
**ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОБЪЕКТОВ
АТОМНОЙ ОТРАСЛИ**

УДК 621.311.25.004.7:658.8

**ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ЛОГИСТИКА ДЕМОНТАЖНЫХ РАБОТ
ПРИ ВЫВОДЕ ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ БЛОКОВ АТОМНЫХ
СТАНЦИЙ**

© 2019 А.И. Берела, С.А. Томилин, А.Г. Федотов

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

В представленной работе рассмотрены возможности использования производственной логистики в монтажных работах при выводе из эксплуатации блоков атомных электрических станций. Показано преимущество логистического подхода в организации монтажных работ, взаимосвязанных с последующими операциями обращения с продукцией монтажа.

Ключевые слова: вывод из эксплуатации, блок атомной электрической станции, производственная логистика, организация монтажных работ, радиационная безопасность.

Поступила в редакцию 03.09.2019

После доработки 05.09.2019

Принята к публикации 10.09.2019

В работе [1] отмечено, что разработка и реализация проектов вывода из эксплуатации блоков атомных электрических станций (АЭС) получают научно-исследовательскую, научно-практическую и нормативно-правовую поддержку в обосновании принимаемых организационно-управленческих, технических и технологических решений, эффективность которых может быть реальной только в условиях системного подхода к процессу вывода из эксплуатации в целом. Такая систематизация может быть проведена в рамках логистического подхода, зарекомендовавшего себя в качестве современного инструмента управления экономикой, производством, бизнесом.

Логистические процедуры повысят эффективность производственного процесса вывода блока АЭС из эксплуатации, но следует понимать, что логистическая концепция организации этого производства в целом имеет ограничения, так как ее преимущество в наибольшей мере проявляется в условиях диктата изменчивого рыночного спроса [2], а при выводе блока из эксплуатации действует традиционная плановая «жесткая» организация производства с минимальной количественной и качественной гибкостью.

Производственная логистика регулирует прохождение материального потока через производственное звено. Целью производственной логистики является оптимизация материальных потоков внутри предприятий, а в рассматриваемом случае – на блоке АЭС с производственным процессом монтажных работ.

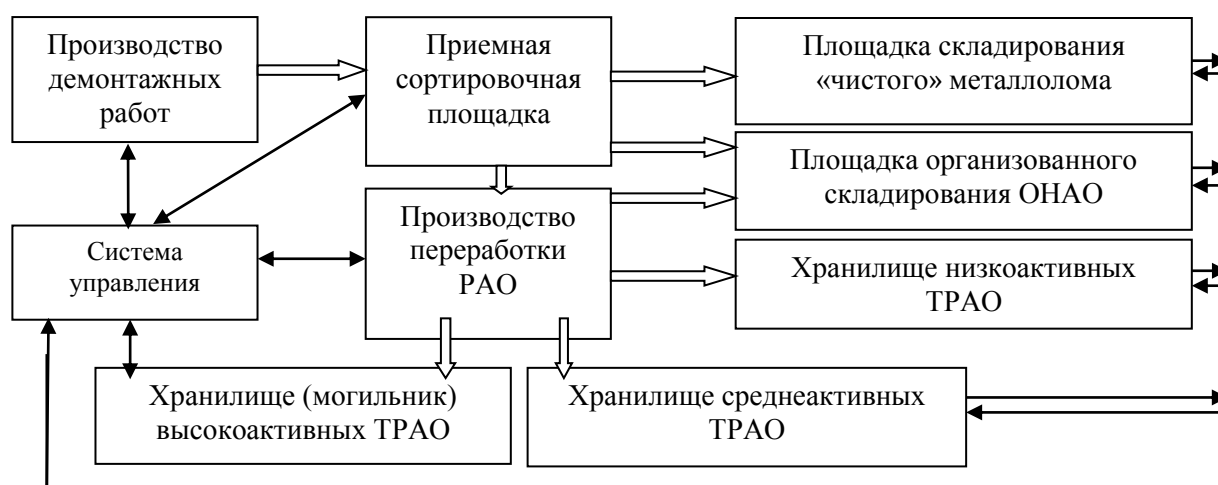
В отличие от традиционной логистики развитых материальных потоков в рассматриваемой ситуации отсутствует снабженческая составляющая, о чем было заявлено в работе [1]. Кроме того, участников такого производственного логистического процесса связывают внутрипроизводственные отношения, а не товарно-денежные, как в логистике на макроуровне. Характерные особенности присущи и распределительной логистике монтажных работ, она в малой мере ориентируется на спрос потребителя (только в части продажи «чистых» металлоотходов в качестве металлолома металлургическим предприятиям), а в большей

