

Д. А. Стельмах, В. К. Кучинский,
А. М. Платоненко

Государственное специализированное предприятие
«Чернобыльская АЭС», г. Славутич, Украина

«Бурое пятно» как конечное состояние площадки Чернобыльской АЭС

Рассмотрены нормативные и практические аспекты повторного использования площадок АЭС при снятии ядерных установок с эксплуатации. Описаны особенности принятого конечного состояния снятия с эксплуатации Чернобыльской АЭС с радиологической точки зрения — «бурое пятно».

Ключевые слова: снятие с эксплуатации, бурое пятно, Чернобыльская АЭС, объект «Укрытие», зона отчуждения.

Д. А. Стельмах, В. К. Кучинский, А. М. Платоненко

«Бура пляма» як кінцевий стан майданчика Чернобыльської АЕС

Розглянуто нормативні та практичні аспекти повторного використання майданчиків АЕС у разі зняття установок з експлуатації. Описано особливості прийнятого кінцевого стану зняття з експлуатації Чернобыльської АЕС з радіологічної точки зору — «бура пляма».

Ключові слова: зняття з експлуатації, бура пляма, Чернобыльська АЕС, об'єкт «Укриття», зона відчуження.

© Д. А. Стельмах, В. К. Кучинский, А. М. Платоненко, 2016

С развитием атомной энергетики в мире растет потребность в новых площадках для ядерных установок, поиск которых может быть осложнен. В то же время в ближайшее десятилетие будут подлежать снятию с эксплуатации (СЭ) порядка 150 энергетических реакторов, введенных в эксплуатацию в семидесятых годах в США, Франции, Великобритании, Германии и других странах [1]. В Украине на четырех АЭС эксплуатируются 15 энергоблоков, которые уже отработали более половины сроков эксплуатации, предусмотренных проектами. Снятие с эксплуатации как завершающий этап жизненного цикла любой установки, использовавшей радиоактивные материалы, по своей сути является проектно-ориентированной деятельностью. Желаемое конечное состояние установки должно быть определено до начала работ. Для достижения этого состояния может существовать целый ряд стратегий [2]. Для каждого конкретного случая конечное состояние будет по-своему уникальным, учитывающим местные требования безопасности, экологические запросы, дальнейшие планы использования территории и инфраструктуры. Это открывает дополнительные возможности по повторному использованию занимаемых территорий, в том числе для создания новых установок.

Чернобыльская АЭС также не является исключением из этой тенденции.

Целью данной статьи является рассмотрение нормативных и практических аспектов повторного использования площадок АЭС при снятии с эксплуатации ядерных установок. Описаны особенности принятого конечного состояния снятия с эксплуатации Чернобыльской АЭС с радиологической точки зрения — «бурое пятно». Показаны предпосылки для повторного использования промышленной площадки Чернобыльской АЭС для нужд атомной отрасли Украины.

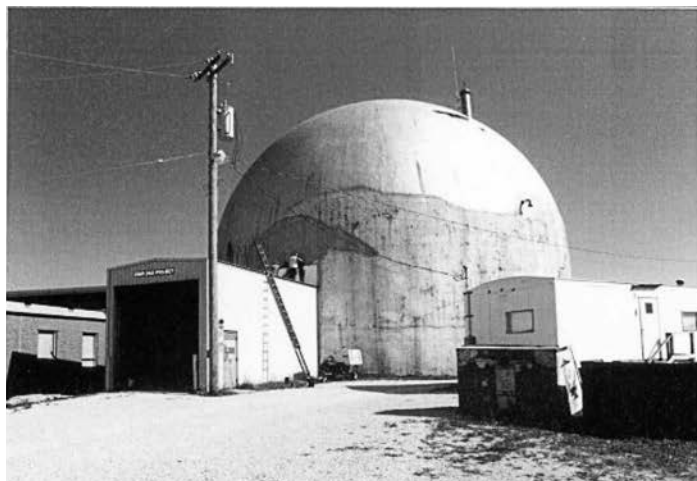
Повторное использование. Выбор конечного состояния при снятии с эксплуатации является одной из важнейших составляющих процесса планирования. Конечное состояние — это заранее принятые критерии, определяющие точку, в которой конкретная задача или процесс (снятие с эксплуатации) будут считаться завершенными [2].

