

**ПРОБЛЕМЫ ЯДЕРНОЙ, РАДИАЦИОННОЙ  
И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

УДК 621.311.25.004.7:658.8

**ИНТЕГРАЛЬНАЯ ЛОГИСТИКА В ПРОЕКТЕ ВЫВОДА ИЗ  
ЭКСПЛУАТАЦИИ БЛОКА АЭС**

© 2020 А.И. Берела, С.А. Томилин, А.Г. Федотов, Е.С. Арсентьева

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

В представленной работе рассмотрена интегральная логистика этапа проведения демонтажных работ при выводе из эксплуатации блоков АЭС и целесообразность ее представления в соответствующем проекте. Показаны особенности логистического подхода в организации демонтажных работ и последующих операций обращения с продукцией демонтажа.

*Ключевые слова:* вывод из эксплуатации, блок атомной электрической станции, интегральная логистика, организация демонтажных работ, радиационная безопасность.

Поступила в редакцию 24.08.2020

После доработки 01.09.2020

Принята к публикации 04.09.2020

В работе [1] показано, что разработка проектов вывода из эксплуатации блоков АЭС получает научно-исследовательскую, научно-практическую и нормативно-техническую поддержку в обосновании принимаемых организационно-управленческих, технических и технологических решений. Выдвинуто предложение [2, 3] по повышению эффективности разработки этих решений в проекте вывода из эксплуатации блока АЭС в условиях системного подхода к процессу вывода из эксплуатации в целом, возможность применения которого в определенной мере может быть реализована с привлечением современного аппарата логистики – научной и практической деятельности, связанной с организацией и управлением движения материальных и сопутствующих им информационных потоков.

Логистика задает общее направление оптимизации процесса вывода из эксплуатации блока АЭС с момента подготовки и развертывания демонтажных работ и в совокупности представляет его составляющие в части организации [1, 2, 4-6]:

- 1) материальных потоков на предварительных и преддемонтажных операциях;
- 2) материальных потоков в зоне демонтажных работ с первичной сортировкой демонтированных объектов;
- 3) материальных потоков продукции демонтажа внутри зданий и по примыкающим к ним площадкам территории блока к местам размещения в соответствии с физическим и радиационным состоянием демонтированных объектов;
- 4) размещения отходов на площадках и участках обращения с ними, задействованных в процессе вывода блока АЭС из эксплуатации;
- 5) материальных потоков на местах размещения, при выполнении глубокой сортировки демонтированных объектов;
- 6) материальных потоков радиоактивных отходов, не подлежащих переработке, на захоронение в региональном могильнике;
- 7) материальных потоков перемещения сортированных отходов на участок переработки радиоактивных отходов (РАО);

- 8) материальных потоков перемещения сортированных низкоактивных (НАО) и очень низкоактивных (ОНАО) отходов на площадки временной выдержки (и разделки на фрагменты при необходимости);
- 9) материальных потоков на площадку сбора и подготовки к реализации нерадиоактивных отходов;
- 10) материальных потоков на участке переработки РАО;
- 11) материальных потоков перемещения продуктов переработки РАО на места временного хранения;
- 12) материальных внешних потоков реализации нерадиоактивных отходов, полученных при демонтаже оборудования и металлоконструкций, и условно «чистых» отходов после временного хранения НАО, ОНАО и переработанных РАО;
- 13) материальных потоков локализации высокоактивного оборудования в помещениях реакторного отделения (при необходимости);
- 14) материальных потоков вторичных РАО, создаваемых при проведении подготовительных работ и работ по переработки РАО;
- 15) информационных потоков, сопровождающих материальные потоки, и поступающих от них реверсных информационных потоков.

Перечисленные составляющие, задействованные и организуемые в логистике процесса вывода из эксплуатации, определяются производством демонтажных работ и обращением с продукцией этих работ [1, 3, 4, 7, 8]. Их проработка способствует выработке интегральной логистики процесса вывода из эксплуатации блока АЭС и его оптимизации в наиболее ответственный период проведения демонтажных работ и обращения с продукцией демонтажа. Составляющие 1-3 относятся к той части логистики, которая связана с материальными потоками при производстве демонтажных работ. Они более подробно будут рассмотрены далее в настоящей работе.