мере регулируется нормативными требованиями к хранению и захоронению радиоактивных отходов (РАО).

Таким образом, логистика производства монтажных работ при выводе из эксплуатации блоков АЭС будет несколько ограниченной по сравнению с ее традиционным применением, однако большинство функций и процедур логистики останутся действенными и полезными в управлении данными работами.

Характер управления материальным потоком в производственном процессе вывода из эксплуатации блока АЭС в соответствии с представлениями логистики [2] следует отнести к «толкающему» типу, когда объемы и темпы перемещения задаются начальным звеном логистической цепочки. В нашем случае это звено – монтаж оборудования (включая металлоконструкции) в помещениях блока.

Схема управления материальным потоком данного типа, представляемая в логистике [2] и адаптированная к условиям монтажных работ на блоке АЭС, показана на рисунке 1.



Условные обозначения: \Rightarrow – материальный поток; \longleftrightarrow – информационный поток

Рисунок 1 – Схема «толкающей» системы управления материальным и информационным потоками монтажных работ при выводе из эксплуатации блока АЭС [The scheme of the «pushing» system of management of material and information flows of dismantling works during the NPP unit decommissioning]

С позиций логистики [2] управление производственным процессом монтажных работ в условиях вывода из эксплуатации блока АЭС заключается в эффективном (с точки зрения снижения затрат и обеспечения нормативных требований к продукции работ) управлении материальными потоками в технологических процессах подготовки и проведения монтажных работ и в последующем обращении с демонтированными объектами. При этом большое значение имеют обычные логистические решения по календарному планированию, минимизации уровня незавершенного производства, сокращению длительности производственного цикла и т.п.

Эффективность логистики в управлении материальными потоками производства проявляется благодаря созданию системы его функционирования [2]. В системном подходе для достижения конечной цели осуществляется последовательный переход от общего к частному. Этапы формирования системы для производственного процесса вывода из эксплуатации блока АЭС выглядят следующим образом.

На *первом этапе* выделяются цели функционирования системы. Они заданы программой и проектом вывода блока АЭС из эксплуатации, а именно – площадка блока освобождается от радиоактивности и соответственно контролируется надзорными органами и переводится в состояние, пригодное для промышленного использования эксплуатирующей организацией.

На *втором этапе* на основании анализа указанной цели, требований нормативной документации к процессу вывода из эксплуатации и ресурсных ограничений [3-6]

формулируются условия, которым должна удовлетворять система. В нашем случае [6-9] система должна участвовать в обеспечении технологических процессов:

- демонтажа радиоактивного оборудования, металлических и строительных конструкций с приемлемыми дозовыми и ресурсными затратами;
- перемещения демонтированных объектов по блоку в рабочие зоны последующего обращения с ними;
- обращения с демонтированными объектами на площадке временного хранения, в подразделения переработки и кондиционирования РАО, на участке подготовки к утилизации в качестве металлолома и др.;
- обращения с вторичными радиоактивными отходами (сопутствующими основным операциям демонтажа и переработки РАО);
- перемещения переработанных и кондиционированных РАО, в том числе вторичных, в штатные и специальные места временного хранения и захоронения (при наличии последних) на площадке блока;
- организованного хранения подготовленных отходов повторного использования («чистых», условно «чистых», очень низкоактивных (ОНАО)).

На *третьем этапе* на базе этих условий формируются соответствующие подсистемы.