В соответствии с принципами МАГАТЭ все разнообразие конечных состояний СЭ заключено между так называемыми зеленой лужайкой и бурым пятном [3]:

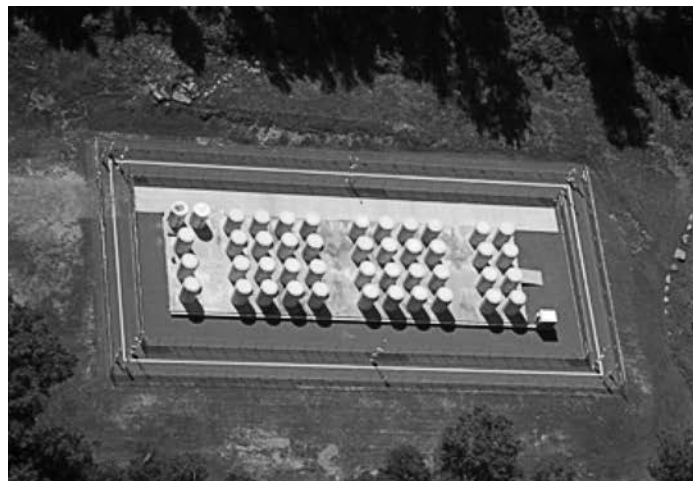
- «зеленая лужайка» (greenfield site) — это площадка, полностью освобожденная от регулирующего контроля, на которой все здания и сооружения демонтированы, а её дальнейшее использование для промышленных целей не планируется;
- «бурое пятно» (brownfield) — это недвижимое имущество, реконструкция, расширение или повторное использование которого может быть осложнено из-за наличия или потенциального присутствия опасных веществ или загрязнения.

Повторное использование площадки для нужд атомной отрасли относится к крайнему из вариантов конечного состояния — «бурое пятно». Выбор этого варианта положительно влияет на такие показатели, как уменьшение сроков реализации работ по СЭ, снижение стоимости работ и дозовых нагрузок на персонал. Это обусловлено уменьшением объемов работ по дезактивации и (или) демонтажу оборудования и строительных конструкций, а также по восстановлению ландшафта. Во многих случаях продолжение использования площадки в сфере ядерной энергии может быть логическим и естественным результатом благодаря следующим преимуществам:

наличию квалифицированного технического персонала; существующему признанию местным населением деятельности на площадке в области ядерной энергетики;



а



б

Рис. 1. Повторное использование установок при СЭ:
а — хранилище РАО на базе реактора EBWR (ANL, США); б — хранилище ОЯТ сухого типа (АЭС Yankee Rowe, США)

наличию достоверных данных о характеристиках площадки (как физических, так и радиологических);
наличию необходимой инфраструктуры;
наличию в данном регионе специфических ядерных и обычных услуг.

В Японии, где земля является наибольшим приоритетом, стратегия повторного использования принята на законодательном уровне, а действующая стратегия СЭ — это размещение новых энергоблоков на площадках АЭС, снимаемых с эксплуатации [4]. Трудности при выборе новых площадок в других странах могут привести к аналогичным решениям.

Возможно использование площадок и для таких целей, как: а) организация хранилищ для временного хранения и захоронения радиоактивных отходов (РАО) и (или) отработавшего ядерного топлива (ОЯТ); б) создание установок по переработке РАО и ОЯТ.

Так, на площадке Аргоннской национальной лаборатории (ANL, США) в процессе снятия с эксплуатации экспериментального реактора кипящего типа (EBWR) его здание после модификации системы кранов было повторно использовано в качестве временного хранилища трансурановых отходов. Упаковки с трансурановыми отходами размещались на четырех этажах установки, в шахте реактора и бассейнах выдержки. Использование объекта после снятия с эксплуатации позволило избежать строительства нового здания стоимостью 2 млн. долларов США [5, 6] (рис. 1, а).