Составляющие 4-14 относятся к логистике материальных потоков при производстве работ по обращению с продукцией демонтажа оборудования, металлических и строительных конструкций. Эти составляющие организуются на основании принятых решений в проекте вывода из эксплуатации блока АЭС. Для обращения с продукцией демонтажа проектируется специальное производственное подразделение, в составе которого будут отделения с технологически сложными процессами переработки РАО и отделения с традиционными технологическими процессами перемещения продукции переработки РАО, а также непосредственно продукции демонтажных работ, не подлежащей переработке (кроме возможной разделки на фрагменты, удобные для выполнения операций перемещения).

Логистика применения складов в материальных потоках (в нашем случае в виде организованных площадок временного хранения и перевалки) в достаточной мере проработана [3, 5, 6], частично эти разработки могут быть использованы в проектах вывода из эксплуатации блоков АЭС.

Относительно информационной составляющей 15 необходимо отметить следующее. Она связана с центром управления выводом из эксплуатации и не только позволяет выполнять управление материальными потоками вообще, но и в случае с перемещением демонтированной продукции блока АЭС предоставляет возможность использования информационной функции логистики в учете движения демонтированных радиоактивных объектов, контроль которых в производственном процессе вывода из эксплуатации – обязательное условие обеспечения требований радиационной безопасности работ. Целесообразно в этом случае применение современных информационных технологий, обеспечивающих автоматизированный учет и контроль на всех этапах обращения с радиационно-опасными объектами – от их подготовки к демонтажу до передачи в повторное использование или перевода в категорию РАО для временного хранения или захоронения [1, гл. 6].

Рассмотрим подробнее вопросы организации составляющих 1-3.

1. Материальные потоки на предварительных и преддемонтажных операциях. Требуется обеспечить поступление, по мере необходимости, соответствующего объема дезактивирующих сред и предусмотренного оборудования дезактивации в зону демонтажных работ. После проведения запланированной в проекте вывода из эксплуатации дезактивации оборудования, систем и помещения в рабочей зоне обеспечить организованное перемещение использованных сред в места размещения штатных и (или) дополнительно введенных мощностей обращения с ними, например, таких как упаривание и цементирование жидких радиоактивных отходов. Должна быть подготовлена трасса перемещения, транспортные средства и соответствующая тара.

Другой материальный поток в этот период работ – перемещение отходов, получаемых при разделке проемов из помещений в транспортные коридоры и обустройстве, при необходимости, проемов шлюзами. Полученные отходы могут быть нерадиоактивными и радиоактивными, требующими соответствующего обращения с ними в соответствии с проектными решениями, их транспортирование должно быть обеспечено подъемно-транспортными средствами, контейнерами. Очевидно, что перемещение этих отходов можно встроить в предстоящий материальный поток продукции демонтажных работ, т.е. осуществлять по подготовленным для этого потока трассам и адресам.

Аналогичные соображения следует привести для отходов, возникающих при подготовке трасс перемещения продуктов демонтажных работ (разделка габаритов, усиление строительных конструкций и т.д.).

Объемы и состав представленных материальных потоков могут быть определены в проекте вывода из эксплуатации.

Предварительные и преддемонтажные работы имеют характерную особенность – они трудоемкие и, главное, дозоемкие, так как проводятся при исходном уровне радиационного фона в зоне работ [1, гл. 6]. Поэтому важен организованный логистический подход к этим работам.

2. Материальные потоки в зоне демонтажных работ с первичной сортировкой демонтированных объектов. Продукция демонтажных работ перемещается внутри помещения с места расположения объекта воздействия к проему, ведущему непосредственно или через шлюз к транспортному коридору. Схема перемещения зависит от принятого метода демонтажа в помещении – фронтального, выборочного или выборочно-фронтального [6].

Перемещение продукции демонтажа должно быть обеспечено предусматриваемыми проектом вывода из эксплуатации грузоподъемными и транспортными средствами, включая перегружателями в проемах, в том числе, при необходимости, дистанционно-управляемыми [1, 9]. Габариты продукции демонтажа, включая демонтированное целиком оборудование (без трубной и кабельной обвязки), должны быть согласованы с габаритами трассы перемещения в помещении, проема в нем и техническими возможностями грузоподъемных и транспортных средств. Соответствующие решения прорабатываются в проекте вывода из эксплуатации блока АЭС.