Четвертый этап. Синтез системы: анализ различных вариантов и выбор подсистем, организация их в единую систему. При этом используются критерии выбора, приоритетные в них – радиационная и экологическая безопасность при минимизации ресурсных затрат [9, 10].

Схема генерации системы интегральной логистики управления материальным потоком в производственном процессе демонтажных работ при выводе из эксплуатации блока АЭС показана на рисунке 2.

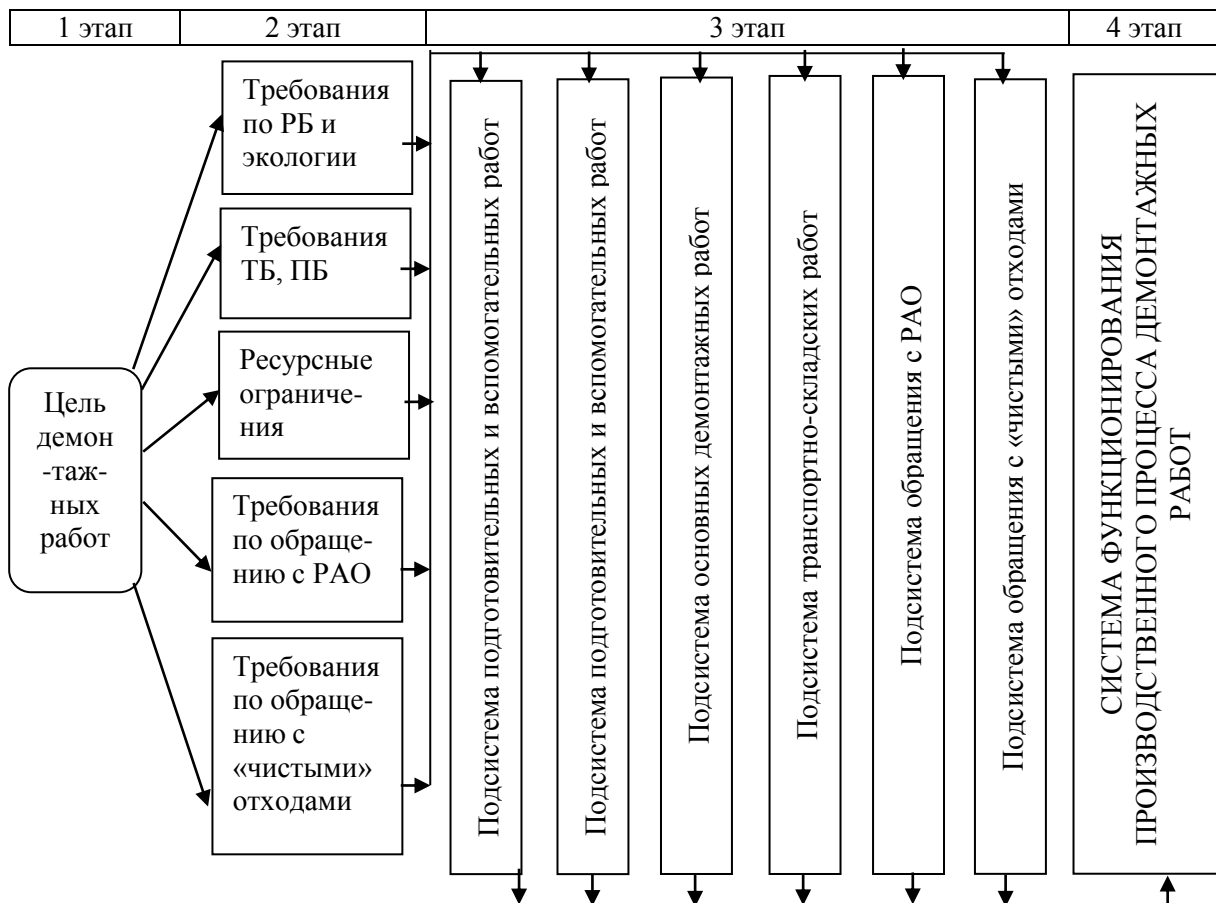


Рисунок 2 – Формирование системы функционирования производственного процесса демонтажных работ [Formation of functioning system of dismantling work production process]