В США, в ожидании создания национального централизованного хранилища для захоронения ВАО, организовывается хранение ОЯТ на многих площадках, снимаемых с эксплуатации. Таким образом создан ряд независимых хранилищ ОЯТ сухого типа (не менее семи на 2015 год) на площадках АЭС, снятых с эксплуатации [7] (рис. 1, б).

Аналогичным образом используются некоторые площадки после СЭ и в Европейском союзе. Например, на площадке Авогадро (Италия) после снятия с эксплуатации исследовательского реактора AVOGADRO RS-1 в 1984 году было открыто хранилище ОЯТ мокрого типа для других итальянских АЭС [8]. Большое число ядерных установок преобразуется в музеи ядерной энергетики.

В Украине согласно требованиям национальной нормативно-правовой базы [9] основной целью снятия с эксплуатации атомных электростанций и исследовательских

ядерных реакторов является «исключение возможности дальнейшего использования данной установки в целях, для которых она была построена». При этом также декларируется, что «Снятие установок с эксплуатации предпринимается для достижения на территории, занимаемой установкой, условий, которые максимально снижают ограничения на использование данной территории». Разрешается достижение не в полном объеме целей СЭ, «...если на основе части снимаемой с эксплуатации установки должен быть создан новый объект (новая ядерная установка или объект, предназначенный для обращения с радиоактивными отходами). В этом случае для вновь создаваемого объекта должны быть реализованы все мероприятия и процедуры, которые предусмотрены нормативно-правовыми актами и нормативно-техническими документами».

Кроме нормативно-правовой базы существуют и другие факторы, позволяющие утверждать, что повторное использование площадки найдет применение в Украине, особенно при снятии с эксплуатации Чернобыльской АЭС.

Снятие с эксплуатации Чернобыльской АЭС. Чернобыльская АЭС расположена в зоне отчуждения, территория которой загрязнена в результате аварии на энергоблоке № 4 в 1986 году. Общая площадь зоны отчуждения и зоны безусловного отселения составляет около 2,6 тыс. км², которые выведены из хозяйственного оборота как радиоактивно опасные земли [10].

Зона особой радиационной опасности (так называемая 10-километровая зона) совпадает с санитарно-защитной зоной Чернобыльской АЭС. На данной территории в ближайшие тысячи лет нормальная жизнь человека будет не возможна из-за загрязнения долгоживущими трансурановыми радионуклидами (рис. 2) [11].

При таких обстоятельствах проводить снятие с эксплуатации Чернобыльской АЭС до состояния «зеленой лужайки» представляется нецелесообразным. Принцип «бурое пятно» для площадки Чернобыльской АЭС был впервые обоснован и введен в 2004 году в «Концепции снятия с эксплуатации Чернобыльской АЭС» [12]. Конечное состояние площадки станции было определено как «бурое пятно» — состояние площадки, на которой осуществлены мероприятия по демонтажу технологических систем и оборудования, а также некоторых вспомогательных зданий и сооружений,

