



УДК: 621.039

DOI: 10.26277/SECNRS.2025.115.1.003

© 2025. Все права защищены.

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ВЫВОДУ ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭНЕРГБЛОКОВ АЭС НА ПРОМЫШЛЕННОЙ ОСНОВЕ

Сафронова Н. Н.*, канд. экон. наук (safronova_nn@accni.ru)

Статья поступила в редакцию 27 января 2025 г.

Аннотация

Рассмотрены вопросы создания унифицированных технологий, оборудования и методик, инвариантных к оригинальным проектно-конструкторским и конкретным особенностям в ходе эксплуатации реакторных установок, в аспектах проблемы массового вывода из эксплуатации энергоблоков АЭС первых поколений и показаны пути ее решения. Предложено, наряду с традиционными приемами вывода из эксплуатации энергоблоков АЭС после исчерпания ресурса, сформировать методологию ликвидации энергоблоков на основе промышленных унифицированных технологий и оригинального серийного производственного процесса. При формировании методологии массового промышленного вывода из эксплуатации АЭС предложено ориентироваться на процессы, относящиеся к развитию и созданию замкнутого цикла переработки металлических и иных отходов атомной отрасли, обеспечивающего возврат в атомную индустрию вторичных продуктов переработки. В основе этой методологии лежит современная тенденция к рациональному природопользованию на принципах сохранения ресурсов, энергетической эффективности, энергосбережения. Промышленные унифицированные технологии и средства для их реализации, обладающие общностью для применения к типовым ядерным энергетическим установкам, позволят в перспективе усилить эффект конверсии производственных площадок АЭС, оптимизировать работы и затраты на вывод из эксплуатации энергоблоков АЭС и в итоге обеспечат наиболее рациональную ликвидацию негативных последствий длительной эксплуатации АЭС. Новые технические решения по выводу из эксплуатации энергоблоков АЭС на промышленной основе, на базе технологий серийного машиностроения с высокой степенью автоматизации процессов и применения робототехнических комплексов, могут служить улучшению нормативной документации по безопасности для завершающего этапа жизненного цикла АЭС.

В качестве научно-методической основы и концепции промышленного вывода из эксплуатации энергоблоков АЭС используются существующая нормативная база, проектно-целевой подход для безопасности сложных технических систем, стандарты управления качеством ядерных энергетических установок и энергетических систем.

► **Ключевые слова:** атомная отрасль, вывод из эксплуатации, энергоблоки АЭС, ликвидация, методология, промышленные технологии, качество, переработка отходов, замкнутый цикл.

* Ассоциация организаций строительного комплекса атомной отрасли (АСКАО), Москва, Россия.

SCIENTIFIC AND METHODOLOGICAL APPROACHES TO DECOMMISSIONING OF NUCLEAR POWER PLANT UNITS ON AN INDUSTRIAL BASIS

Safronova N. N.*, Ph. D.

The article was received by the editors' crew on January 27th, 2025.

Abstract

The issues of creating unified technologies, equipment and techniques that are invariant to the original design & engineering and specific features in the course of operation of reactor installations have been studied within the aspects of the problem of mass decommissioning of first-generation NPP power units together with demonstration of the ways to solve it. Along with the traditional methods of NPP power units decommissioning after the expiry of their lifetime, it is proposed to create a methodology for liquidation of the NPP power units based on the unified industrial technologies and the original process of serial production. For creation of the methodology for mass industrial decommissioning of NPPs, it is proposed to focus on the processes related to the development and implementation of a closed-loop cycle for processing of metal and other waste from the nuclear industry, ensuring the return of secondary recycled products to the nuclear industry. The methodology is underpinned by the current trend towards the rational use of natural resources based on the principles of resource conservation, energy efficiency and energy preservation. The unified industrial technologies and the means for their implementation will make it possible in the future to increase the conversion effect of NPP production sites, optimize operation and costs for decommissioning of NPP power units, and, finally, ensure the most rational elimination of the negative consequences of long-term operation of NPP power units. New technical solutions for decommissioning of NPP power units on an industrial basis, relying upon serial engineering technologies with a high degree of automation of processes and the use of robotic systems, can contribute to improving of safety regulations at the final stage of NPP life cycle.