Исходя из общей (интегральной) логистики управление материальным потоком производственного процесса монтажных работ в рамках сформированной системы осуществляется при взаимодействии логистических процедур в следующих областях:

- предмонтажных подготовительных и вспомогательных работ (с привлечением в поток вспомогательных материалов и объектов);
- непосредственно монтажных работ (с межоперационным материальным потоком);
- перемещений продукции монтажных работ из рабочих зон монтажа в рабочие зоны обращения с РАО, ОНАО и металлоломом из «чистых» отходов;
- промежуточного (временного) складирования продукции монтажа перед операциями последующего обращения с ними;
- обращения с РАО, ОНАО и металлоломом из «чистых» отходов (также с межоперационным материальным потоком);
- распределения продукции монтажа после операций обращения с ней по условным «потребителям», которые представляются временными хранилищами низко-, средне и высокоактивных РАО на блоке, региональными могильниками высокоактивных РАО (в перспективе), организованными на территории блока площадками хранения, перевалки и сбыта в качестве металлолома условно «чистых» и ОНАО;
- информационных потоков, сопровождающих материальные потоки и реализующих обратные связи в управлении потоками в производственном процессе монтажных работ.

В целом, объем, и номенклатура монтажных работ определяется проектом вывода из эксплуатации блока АЭС, а конкретное выполнение монтажа оборудования – набором типовых и единичных технологических процессов. В этот набор войдут и технологические процессы подготовительных предмонтажных работ. Кроме того, ряд операций подготовительного и вспомогательного характера будет непосредственно в составе типовых и единичных технологических процессов. Соответственно соображения по применению логистических процедур относятся к разработке структуры, оснащения, режимов и параметров технологических процессов, действующих в указанных областях, а в дальнейшем к их реализации.

Какие технологические и организационно-технические решения должны проходить эти процедуры?

1. Применение средств технологического оснащения (СТО) как основного, используемого при монтаже и фрагментации оборудования и металлоконструкций [11], так и вспомогательного – грузоподъемного, транспортно-перегрузочного (в границах рабочей зоны монтажа) и др. Сущность технологического решения в этом случае состоит в возможности выполнения технологических операций монтажа (основных и вспомогательных) с учетом влияния физико-механических свойств конструкционного материала на процесс разделки объектов, конфигурации объектов, способа их установки, технической характеристики применяемых грузоподъемных средств, размеров монтажных или дверных проемов в рабочей зоне, массогабаритных параметров демонтированных объектов (целиком или фрагментами) и т.д.

Прохождение логистической процедуры должно обеспечить движение материального потока в технологическом процессе монтажа объектов в рабочей зоне с применением выбранных основных и вспомогательных СТО: объекты монтажа перемещаются в рабочей зоне с размещением в контейнере, поддоне (или в мягкой упаковке) или без их применения с передачей через дверной или монтажный проем в транспортный коридор блока. При этом массогабаритные размеры объекта перемещения соответствуют техническим характеристикам применяемого штатного

или специального грузоподъемного и транспортного оборудования, а также габаритным параметрам путей перемещения в рабочей зоне. Кроме того массогабаритные параметры продукции демонтажа должны проходить процедуру определения соответствия условиям и требованиям их перемещения по транспортным маршрутам блока и операциям последующего обращения с ними (переработка и кондиционирование РАО, ОНАО, подготовка металлолома и др.). Демонтированная продукция должна маркироваться и соответственно идентифицироваться на всех этапах ее перемещения.

2. Обустройство дверных и монтажных проемов и, при необходимости, шлюзов на выходе из рабочих зон с высоким уровнем радиационного фона – обязательное условие функционирования транспортного потока демонтированных объектов. Такое обустройство в технологическом плане решает проблему передачи продукции демонтажа из рабочей зоны в зону ее дальнейшего перемещения по блоку в соответствии с технологией последующего обращения с ней. В логистическом плане данное обустройство должно формировать трассу транспортного потока на блоке, соответствующую архитектуре зданий блока, массогабаритным параметрам демонтированных объектов, применяемым техническим средствам перемещения, размещению на блоке рабочих зон последующего обращения с продукцией демонтажа.