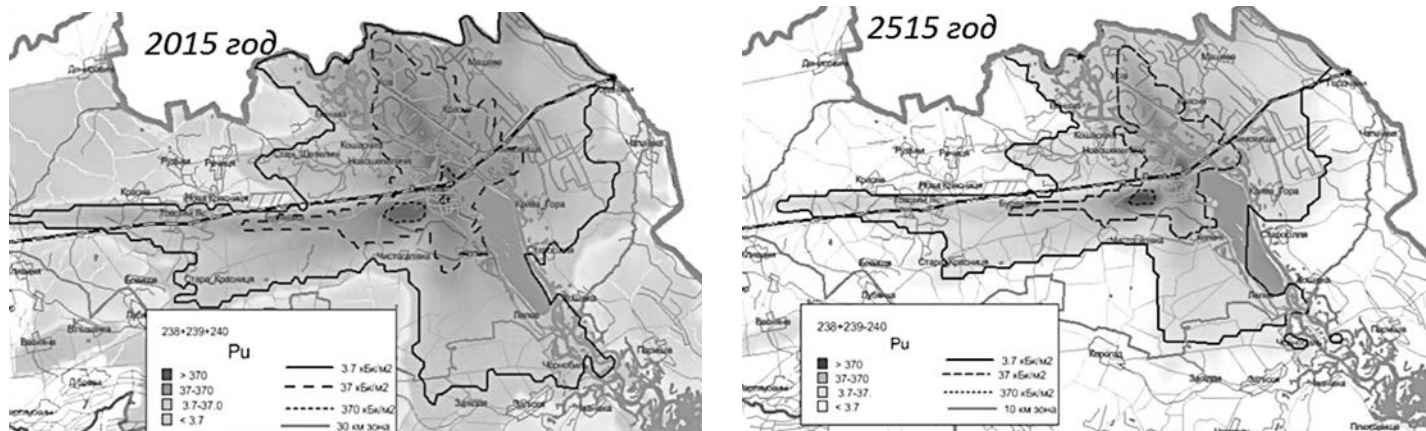


Рис. 2. Прогноз границ плотности загрязнения по $^{238+239+240}\text{Pu}$ в зоне отчуждения на 2015 и 2515 годы

а активность строительных конструкций главных корпусов и оставшихся зданий как источников ионизирующего излучения доведена до установленных для Чернобыльской АЭС уровней ограниченного освобождения от регулирующего контроля.

Согласно принципам МАГАТЭ и требованиям нормативно-правовой базы Украины, при ограниченном освобождении от регулирующего контроля указывается способ дальнейшего обращения с объектом, повторное использование которого может быть осложнено из-за наличия или потенциального присутствия опасных веществ или загрязнения. Так, для промышленной площадки Чернобыльской АЭС были приняты радиационно-гигиенические критерии конечного состояния при снятии с эксплуатации. При разработке данных критериев учитывалась длительность процесса СЭ, во время которого параметры радиационного состояния площадки Чернобыльской АЭС будут постоянно изменяться, а также следующие особенности [13]:

близкое соседство с многотонными неорганизованными топливосодержащими массами, веществами и материалами, содержащими значительное количество долгоживущих радионуклидов (как продуктов деления, так и трансурановых элементов), удельная активность которых превышает установленные уровни изъятия радиоактивных отходов [14];

наличие не только эксплуатационного загрязнения, свойственного промплощадке нормально работающей АЭС, но и «стихийного» аварийного загрязнения; отсутствие полной и всеобъемлющей информации о локализации и характеристиках источников излучения и радиоактивного загрязнения за границами блоков Чернобыльской АЭС.

Установлены три группы критериев:

- группа 1 — критерии для территории, на которой находятся объекты ГСП ЧАЭС (рис. 3);
- группа 2 — критерии для строительных конструкций, зданий и сооружений (рис. 4);
- группа 3 — критерии повторного использования материалов и объектов (оборудования и др.) в границах промплощадки Чернобыльской АЭС и зоны отчуждения.

Значения критериев группы 1 указаны в зависимости от времени, отдельно для территории усиленного контроля и территории свободного режима. Установлены значения следующих радиационных параметров:

- мощность дозы в воздухе на расстоянии 1 м от поверхности радиоактивно загрязненной территории (рис. 3, а);
- плотность поверхностного радиоактивного загрязнения α - и β -частицами (рис. 3, б);
- массовая удельная активность в грунте ^{90}Sr , ^{137}Cs и α -излучающих радионуклидов (^{238}Pu , $^{239+240}\text{Pu}$, ^{241}Am).

