URL: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n2y2013/1734> – 25.04.2014.
9. *Берела, А.И. и др.* Технологическое оборудование, применяемое в работах по выводу из эксплуатации блоков АЭС [Текст] / А.И. Берела, А.Г. Федотов, С.А. Томилин // Глобальная ядерная безопасность. – 2013. – №1 (6). – С. 58–66.
10. *Берела, А.И. и др.* Вывод из эксплуатации блоков АЭС. Монтажные технологии [Электронный ресурс] / А.И. Берела, А.Г. Федотов, С.А. Томилин // Безопасность ядерной энергетики : тез. докл. IX Междунар. науч.-практ. конф., 23-24 мая 2013 г. / ВИТИ НИЯУ МИФИ [и др.]. – Волгоград: [Б.и.], 2013. – 1 электрон. опт. диск [CD].
11. *Берела, А.И. и др.* Адаптация технологии монтажа оборудования выводимых из эксплуатации блоков АЭС к требованиям радиационной безопасности [Электронный ресурс] / А.И. Берела, Б.К. Былкин, С.А. Томилин, А.Г. Федотов // Инженерный вестник Дона. – 2014. – Т. 29 – №2 (29). – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n2y2014/2416> – 25.05.2014.
12. *Берела, А.И. и др.* Разработка образовательного модуля для подготовки специалистов по выводу из эксплуатации блоков АЭС / А.И. Берела, С.А. Томилин, А.Г. Федотов, И.А. Якубенко // Безопасность ядерной энергетики [Электронный ресурс]: тез. докл. X Междунар. науч.-практ. конф., 28-30 мая 2014 г. / ВИТИ НИЯУ МИФИ [и др.]. – Волгоград: [Б.и.], 2014. – 1 электрон. опт. диск [CD].

13. Берела, А.И. и др. Образовательный модуль для подготовки специалистов по производству демонтажных работ при выводе из эксплуатации блоков АЭС [Текст] / А.И. Берела, С.А. Томилин, А.Г. Федотов, И.А. Якубенко // Глобальная ядерная безопасность. – 2014. – № 2(11). – С. 111–116.

Radiation Security of Dismantling Works during the Mothballing of NPP's Blocks

A.I. Berela*, M.N. Galanova**, V.A. Ignatkin***

*Volgodonsk Engineering Technical Institute
the Branch of National Research Nuclear University «MEPhI»,
73/94 Lenin St., Volgodonsk, Rostov region, Russia 347360*

* e-mail: VITIkaFMPM@mephi.ru, ** e-mail: mashoolka@yandex.ru, *** e-mail: slavik18119525-1k@yandex.ru

Abstract – This article highlights the radiation safety problems, which arise during the dismantling works related to the mothballing of nuclear power plants blocks. It is shown the problem is caused by physical nature of the processes, which pass in the active zone during nuclear reactors operation, as well as heat carrier transferring through the active zone and activation of corrosion products with their further deposition on the working surfaces of equipment and pipelines.

Keywords: mothballing of nuclear power plants blocks, radiation safety, neutron radiation, induced radioactivity, superficial radioactivity, dismantling works, penetrating power, ionizing ability, protective screens.