The existing regulatory framework, the design and target approach to ensuring the safety of complex technical systems, and quality control standards for nuclear power installations and energy systems shall be used as the scientific and methodological basis and concept for the industrial decommissioning of NPP power units.

► **Keywords:** *nuclear industry, decommissioning, NPP power units, liquidation, methodology, industrial technologies, quality, waste processing, closed-loop cycle.*

* Association of Organizations of the Nuclear Industry Construction Complex (ASKAO), Moscow, Russia.

Введение

В период интенсивного развития атомной энергетики в нашей стране и за рубежом было спроектировано, построено и введено в эксплуатацию значительное число энергетических ядерных реакторов. К настоящему моменту многие из них исчерпали свой ресурс безопасной работы, даже с учетом обоснованного продления их первоначально назначенных проектных сроков эксплуатации.

В сложившейся ситуации является своевременным и необходимым рассмотреть на новом качественном уровне проблему массового вывода из эксплуатации и ликвидации исчерпавших свой ресурс энергоблоков АЭС. В этой связи к текущему моменту актуальной, имеющей существенный экономический аспект и физико-технологическую новизну является задача создания набора типовых (стандартных) технологий, оборудования, методик и подходов, инвариантных к оригинальным проектно-конструкторским и конкретным особенностям типовых реакторных установок энергоблоков АЭС, важных для формирования индустриальной унифицированной технологии их массового вывода из эксплуатации. В этом отношении инженерно-технологические задачи практического демонтажа оборудования, агрегатов и крупногабаритных конструкций, безопасной ликвидации последствий промышленной работы энергоблоков АЭС, включая работы по дезактивации конструктивных элементов и строительных конструкций энергоблоков, их разрушение и фрагментацию, подготовку для утилизации или переработку таких фрагментов, по обращению с технологическими отходами, включая опасные радиационные и другие работы по охране труда и обеспечению экологической безопасности, представляют собой оригинальный комплекс новых научных проблем, которые пока не имеют своего окончательного решения.

Проблему массового вывода из эксплуатации исчерпавших свой ресурс энергоблоков АЭС, в том числе их зданий и сооружений, можно решать несколькими способами: путем демонтажа, дезактивации, замены энергетического оборудования, модернизации строительных конструкций для последующего их использования или разрушения и полной ликвидации с утилизацией радиоактивных и промышленных отходов на месте. Возможен также путь восстановления исходного состояния строительных площадей для существующих и исчерпавших свой ресурс энергоблоков АЭС за счет удаления отходов демонтажа оборудования и со-

оружений, их последующего захоронения и проведения реабилитационных мероприятий.

В общем случае вывод из эксплуатации энергоблока АЭС, как определено в ряде нормативных документов регулятора и рекомендациях МАГАТЭ, заключается в безопасном снятии с эксплуатации и удалении накопленной радиоактивности до уровня, позволяющего освободить его промышленную проектную площадку для дальнейшего неограниченного использования. Вывод из эксплуатации энергоблока АЭС и выполнение реабилитационных работ могут быть достигнуты с помощью различных альтернативных концепций и методов для их осуществления.

В комплексе необходимых и важных работ по выводу из эксплуатации и ликвидации энергоблоков АЭС и их критически важных компонентов, в соответствии с современными представлениями, можно выделить несколько основных самостоятельных [1–3]:

- комплексное инженерное и радиационное обследование;
- разработка проектной, конструкторской и обосновывающей документации;
- создание полигонов для размещения отходов производства и потребления очень низкоактивных отходов, образующихся при подготовке и выводе из эксплуатации;
- мероприятия по обеспечению безопасного хранения и подготовке к удалению отработавшего ядерного топлива и накопленных эксплуатационных радиоактивных отходов (РАО);
- мероприятия по обращению с РАО и дезактивации, включая оснащение АЭС установками по обращению с твердыми и жидкими РАО, организация накопительной площадки для промежуточного (буферного) хранения упаковок с РАО перед отправкой в специализированные организации;
- переработка накопленных и образующихся при подготовке к выводу из эксплуатации РАО;
- демонтаж, дезактивация, фрагментация радиоактивного оборудования, систем и элементов;
- переработка, кондиционирование и передача РАО, образующихся при выводе из эксплуатации, на захоронение;
- удаление образовавшихся при выводе из эксплуатации нерадиоактивных отходов на полигон промышленных отходов;
- дезактивация и демонтаж (снос) зданий и сооружений (необходимость и объем демонтажа определяется в проектной документации), удаление строительных конструкций;
- оптимизация режимов работы систем;

▪ заключительное обследование площадки, оформление радиационно-гигиенического паспорта, получение санитарно-эпидемиологического заключения о соответствии радиационной обстановки характеристикам, установленным в нормативных документах и в проектной документации.