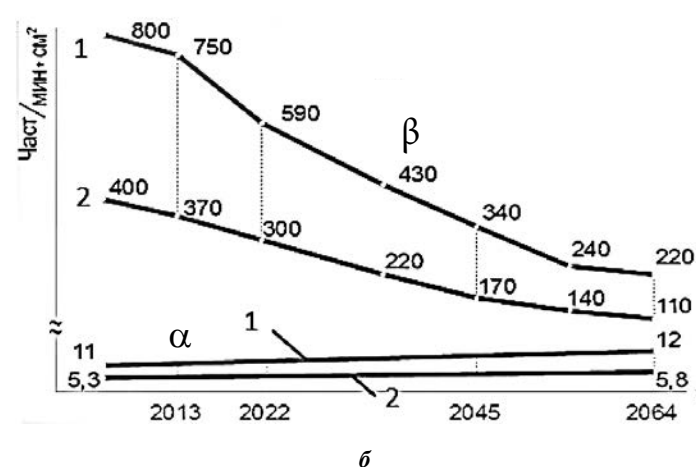
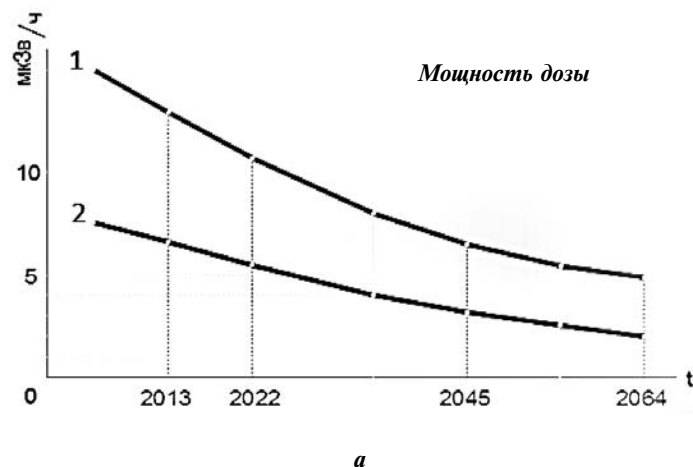


Рис. 3. Критерии группы 1 для территорий усиленного контроля (1) и свободного режима (2): а — мощность дозы на расстоянии 1 м; б — плотность поверхностного загрязнения