REFERENCES

- [1] Berela A.I., Bylkin B.K., Tomilin S.A., Fedotov A.G. Analiz i predstavlenie sredy dejstvija v sisteme proektirovanija tehnologii demontazha oborudovanija pri vyvode iz jekspluatacii bloka AJeS [Analysis and presentation of environment activity in the system of projecting of equipment dismantling technology during NPP unit decommissioning]. Globalnaja jadernaja bezopasnost [Global Nuclear Safety], 2014, №1(10), ISSN 2305-414X, pp. 25–31. (in Russian)
- [2] Phederalnyj zakon ot 09.01.1996 N 3-FZ (red. ot 19.07.2011) «O radiacionnoj bezopasnosti naselenija» [The federal law of 09.01.1996 N 3-FZ (an edition of 19.07.2011) "About radiation safety population"]. M. 1996. St. 3.: Principy obespechenija radiacionnoj bezopasnosti. [Principles of ensuring radiation safety]. Available at: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_117494 (in Russian)
- [3] Kuznecov R.A. Aktivacionnyj analiz [Activation analysis] / nauch.izd [scientific edition]. 2-e izd., pererab. i dop. [the 2nd edition processed and added]. M. Pub. Atomizdat [Atomizdat], 1974. 343 p. (in Russian)
- [4] Mirgorodskij V.R. Bezopasnost zhiznedejatelnosti [Health and safety]. Available at: <http://www.mrkvant.com.ua/radiation/4/> (in Russian)
- [5] Davydov M.G. Biologicheskoe dejstvie ionizirujushhijh izluchenij [Biological effect of ionizing radiation]: ucheb. Posobie [manual]. Rostov-na-Donu, 2007. Available at: <http://phys.rsu.ru/web/students/RadSec/bio.pdf> (in Russian)
- [6] Krivoshein D.A. etc. Jekologija i bezopasnost zhiznedejatelnosti [Ecology and life safety]: ucheb. posobie dlja vuzov [the manual for higher education] / pod red. L.A. Muravja [Edited by L. A. Muravey]. M. Pub. JuNITI-DANA [UNITY-DANA], 2000, ISBN 5-238-00139-8, 447 p. (in Russian)
- [7] Berela A.I., Bylkin B.K., Tomilin S.A., Fedotov A.G. Vybor znachenij parametrov tehnologicheskogo processa demontazha oborudovanija blokov AJeS, vyvodimyjh iz jekspluatacii [Choice of technological process parameter values of equipment dismantle of NPP block decommissioning]. Globalnaja jadernaja bezopasnost [Global Nuclear Safety]. 2013, №3(8), ISSN 2305-414X, pp. 60–64. (in Russian)

- [8] Berela A.I., Fedotov A.G., Tomilin S.A., Bylkin B.K. Razrabotka tehnologicheskikh processov demontazha oborudovanija pri vyvode iz jekspluatacii atomnyh stancij [Development of technological processes of equipment dismantle during NPP unit decommissioning]. Inzhenernyj vestnik Dona [Engineering bulletin of Don]. 2013, №2(25), ISSN 2073-8633. Available at: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n2y2013/1734> (in Russian)
- [9] Berela A.I., Fedotov A.G., Tomilin S.A. Tehnologicheskoe oborudovanie, primenjaemoe v rabotah po vyvodu iz jekspluatacii blokov AJeS [The processing equipment applied in works during NPP block decommissioning]. Globalnaja jadernaja bezopasnost [Global Nuclear Safety]. 2013, №1(6), ISSN 2305-414X, pp. 58–66. (in Russian)
- [10] Berela A.I., Fedotov A.G., Tomilin S.A. Vyvod iz jekspluatacii blokov AJeS. Demontazhnye tehnologii [The NPP unit decommissioning. Dismantling technologies]. Bezopasnost jadernoj jenergetiki [Safety of the nuclear energy]: tez. dokl. IX Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., 23-24 maja 2013 g. [theses of reports IX International scientific and practical conference, on May 23-24, 2013] / VITI NIJaU MIFI [i dr.] [VETI NRNU MEPhI]. Volgodonsk, 2013. ISBN 978-5-9905145-2-2, 1 jelektron. opt. disk [1 CD] (in Russian)
- [11] Berela A.I., Bylkin B.K., Tomilin S.A., Fedotov A.G. Adaptacija tehnologii demontazha oborudovanija vyvodimyh iz jekspluatacii blokov AJeS k trebovanijam radiacionnoj bezopasnosti [Adaptation of equipment dismantle technology the NPP units decommission to radiation safety requirements]. Inzhenernyj vestnik Dona [Engineering bulletin of Don]. 2014. Vol. 29, №2(29). ISSN 2073-8633. Available at: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2416> (in Russian)
- [12] Berela A.I., Tomilin S.A., Fedotov A.G., Jakubenko I.A. Razrabotka obrazovatel'nogo modulja dlja podgotovki specialistov po vyvodu iz jekspluatacii blokov AJeS [Development of the educational module for training of specialists for the NPP unit decommission]. Bezopasnost jadernoj jenergetiki [Safety of the nuclear energy]: tez. dokl. X Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., 28-30 maja 2014 g. [theses of reports X International scientific and practical conference, on May 28-30, 2014] / VITI NIJaU MIFI etc. [VETI NRNU MEPhI]. Volgodonsk, 2014. ISBN 978-5-9905145-3-9, 1 jelektron. opt. disk [1 CD]. (in Russian)