Работы проводятся согласно лицензии на эксплуатацию энергоблока, остановленного для вывода из эксплуатации, и лицензии Ростехнадзора на вывод из эксплуатации энергоблока АЭС.

При проведении указанных и других необходимых работ важно использовать максимально возможный набор качественных инженерных методов и инструментальных, информационных средств. Выбор методов и средств, в свою очередь, проводится на базе заранее принятых и апробированных принципов качества, приемлемости, экологической приемлемости и разумной целесообразности, реализуемости, а также безопасности ведения ликвидационных и реабилитационных работ, причем сам процесс выбора должен быть детально задокументирован. Однако регламентированных подходов для определения промышленных методов и инструментальных средств вывода из эксплуатации энергоблока АЭС с признаками инвариантности относительно различия с ядерной энергетической установкой пока не существует. В рамках применяемой инженерной практики для каждого энергоблока АЭС на завершающем этапе его жизненного цикла приходится создавать оригинальную методику и инструменты, регламенты, технологии, с учетом его конструктивных особенностей и возможностей технологий вывода из эксплуатации и ликвидации. При формировании такой методики важно исследовать возможности ее практического безопасного применения, изучить историю создания и эксплуатации энергоблока, данные о дефектах и опасностях для окружающей среды, выявленных в эти периоды, а также принятые меры для превентивного предупреждения проявления различных опасностей и угроз.

Исходя из сказанного, основной целью настоящей публикации является постановка задачи для разработки концепции и свода необходимых информационных и инструментальных средств для реализации физически и экологически приемлемой, экономически целесообразной промышленной технологии вывода из эксплуатации энергоблоков АЭС.

В данной статье под терминами «промышленные методы», «промышленные технологии», «промышленная инфраструктура» понимается возможность выполнять работы по демонтажу

и утилизации конструкций энергоблока поточными конвейерными способами с максимальным внедрением технологической процедуры разборки и утилизации конструкций и оборудования АЭС в специализированных заводских условиях вне площадки энергоблока.

Научно-методические основы промышленного вывода из эксплуатации энергоблоков АЭС

Конкурентоспособный инновационный бизнес на этапе вывода из эксплуатации АЭС является социальным фундаментом для лучших перспектив поступательного развития атомной энергетики и представления преимуществ атомной генерации энергии в формате использования других возможных топливно-энергетических ресурсов с целью энергетической безопасности страны. Основой концепции и свода необходимых информационных и инструментальных средств для реализации физически и экологически приемлемой, экономически целесообразной промышленной технологии вывода из эксплуатации и ликвидации энергоблоков АЭС является существующая нормативно-правовая база. Современный этап развития энергетических установок, систем и комплексов, в том числе и в сфере использования атомной энергии, предполагает применение проектно-целевого подхода для обеспечения безопасности сложных технических систем для любых этапов их жизненного цикла [4]. Вторым современным трендом концептуального описания процессов и процедур жизненного цикла энергетических установок и комплексов является широкое применение стандартов управления качеством главных и вспомогательных процессов [5] жизненного цикла энергетических систем.