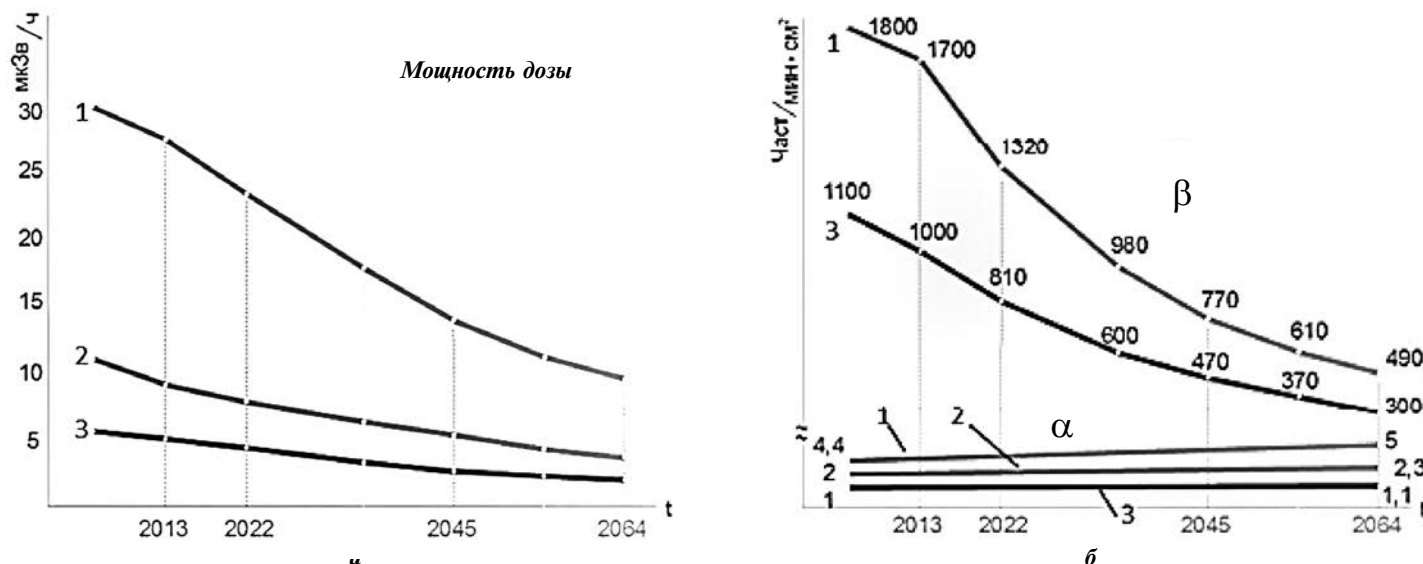


Рис. 4. Критерии группы 2 для помещений ограниченного обслуживания (1), полуобслуживаемых помещений (2), обслуживаемых помещений (3): а — мощность дозы на расстоянии 1 м; б — плотность поверхностного загрязнения

Значения критериев группы 2 определены отдельно для обслуживаемых и полуобслуживаемых помещений, помещений ограниченного обслуживания и помещений зоны свободного режима.

Различают числовые значения критериев группы 2 для эксплуатационного загрязнения, аварийного загрязнения и смешанного загрязнения. Установлены значения следующих радиационных параметров:

мощность дозы в воздухе на расстоянии 0,1 м от поверхности радиоактивно загрязненного объекта (рис. 4, а); плотность радиоактивного загрязнения поверхностей объектов α- и β-частицами (рис. 4, б).

Для эксплуатационного загрязнения всех типов помещений числовые значения критериев одинаковы и не зависят от времени. Установлены следующие критерии группы 2 для обслуживаемых и полуобслуживаемых помещений, помещений ограниченного обслуживания с эксплуатационным загрязнением и помещений зоны свободного режима, загрязнение которых имеет любое происхождение:

мощность дозы — 0,6 мкЗв/ч;
поверхностное β-загрязнение — 200 част./мин·см²;
поверхностное α-загрязнение — 0,2 част./мин·см².

Для группы 3 критериев установлены числовые значения следующих радиационных параметров (табл. 1):

суммарная мощность дозы в воздухе на расстоянии 0,1 м от поверхности радиоактивно загрязненных объектов, которые используются на одном рабочем месте; плотность фиксированного радиоактивного загрязнения поверхностей объектов α- и β-частицами.

Критерии не распространяются: на пруд-охладитель Чернобыльской АЭС; объект «Укрытие» и новый безопасный контейнер (НБК); все виды РАО, образующиеся в процессе снятия с эксплуатации.

Для каждой группы критериев численные значения радиационных параметров установлены до 2064 года. Достижение данных критериев на каком-либо из блоков будет означать, что на нем достигнута главная цель СЭ. В этом состоянии уровень загрязнения площадки будет сопоставим с уровнем загрязнения окружающей территории — зоны отчуждения. Учитывая расположение

Чернобыльской АЭС в 10-километровой зоне отчуждения, наиболее загрязненной долгоживущими радионуклидами, а также наличие большого количества строительных сооружений на всей территории зоны отчуждения, признано нецелесообразным выполнение полного демонтажа строительных конструкций в рамках снятия с эксплуатации. Такая задача должна быть решена в рамках единой программы реабилитации зоны отчуждения.

Поскольку площадка Чернобыльской АЭС расположена в зоне отчуждения, где не проживает постоянное население, отсутствуют промышленность и сельскохозяйственная деятельность, целесообразно в дальнейшем использовать

Таблица 1. Критерии группы 3 повторного использования материалов и объектов в пределах промплощадки ЧАЭС и зоны отчуждения

Критерий	Мощность дозы, мкЗв/ч	Поверхностное загрязнение, част./мин·см ²	
		β	α
<i>За границами площадки ЧАЭС</i>			
Помещения постоянного пребывания	0,6	1,0	0,25
Помещения периодического пребывания	1,2	10	25
<i>В границах площадки ЧАЭС</i>			
Помещения	0,6	100	0,2
Территория свободного режима	0,6	*	1
Территория зоны усиленного контроля	1,2	**	**

*Устанавливаются зависимыми от времени на уровне не более 50 % от уровня группы 1 для территорий свободного режима.