Демонтированная продукция проходит радиационный контроль и в зависимости от уровня и вида активности (радиоактивное загрязнение или наведенная активность) и физических данных (материал, форма) сортируется с размещением в предусмотренную проектом тару (транспортный контейнер, защитный контейнер, поддон, мягкая упаковка) или без такого размещения (например, оборудование, демонтированное целиком), но, при необходимости, с нанесением защитного покрытия.

Все необходимые данные и сведения для организации этой составляющей интегральной логистики размещаются в проекте вывода блока АЭС из эксплуатации.

3. Материальные потоки продукции демонтажа внутри зданий и по примыкающим к ним площадкам территории блока к местам размещения в соответствии с физическим и радиационным состоянием демонтированных объектов. Данные потоки начинаются от проемов помещений, проходят по транспортным коридорам и проемам на разных отметках зданий блока, а также и по территории площадки блока в зависимости от адреса приемного участка или приемной площадки [9].

Выбор и подготовка трасс перемещения должны быть обоснованы и предусмотрены проектом вывода блока АЭС из эксплуатации. Главным условием выбора трасс перемещения является размещение участка (участков) обращения с продукцией демонтажных работ. Например, в качестве мест размещения участков переработки РАО предлагаются подготавливаемые площади машинных залов Белоярской и Ленинградской АЭС [1, 10], а в Германии на АЭС Nord – специально построенный корпус на площадке станции [1].

В российском варианте большая часть потока демонтированной продукции проходит внутри реакторного отделения с выходом на примыкающий к нему машинный зал. Меньшая часть данной продукции, производимая на нулевой и отрицательных строительных отметках, перемещается в железнодорожный коридор (на нулевой отметке) и через него по площадке блока к воротам в машинный зал.

Оба направления трасс перемещения обеспечиваются грузоподъемными и транспортными средствами необходимой мощности, подготовленным дорожным полотном на площадке блока. Перемещаемая продукция находится в таре или без упаковки, т.е. в том виде, в каком она вышла из проема помещения в рабочей зоне демонтажа.

Отходы, непосредственно отправляемые на повторное использование, перемещаются на промежуточное размещение на площадке блока, оборудованной для металлических отходов навесом.

Общая схема материальных потоков в период проведения демонтажных работ показана на рисунке 1. Схема условно масштабирована по отношению к мощности составляющих потока. Схемы такого рода могут отличаться, так как вывод блоков АЭС из эксплуатации может осуществляться по отличающимся вариантам, в том числе по технологии обращения с демонтированным оборудованием и металлоконструкциями.

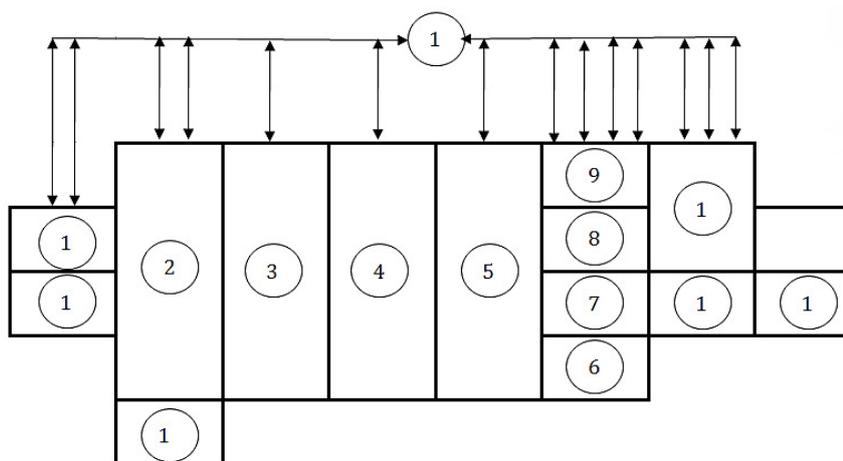


Рисунок 1 – Общая схема материальных потоков в период демонтажных работ: 1-14 – соответствующие составляющие общего материального потока, 15 – информационная составляющая логистики общего материального потока (см. по тексту);  $\longleftrightarrow$  – прямые и обратные информационные потоки от каждой составляющей общего материального потока [General scheme of material flows during the period of dismantling works: 1-14 – the corresponding components of the general material flow, 15 – the information component of the logistics of the general material flow (see text);  $\longleftrightarrow$  – forward and backward information flows from each component of the total material flow]