Для формирования концепции промышленной технологии вывода из эксплуатации и ликвидации энергоблоков АЭС важно принять в качестве научной основы названные подходы, уже хорошо апробированные в инженерной практике [6]. Таким образом, перспективная промышленная технология вывода из эксплуатации и ликвидации энергоблоков АЭС может быть представлена определенным составом последовательных и параллельных физико-технологических процессов, в их числе:

▪ процессы подготовительного этапа вывода из эксплуатации энергоблока АЭС, в составе которых планирование технологии выполнения необходимых мероприятий, включая выполнение исследований путем имитационного моделирования, диагностических обследований на базе

современных методов неразрушающих испытаний и материаловедческих прочностных исследований, расчетного эксперимента [5, 7];

- создание специальных инструментов и устройств, приборов контроля за окружающей обстановкой и радиационной, промышленной безопасностью для этапа выполнения физико-технологических процессов вывода из эксплуатации и ликвидации энергоблока АЭС;

- создание средств и устройств перемещения фрагментов оборудования и систем после разрушения конструкций;

- создание специальных автоматизированных робототехнических и информационно-измерительных исполнительных комплексов для выполнения технологических операций и процессов без участия человека, сооружение полигонов для обработки и захоронения отходов и прочее.

Необходимо отметить, что задача эффективного вывода из эксплуатации является одной из основных для мировой атомной энергетики [7] на ближайшие годы. До 2040 г. в мире предполагается вывести из эксплуатации более 150 ядерных реакторов. На сегодняшний день в России уже остановлено 10 энергоблоков АЭС, в том числе энергоблоки № 1, 2 Нововоронежской АЭС в текущий период находятся в состоянии ликвидации последствий их промышленного функционирования. До 2035 г. будут окончательно остановлены дополнительно более 10 энергоблоков АЭС, при этом работы по выводу из эксплуатации будут проводиться на 6 энергоблоках АЭС, а к 2040 г. в стадии останова будут находиться уже 25 энергоблоков АЭС.

При этом, по экспертным оценкам специалистов, общие затраты на вывод из эксплуатации планируемого числа энергоблоков АЭС в мире и обращение, включая частичное захоронение отходов при демонтаже АЭС, составят от \$220 до 350 млрд до 2035 г., а затраты на вывод из эксплуатации одного реактора оцениваются в \$2–3 млрд.

Длительность сроков выполнения работ влечет за собой увеличение затрат на эксплуатацию оставленных энергоблоков. Международный опыт показывает, что срок завершения работ по выводу из эксплуатации может быть сокращен до 10 лет.

Поэтому становится важным выполнять процесс по выводу из эксплуатации и ликвидации энергоблока АЭС промышленными методами с применением типовых и стандартизированных средств и специализированных производств.

В этой связи основной технологический процесс демонтажа и утилизации элементов конструкций

и оборудования, трубопроводов может быть детализирован по крайней мере в трех самостоятельных процессах:

- выявление высокоактивного в аспектах радиационного загрязнения оборудования, конструкций и систем, локализация этих изделий, дальнейшая выдержка;

- дезактивация и демонтаж оборудования, систем и конструкций с низкой степенью радиационного загрязнения и последующие действия по фрагментации названных изделий и их утилизации, включая переработку;

- ликвидация энергоблока как опасного радиационного объекта и выполнение комплекса мер по реабилитации площадки, вплоть до исходного проектного состояния.

В рамках изложенных подходов к выполнению всех главных и вспомогательных процессов, включая работы по мониторингу радиационной обстановки, барьерной защиты от распространения радиационного загрязнения окружающей среды, по подготовке и аттестации рабочего персонала и т. д., концепция промышленной технологии вывода из эксплуатации и ликвидации энергоблоков АЭС должна включать свод действий по разработке типового проекта вывода из эксплуатации реакторной установки энергоблоков АЭС, программы управления качеством процессов вывода из эксплуатации и ликвидации энергоблока, реабилитации площадки его фактического размещения, включая санитарную зону. В то же время реализация типового проекта вывода из эксплуатации должна осуществляться на базе созданной промышленной инфраструктуры, включающей, в том числе, профильные заводы по утилизации отходов, загрязненных радиоактивными веществами.

В целом типовой проект вывода из эксплуатации реакторной установки энергоблока АЭС и программа должны удовлетворять ряду принципов. В их числе научные принципы:

- независимости;
- взаимного дополнения;
- функциональной надежности и безопасности;
- дублирования;
- функциональной полноты и приемлемой достаточности;

- системного планирования;
- верификации и валидации;
- постоянного мониторинга и контроля правильности выполнения программы работ по демонтажу и утилизации радиоактивных компонентов энергоблока, апробированного применением хорошо

верифицированных методов и технологий, позволяющих минимизировать время нахождения персонала в зонах проведения радиационно опасных работ и обеспечить ему необходимую радиационную защиту и безопасность.