3. Последовательность демонтажных работ по помещениям, в помещении и на конкретном объекте определяет их рациональный ход с учетом влияния таких факторов, как минимизация дозовых затрат, техническая возможность выполнения демонтажной операции и перемещения продукции демонтажа, применение производительного механизированного и роботизированного технологического оборудования и др. [6–9].

Анализ принимаемого технологического решения по последовательности демонтажных работ с использованием логистических процедур необходим для управления транспортным потоком продукции демонтажных работ в рабочей зоне: трассирования маршрутов ее перемещения с выходом из рабочей зоны, применения соответствующего условиям трасс технических средства перемещения. Последовательность демонтажных работ не должна создавать препятствия последующего использования штатных или специальных средств перемещения, коридоров, проемов блока на маршруте к рабочим зонам дальнейшего обращения с продукцией демонтажа. Таким образом, гармонизируется технология перемещения в рабочей зоне демонтажа и за ее пределами в здании блока.

4. Согласование (гармонизация) выходных массогабаритных и радиационно-физических параметров демонтированных объектов с операциями их упаковки, контейнеризации, перемещения, промежуточного хранения, переработки и др. Данная логистическая процедура естественно вписывается в процесс принятия соответствующих технологических решений, она отсекает те из них, которые приведут к усложнению управления транспортным потоком, например, введению дополнительных операций перегрузки с заменой транспортных средств, использованию вспомогательных площадей для такого рода операций и т.д.

5. Трассы перемещения продукции демонтажа в зданиях и на территории блока. Технологические и логистические аспекты решений по трассам перемещения взаимосвязаны, сами решения принимаются при разработке проекта вывода из эксплуатации блока АЭС. Трассы должны в максимальной мере организовываться в соответствии с архитектурой блока и его оснащением штатной грузоподъемной и транспортной техникой [12]. Это позволит минимизировать ресурсные расходы, в том числе временные, на организацию и выполнение материальных потоков. Доработки на трассе строительного характера (расширение существующих и обустройство новых проемов, усиление строительных конструкций и т.д.) должны быть логистически

обоснованы. Изменения по трассе в техническом плане (в части замены штатных или применения дополнительных грузоподъемных и транспортных средств) ограничены прочностью строительных конструкций.

6. Применение тары в производственном материальном потоке. Если в логистике применение тары в материальных потоках рассматривается с позиции удобства, технологичности и сохранности перемещения продукции, а также стимулирования спроса на нее за счет привлекательности упаковки, то в производственном процессе монтажных работ использование тары необходимо для повышения уровня технологичности материального потока и, главным образом, для обеспечения радиационной и экологической безопасности. Таким образом, использование логистических процедур в вопросе применения тары (упаковки) в материальном потоке продукции монтажных работ ограничено факторами обеспечения безопасности.

7. Некоторые организационно-технические решения в ходе подготовки проекта вывода из эксплуатации блока АЭС попадают в область типовой для логистики задачи – «сделать или купить». Такая задача возникает, например, при выборе исполнителей работ – в рамках персонала АЭС или со стороны, при использовании СТО – ранее применяемых в ремонтных работах на блоке или специальных и закупаемых, при организации рабочих зон обращения с продукцией монтажа – в зданиях блока или специально построенных и т.д.