В проекте вывода из эксплуатации блока АЭС целесообразно разработать позиции или раздел по логистике материальных потоков в период производства демонтажных работ. В таком виде проект будет создавать условия повышения эффективности процесса демонтажных работ. Логистические процедуры совершенствуют технологию демонтажных работ в части согласования:

- темпа и объема материальных потоков с выполнением основных операций (демонтаж, перемещение, переработка отходов и др.);
- массогабаритных, радиационных и других характеристик объектов материального потока с применяемыми средствами технологического оснащения демонтажа и перемещения, процедурами радиационного контроля, операциями обращения с отходами, с габаритными параметрами проемов, коридоров и других составляющих трассы транспортного потока и т.д.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Основы вывода из эксплуатации блоков атомных электрических станций / Б. К. Былкин [и др.]. – Москва : Издательский дом МЭИ, 2019. – 504 с.
2. Берела, А. И. Возможности логистики в обеспечении эффективности и радиационной безопасности производственного процесса вывода из эксплуатации блоков атомных станций / А. И. Берела, С. А. Томилин, А. Г. Федотов // Глобальная ядерная безопасность. – 2019. – № 2(31). – С. 68-75.
3. Берела, А. И. Производственная логистика демонтажных работ при выводе из эксплуатации блоков атомных станций / А. И. Берела, С. А. Томилин, А. Г. Федотов // Глобальная ядерная безопасность. – 2019. – № 3(32). – С. 66-73.
4. Берела, А. И. Основные принципы разработки конкурентноспособных проектов демонтажных работ при выводе из эксплуатации блоков атомных станций / А. И. Берела, С. А. Томилин, А. Г. Федотов // Известия Московского государственного технического университета МАМИ. – 2015. – Т. 5. – № 4(26). – С. 191-195.
5. Гаджинский, А. М. Логистика : учебник / А. М. Гаджинский. – Москва : Издательско-торговая корпорация «Дашков и К<sup>о</sup>», 2009. – 484 с.
6. Иванов, Ю. М. Логистика : учебное пособие / Ю. М. Иванов, М. Б. Иванова. – Москва : РИОР, 2006. – 91 с.
7. Берела, А. И. Анализ и представление среды действия в системе проектирования технологии демонтажа оборудования при выводе из эксплуатации блока АЭС / А. И. Берела, Б. К. Былкин, С. А. Томилин, А. Г. Федотов // Глобальная ядерная безопасность. – 2014. – № 1(10). – С. 25-31.
8. Берела, А. И. Оптимизационные аспекты проектирования технологического процесса демонтажа оборудования при выводе из эксплуатации блока атомной станции / А. И. Берела, Б. К. Былкин, В. А. Шапошников // Тяжелое машиностроение. – 2004. – № 6. – С. 9-14.
9. Берела, А. И. Технологическое оборудование, применяемое в работах по выводу из эксплуатации блоков АЭС / А. И. Берела, А. Г. Федотов, С. А. Томилин // Глобальная ядерная безопасность. – 2013. – № 1(6). – С. 58-66.
10. Былкин, Б. К. К разработке в проекте АС вопросов демонтажа оборудования на стадии вывода из эксплуатации блока / Б. К. Былкин, А. И. Берела, И. И. Копытов // Теплоэнергетика. – 2006. – № 6. – С. 68-72.

#### REFERENCES

- [1] Bylkin B.K. [et al.] Osnovy vyvoda iz ekspluatatsii blokov atomnykh elektricheskikh stantsiy [Basics of Decommissioning Units of Nuclear Power Plants]. Moskva: Izdatel'skiy dom MEI [Moscow: MPEI Publishing House]. 504 p. (in Russian).
- [2] Berela A.I., Tomilin S.A., Fedotov A.G. Vozmozhnosti logistiki v obespechenii effektivnosti i radiacionnoj bezopasnosti proizvodstvennogo processa vyvoda iz ekspluatatsii blokov atomnykh stantsij [Logistics Capabilities in Ensuring the Efficiency and Radiation Safety of the Production Process of Decommissioning of Nuclear Power Units]. Global'naya yadernaya bezopasnost' [Global Nuclear Safety]. 2019. № 2(31). P. 68-75 (in Russian).
- [3] Berela A.I., Tomilin S.A., Fedotov A.G. Proizvodstvennaya logistika demontazhnykh rabot pri vyvode iz ekspluatatsii blokov atomnykh stantsiy [Industrial Logistics of Dismantling Works during