Основным критерием качества выбора инженерных методов и инструментальных средств промышленной технологии вывода из эксплуатации и ликвидации энергоблока АЭС становится минимизация дозовой нагрузки на персонал при выполнении комплекса практических работ, в том числе при обращении с РАО.

Результат

Проблематика постановки задачи о формировании концепции и свода необходимых информационных и инструментальных средств для реализации физически и экологически приемлемой, экономически целесообразной промышленной технологии вывода из эксплуатации и ликвидации энергоблоков АЭС, а также разработки физико-технологического инженерного процесса вывода из эксплуатации и ликвидации энергоблоков АЭС может быть представлена основными направлениями программно-целевых исследований в следующем составе:

1. Разработка терминологического понятийного аппарата и механизмов сбора и классификации информации о техническом состоянии и рисках комплексного процесса вывода из эксплуатации и ликвидации энергоблока АЭС, с целью снижения субъективности в оценке предполагаемых ущербов и преимуществ.

2. Разработка информационной модели и алгоритмов определения оптимальных по заданному набору критериев, методов и инструментальных средств выполнения работ по выводу из эксплуатации.

3. Формирование дополнительных требований к разработке программы управления качеством принимаемых решений при выборе методов и инструментальных средств промышленной технологии вывода энергоблока АЭС из эксплуатации, в том числе с использованием методов прогнозной диагностики, вероятностного анализа безопасности, планирования многофакторного эксперимента и др. [8–10].

4. Определение механизмов корректировки проекта вывода из эксплуатации типовых реакторных установок энергоблоков АЭС на основе вновь получаемых данных о текущей безопасности и техническом состоянии энергоблока АЭС в разные периоды работ по его выводу из эксплуатации

преимущественно в период демонтажа, разрушения и фрагментации компонентов энергоблока, их утилизации и обращения с РАО.

5. Создание информационной системы базы данных, важных для принятия решений о ведении процесса промышленной технологии вывода энергоблока АЭС из эксплуатации, с целью повышения устойчивости и качества базы знаний по всем технологическим процессам.

6. Разработка проекта технического предложения по:

- конверсии площадки размещения энергоблока АЭС после выполнения всех запланированных мероприятий по ее реабилитации и созданию на освободившихся площадях энергетических установок с повышенным уровнем безопасности и низким уровнем ожидаемых рисков для энергоснабжения потребителей. На рис. 1 в сжатом виде показана информационная модель предлагаемой концепции в формате дерева целей;

- созданию централизованной промышленной инфраструктуры для выполнения практических работ по выводу из эксплуатации и ликвидации энергоблоков АЭС.

Обсуждение

В общем случае предлагаемый подход обеспечивает оптимальный выбор инженерно-технологических методов ведения комплекса работ по промышленному выводу из эксплуатации энергоблоков АЭС и инструментальных, информационных средств для их осуществления. Процесс выбора представляет собой порядок выполнения технологических процессов и процедур в формате программы управления качеством промышленным выводом из эксплуатации конкретного энергоблока АЭС. В этом случае состав и последовательность выполнения операций в части, например, такого важного процесса вывода из эксплуатации, как демонтаж и фрагментация крупногабаритных компонентов энергоблока АЭС, в значительной степени определяются планами по использованию традиционных методов технологической обработки и изготовления изделий специального машиностроения. Состав перспективных для процесса демонтажа и фрагментации оборудования и трубопроводов энергоблока АЭС в сжатом виде поясняет рис. 2. Таким образом, можно формировать концепцию, предполагая ее открытую архитектуру и постоянную деятельность по ее улучшениям в формате цикла Деминга.