Таким образом, повышению эффективности производственного процесса монтажных работ при выводе из эксплуатации блока АЭС способствует применение логистических процедур управления образующимися материальными потоками. Логистические процедуры совершенствуют технологический процесс монтажа оборудования, металлических и строительных конструкций в части согласования темпа и объема материального потока с основными операциями (демонтаж, перемещение, переработка отходов и др.), массогабаритных, радиационных и других характеристик объектов материального потока с применяемыми СТО монтажа, перемещения, переработки отходов, габаритными параметрами проемов, коридоров и других составляющих трассы транспортного потока и т.д. Исходя из представленных выше соображений по применению логистических процедур, их следует внедрить в процессе разработки проекта вывода из эксплуатации блока АЭС, в первую очередь – технологической части проекта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *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.
2. *Гаджинский, А. М.* Логистика / А. М. Гаджинский. – Москва : Издательско-торговая корпорация «Дашков и К°», 2009. – 484 с.
3. СП 2.6.1.2205-07. Санитарные правила «Обеспечение радиационной безопасности при выводе из эксплуатации блока атомной станции». – Москва, 2007.
4. НП-012-16. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии «Правила обеспечения безопасности при выводе из эксплуатации блока атомной станции». – Москва : Федеральная служба по экологическому, техническому и атомному надзору, 2016.
5. *Томилин, С. А.* Особенности проектирования монтажа оборудования блоков атомных станций с учетом нормативного регулирования их вывода из эксплуатации / С. А. Томилин, А. И. Берела, Н. Н. Подрезов, А. Г. Федотов // Глобальная ядерная безопасность. – 2017. – № 1(22). – С. 59-67.
6. *Берела, А. И.* Адаптация технологии монтажа оборудования выводимых из эксплуатации блоков АЭС к требованиям радиационной безопасности / А. И. Берела, Б. К. Былкин, С. А. Томилин, А. Г. Федотов // Инженерный вестник Дона. – 2014. – № 2 (29). – URL : ivdon.ru/magazine/archive/n2y2014/2416 (дата обращения: 30.01.2019).

7. Берела, А. И. Разработка технологических процессов демонтажа оборудования при выводе из эксплуатации атомных станций / А. И. Берела, А. Г. Федотов, С. А. Томилин, Б. К. Былкин // Инженерный вестник Дона. – 2013. – № 2 (25). – URL : ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1734 (дата обращения: 12.02.2019).
8. Берела, А. И. Выбор значений параметров технологического процесса демонтажа оборудования блоков АЭС, выводимых из эксплуатации / А. И. Берела, Б. К. Былкин, С. А. Томилин, А. Г. Федотов // Глобальная ядерная безопасность. – 2013. – № 3(8). – С. 60-64.
9. 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.
10. Берела, А. И. Основные принципы разработки конкурентоспособных 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.
11. 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.
12. 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.