- Decommissioning of Nuclear Power Plants]. *Global'naya yadernaya bezopasnost'* [Global Nuclear Safety]. 2019. № 3(32). P. 66-73 (in Russian).
- [4] Berela A.I., Tomilin S.A., Fedotov A.G. Osnovnyye printsipy razrabotki konkurentnosposobnykh proyektov demontazhnykh rabot pri vyvode iz ekspluatatsii blokov atomnykh stantsiy [Basic Principles of Developing Competitive Projects for Dismantling Works during Decommissioning of Nuclear Power Plants]. *Izvestiya Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta MAMI* [Bulletin of the Moscow State Technical University MAMI]. 2015. T.5. № 4(26). P. 191-195.
- [5] Gadzhinskiy A.M. Logistika: uchebnik [Logistics: textbook]. Moskva: Izdatel'sko-torgovaya korporatsiya «Dashkov i K<sup>o</sup>» [Moscow: Publishing and Trade Corporation «Dashkov and K<sup>o</sup>»]. 2009. 484 p.
- [6] Ivanov Y.U. M. Logistika: uchebnoye posobiye [Logistics: tutorial]. Moskva: RIOR [Moscow: RIOR]. 2006. 91 p.
- [7] Berela A.I., By'lkin B.K., Tomilin S.A., Fedotov A.G. Analiz i predstavlenie sredey` dejstviya v sisteme proektirovaniya tekhnologii demontazha oborudovaniya pri vy`vode iz e`kspluatatsii bloka AE`S [Analysis and Representation of the Environment of Action in the Design System of Dismantling Equipment during Decommissioning of the NPP Unit]. *Global'naya yadernaya bezopasnost'* [Global Nuclear Safety]. 2014. № 1(10). P. 25-31(in Russian).
- [8] Berela A.I., By'lkin B.K., Shaposhnikov V.A. Optimizacionny`e aspekty` proektirovaniya tekhnologicheskogo processa demontazha oborudovaniya pri vy`vode iz e`kspluatatsii bloka atomnoj stantsii [Optimization Aspects of the Design Process of Dismantling Equipment during Decommissioning of Nuclear Power Plant Unit]. *Tyazheloe mashinostroenie* [Heavy Engineering]. 2004. №6. P. 9-14 (in Russian).
- [9] Berela A.I., Fedotov A.G., Tomilin S.A. Tekhnologicheskoe oborudovanie, primenyaemoe v rabotax po vy`vodu iz e`kspluatatsii blokov AE`S [Technological Equipment Used in the Decommissioning of NPP Units]. *Global'naya yadernaya bezopasnost'* [Global Nuclear Safety]. 2013. № 1(6). P. 58-66 (in Russian).
- [10] By'lkin B.K., Berela A.I., Kop`y'tov I.I. K razrabotke v projekte AS voprosov demontazha oborudovaniya na stadii vyvoda iz ekspluatatsii bloka [Development of Equipment Dismantling Issues at the Stage of the Unit Decommissioning in the NPP Project]. *Teploenergetika* [Thermal Engineering]. 2006. № 6. P. 68-72 (in Russian).

### **Integral Logistics in NPP Unit Decommissioning Project**

**A.I. Berela<sup>1</sup>, S.A. Tomilin<sup>2</sup>, A.G.Fedotov<sup>3</sup>, E.S. Arsenteva<sup>4</sup>**

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

<sup>1</sup>*e-mail: berelaleks@yandex.ru*

<sup>2</sup>*ORCID iD: 0000-0001-8661-8386*

*Wos Researher ID: G-3465-2017*

*e-mail: SATomilin@mephi.ru*

<sup>3</sup>*e-mail: AGFedotov@mephi.ru*

<sup>4</sup>*ORCID iD: 0000-0002-4599-4569*

*ESArsenteva@mephi.ru*

**Abstract** – The paper considers the integral logistics of the dismantling work stage during the decommissioning of NPP units and the feasibility of its presentation in the corresponding project. The features of the logistic approach to the organization of dismantling works and subsequent operations of handling dismantled products are shown.

**Keywords:** decommissioning, nuclear power plant unit, integrated logistics, organization of dismantling works, radiation safety.