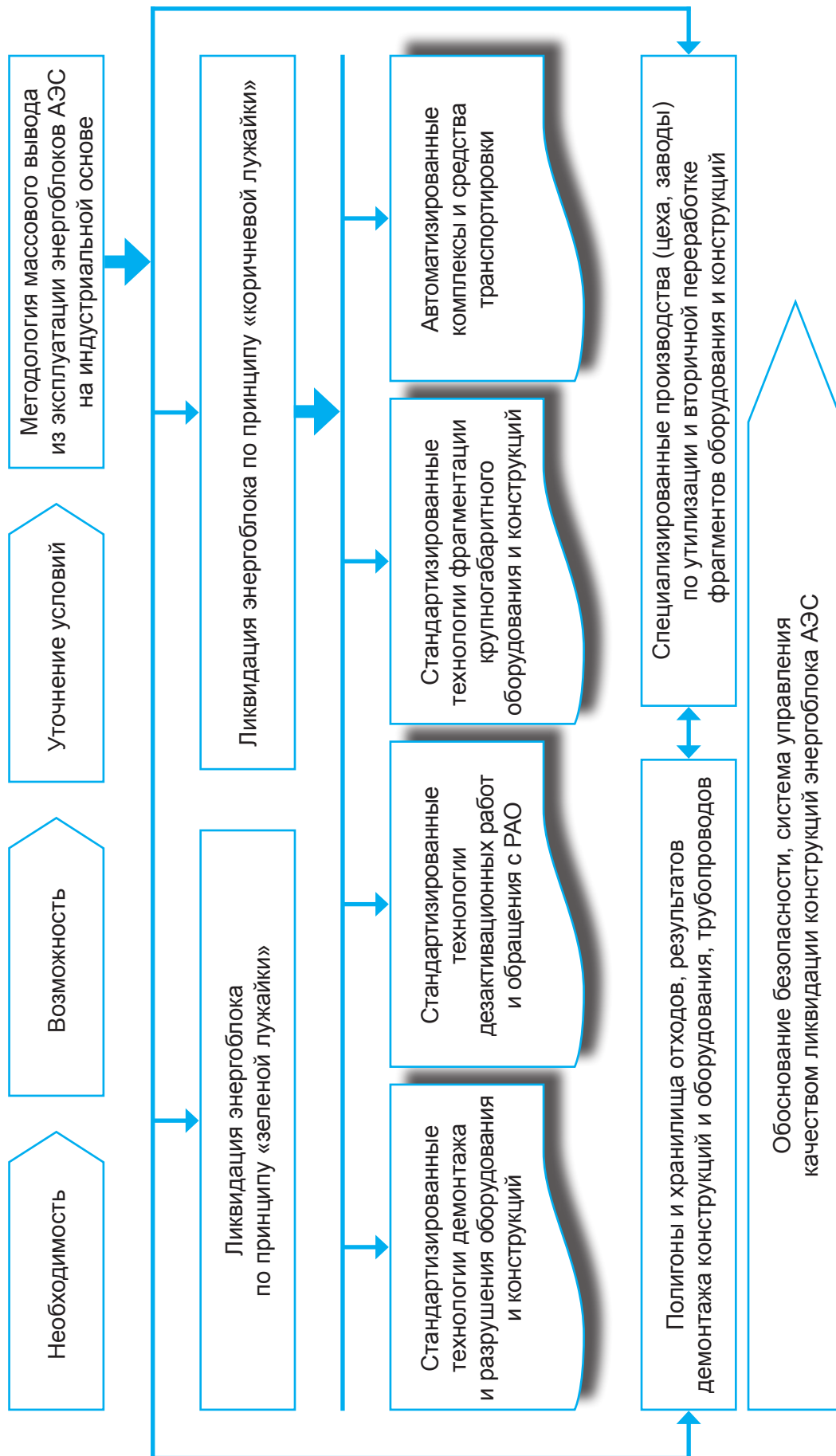


Рис. 1. Концепция индустриальной технологии ликвидации энергоблоков АЭС
 [Fig. 1. The concept of industrial technology for the elimination of nuclear power units]