**Устанавливаются зависимыми от времени на уровне не более 50 % от уровня группы 1 для территорий усиленного контроля.

данную площадку для создания производств и технологий по переработке и хранению РАО и ОЯТ, тем более что аналогичные работы на площадке Чернобыльской АЭС уже проводятся и большая часть предлагаемых инициатив уже реализуется.

Выводы

«Бурое пятно» является наиболее обоснованным конечным состоянием площадки Чернобыльской АЭС с точки зрения расположения в границах незаселенной 10-километровой зоны отчуждения и наличия в пределах этой зоны территорий и строительных конструкций, загрязненных долгоживущими радионуклидами.

Дальнейшее развитие площадки Чернобыльской АЭС должно быть направлено на создание производств и технологий по переработке и хранению РАО и ОЯТ. Это даст толчок экономическому развитию региона и позволит создать развитую промышленную площадку, интегрированную в атомную отрасль Украины.

Список использованной литературы

1. Nuclear Technology Review 2014, Vienna: International Atomic Energy Agency, 139 p.
2. Decommissioning strategies for facilities using radioactive material, Safety reports series no. 50, Vienna: International Atomic Energy Agency, 2007, 47 p.
3. Redevelopment of Nuclear Facilities after Decommissioning, Technical reports series no. 444, Vienna: International Atomic Energy Agency, 2006, 219 p.
4. The Long Term Plan for Research. Development and Utilization of Nuclear Energy, Japan Atomic Energy Commission, 1994, available at: <http://www.aec.go.jp/jicst/NC/tyoki/tyoki1994/chokei.htm>
5. Boing, L.E. (1997), Beneficial Re-Use of Decommissioned Former Nuclear Facilities, Argonne National Laboratory Technology Development Division, 9 p.
6. Fellhauer, C.R., Boing, L.E., Aldana J. (1996), Decontamination and Decommissioning of the Experimental Boiling Water Reactor (EBWR): Project Final Report, Argonne National Laboratory Technology Development Division, 122 p.
7. “Backgrounder on Decommissioning Nuclear Power Plants”, available at: <http://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/factsheets/decommissioning.html>
8. “Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management. First Italian National Report”, 2006, available at: <http://www.isprambiente.gov.it/files/temi/italianreport.pdf>
9. Загальні положення забезпечення безпеки при знятті з експлуатації атомних електростанцій та дослідницьких ядерних реакторів : НП 306.2.02/1.004–98. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/z0047-98>
10. Закон України «Про правовий режим території, що зазнала радіоактивного забруднення внаслідок Чорнобильської катастрофи» від 27.02.1991 № 791а-ХІІ. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/791a-12>
11. Звіт з науково-технічної продукції: Радіологічне обґрунтування функціонального зонування території зони відчуження для підвищення ефективності діяльності зі зняття з експлуатації і перетворення об'єкта «Укриття» на екологічно безпечну систему (заключний) / НУБіП; керівник Кашпаров В. А.; виконавці В. Процак, Ю. Хомутін, М. Журба, О. Косарчук. — К., 2015. — 71 с. — № держреєстрації 0115U003452.
12. Концепція зняття з експлуатації Чорнобильської АЕС / ГСП ЧАЕС. — Славутич, 2004. — 70 с. — Інв. № 35 від 02.09.2004.
13. Рівні обмеженого звільнення для майданчика ЧАЕС і матеріалів від регулюючого контролю (радіаційно-гігієнічні критерії кінцевого стану Промислового майданчика ЧАЕС при знятті з експлуатації) / К., 2008. — 15 с. — Інв. № 06352/7

рії кінцевого стану Промислового майданчика ЧАЕС при знятті з експлуатації) / К., 2008. — 15 с. — Інв. № 06352/7

14. Основні санітарні правила забезпечення радіаційної безпеки України. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/z0552-05>