REFERENCES

- [1] Berela A.I., Tomilin S.A., Fedotov A.G. Vozmozhnosti logistiki v obespechenii e`ffektivnosti i radiacionnoj bezopasnosti proizvodstvennogo processa vy`voda iz e`kspluatcii blokov atomny`x stancij [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. (in Russian).
- [2] Gadzhinskij, A.M. Logistika [Logistics: Textbook]. Moscow. Izdatel`sko-torgovaya korporaciya «Dashkov i K°» [Dashkov and K° Publishing and Trade Corporation]. 2009. 484 p. (in Russian).
- [3] SP 2.6.1.2205-07. Sanitarny`e pravila «Obespechenie radiacionnoj bezopasnosti pri vy`vode iz e`kspluatcii bloka atomnoj stancii» [Sanitary Rules «Ensuring Radiation Safety during Decommissioning of Nuclear Power Plant Unit»]. Moscow. 2007. (in Russian).
- [4] NP-012-16. Federal`ny`e normy` i pravila v oblasti ispol`zovaniya atomnoj e`nergii «Pravila obespecheniya bezopasnosti pri vy`vode iz e`kspluatcii bloka atomnoj stancii» [Federal Rules and Regulations in the Field of Atomic Energy Use «Rules for Ensuring Safety during Decommissioning of Nuclear Power Plant Unit»]. Moscow. Federal`naya sluzhba po e`kologicheskomu, texnicheskomu i atomnomu nadzoru [Federal Service for Environmental, Technical and Nuclear Supervision]. 2016 (in Russian).
- [5] Tomilin S.A., Berela A.I., Podrezov N.N., Fedotov A.G. Osobennosti proektirovaniya demontazha oborudovaniya blokov atomny`x stancij s uchetom normativnogo regulirovaniya ix vy`voda iz e`kspluatcii [Features of the Design of Dismantling the Equipment of Nuclear Power Units Taking into Account the Regulatory Regulation of their Decommissioning]. Global`naya yadernaya bezopasnost` [Global Nuclear Safety]. 2017. № 1(22). P. 59-67 (in Russian).
- [6] Berela A.I., By`lkin B.K., Tomilin S.A., Fedotov A.G. Adaptaciya texnologii demontazha oborudovaniya vy`vodimy`x iz e`kspluatcii blokov AE`S k trebovaniyam radiacionnoj bezopasnosti [Adaptation of the Technology of Dismantling the Equipment of Decommissioned NPP Units to the Requirements of Radiation Safety]. Inzhenerny`j vestnik Dona [Engineering Herald of the Don]. 2014. № 2 (29). URL: ivdon.ru/magazine/archive/n2y2014/2416 (in Russian).
- [7] Berela A.I., Fedotov A.G., Tomilin S.A., By`lkin B.K. Razrabotka texnologicheskix processov demontazha oborudovaniya pri vy`vode iz e`kspluatcii atomny`x stancij [Development of Technological Processes for Dismantling Equipment during Decommissioning of Nuclear Power Plants]. Inzhenerny`j vestnik Dona [Engineering Herald of the Don]. 2013. № 2 (25). URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1734 (in Russian).
- [8] Berela A.I., By`lkin B.K., Tomilin S.A., Fedotov A.G. Vy`bor znachenij parametrov texnologicheskogo processa demontazha oborudovaniya blokov AE`S, vy`vodimy`x iz e`kspluatcii [Choice of the Values of the Parameters of the Technological Process of Dismantling the Equipment

- of Decommissioned NPP Units]. *Global'naya yadernaya bezopasnost'* [Global Nuclear Safety]. 2013. № 3(8). P. 60-64 (in Russian).
- [9] Berela A.I., Bylkin B.K., Shaposhnikov V.A. Optimizacionny`e aspekty` proektirovaniya tekhnologicheskogo processa demontazha oborudovaniya pri vy`vode iz e`kspluatacii bloka atomnoj stancii [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).
- [10] Berela A.I., Tomilin S.A., Fedotov A.G. Osnovny`e principy` razrabotki konkurentosposobny`x proektov demontazhny`x rabot pri vy`vode iz e`kspluatacii blokov atomny`x stancij [Basic Principles for the Development of Competitive Dismantling Projects during Decommissioning of Nuclear Power Units]. *Izvestiya Moskovskogo gosudarstvennogo texnicheskogo universiteta MAMI* [News of Moscow State Technical University MAMI]. 2015. Vol. 5. № 4 (26). P. 191-195 (in Russian).
- [11] Berela A.I., Fedotov A.G., Tomilin S.A. Tekhnologicheskoe oborudovanie, primenyaemoe v rabotax po vy`vodu iz e`kspluatacii 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).
- [12] Berela A.I., Bylkin B.K., Tomilin S.A., Fedotov A.G. Analiz i predstavlenie srede` dejstviya v sisteme proektirovaniya tekhnologii demontazha oborudovaniya pri vy`vode iz e`kspluatacii 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).

Production Logistics of Dismantling Works in the NPP Unit Decommissioning

A.I. Berela¹, S.A. Tomilin², A.G. Fedotov³

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

¹*e-mail: berelaleks@yandex.ru*

²*ORCID iD: 0000-0001-8661-8386*

Wos Researher ID: G-3465-2017

e-mail: SATomilin@mephi.ru

³*e-mail: AGFedotov@mephi.ru*

Abstract – The article considers the possibilities of using production logic in dismantling works during the decommissioning of nuclear power plant units. The advantage of the logistic approach in the organization of dismantling works interconnected with the subsequent operations of handling dismantling products is shown.

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