References

1. Nuclear Technology Review 2014, Vienna, International Atomic Energy Agency, 139 p.
2. Decommissioning Strategies for Facilities Using Radioactive Material, Safety Reports Series No. 50, Vienna, International Atomic Energy Agency, 2007, 47 p.
3. Redevelopment of Nuclear Facilities after Decommissioning, Technical Reports Series No. 444, Vienna, International Atomic Energy Agency, 2006, 219 p.
4. The Long Term Plan for Research. Development and Utilization of Nuclear Energy, Japan Atomic Energy Commission, 1994, available at: <http://www.aec.go.jp/jicst/NC/tyoki/tyoki1994/chokei.htm>
5. Boing, L.E. (1997), Beneficial Re-Use of Decommissioned Former Nuclear Facilities, Argonne National Laboratory Technology Development Division, 9 p.
6. Fellhauer, C.R., Boing, L.E., Aldana J. (1996), “Decontamination and Decommissioning of the Experimental Boiling Water Reactor (EBWR)”, Project Final Report, Argonne National Laboratory Technology Development Division, 122 p.
7. “Backgrounder on Decommissioning Nuclear Power Plants”, available at: <http://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/factsheets/decommissioning.html>
8. “Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management. First Italian National Report”, 2006, available at: <http://www.isprambiente.gov.it/files/temi/italianreport.pdf>
9. General Safety Provisions during Decommissioning of Nuclear Power Plants and Research Reactors [Zahal'ni polozhennia zabezpechennia bezpeky pry zniatti z ekspluatatsii atomnykh elektrostantsiy ta doslidnyts'kykh yadernykh reaktoriv], NP 306.2.02/1.004–98, available at: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/z0047-98> (Ukr)
10. The Law of Ukraine “On Legal Regime of the Area Contaminated by the Chernobyl Accident” No. 791a-XII dated 27 February 1991 [Zakon Ukrainy “Pro pravovyy rezhym terytoriyi, shcho zaznala radioaktyvnoho zabrudnennia vnaslidok Chornobyl'skoi katastrofy” vid 27.02.1991 No. 791a-XII], available at: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/791a-12> (Ukr)
11. Protsak, V., Khomutin, Yu., Zhurba, M., Kosarchuk, O., Kashparov, V. (2015), “R&D Report: Radiological Justification of Functional Zoning of the Exclusion Zone to Improve Efficiency of Decommissioning and Transformation of the Shelter into Environmentally Safe System (Final)” [Zvit z naukovo-tekhnichnoi produktsii: Radiolohichne obgruntuвання funktsionalnoho zonuvannia terytorii zony vidchuzhennia dlia pidvyshennia efektyvnosti diialnosti zi zniattia z ekspluatatsii i peretvorennya obiekta “Ukryttia” na ekolohichno bezpechnu systemu (zakliuchnyi)], NUBiP, Kyiv, 71 p. (State Registration No. 0115U003452). (Ukr)
12. Chernobyl NPP Decommissioning Concept [Kontseptsiia zniattia z ekspluatatsii Chornobyl'skoi AES], Slavutych, 2004, 70 p., Inv. No. 35 dated 02 September 2004, 70 p. (Ukr)
13. Levels for Restricted Clearance of Chernobyl NPP Site and Materials from Regulatory Control (Health and Radiation Safety Criteria for the End State of ChNPP Industrial Site during Decommissioning) [Rivni обмеженого звільнення dlia mайдanchyka ChAES i materialiv vid rehuliuuochoho kontroliu (radiatsiino-hihienichni kryterii kintsevoho stanu Promyslovoho mайдanchyka ChAES pry zniatti z ekspluatatsii)], Kyiv, 2008, 15 p., Inv. No. 06352/7. (Ukr)
14. Basic Health and Safety Rules of Radiation Safety in Ukraine [Osnovni sanitarni pravyla zabezpechennia radiatsiinoi bezpeky Ukrainy], available at: <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/z0552-05>

Получено 30.11.2015.