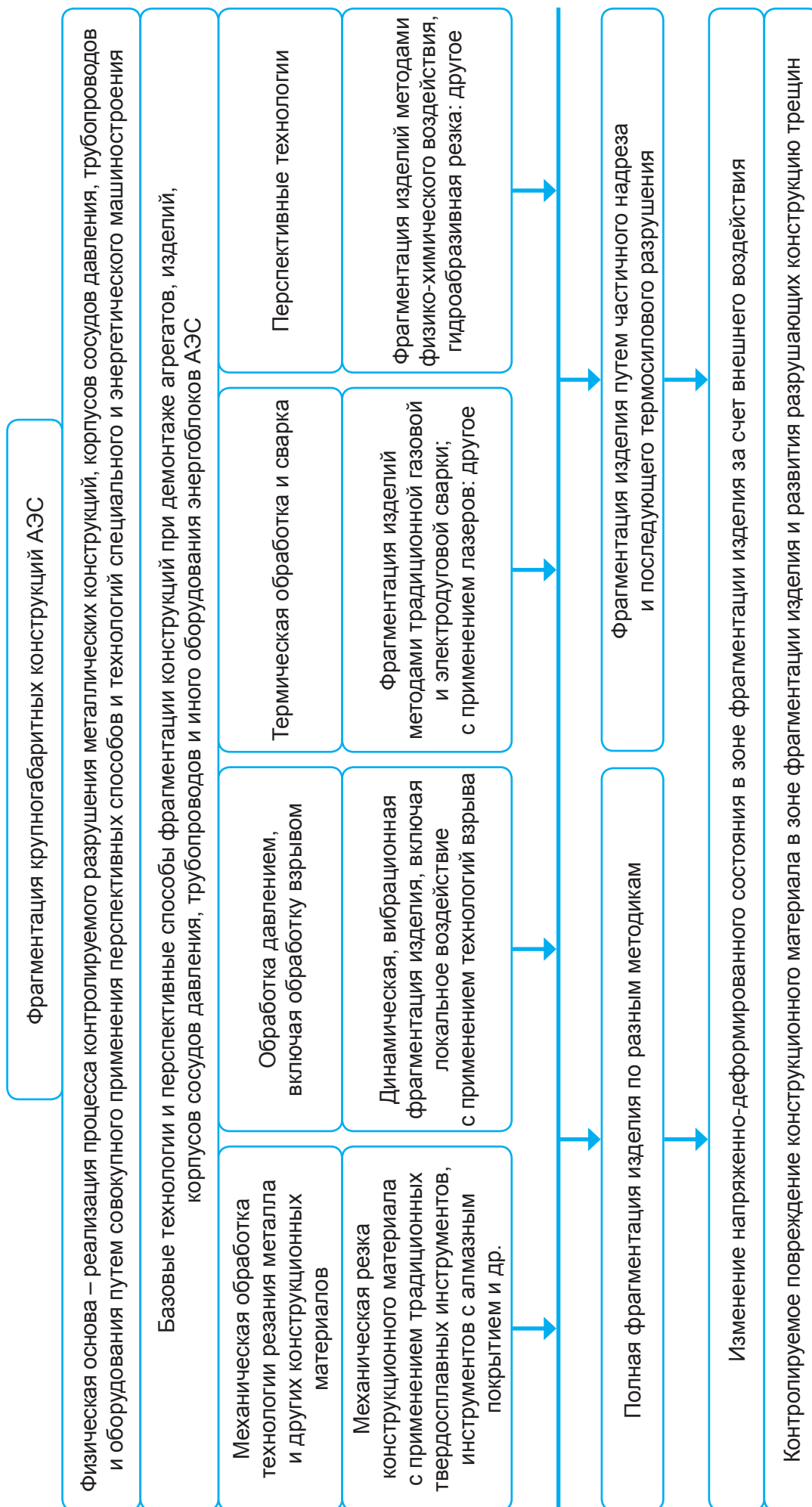


Рис. 2. Схема вариантов фрагментации крупногабаритных конструкций и изделий АЭС

[Fig. 2. The schema of fragmentation options for large-sized structures and products of nuclear power plants]

Выводы

Поиск решения проблемы массового вывода из эксплуатации энергоблоков АЭС на базе промышленных стандартизированных технологий важно решать системно на основе приоритетности для государства и эксплуатирующих АЭС организаций и деятельности в сфере энергетической и экологической безопасности страны.

Решение проблемы массового вывода из эксплуатации энергоблоков АЭС требует специальной научной разработки общей методологии вывода из эксплуатации энергоблоков АЭС и ликвидации негативных результатов их промышленного функционирования, которая будет иметь признаки инвариантности к типовым реакторным установкам и итогам жизненного цикла конкретного энергоблока.

С учетом крупномасштабного планового останова энергоблоков АЭС в России в среднесрочной перспективе становится важным выполнять процесс по выводу из эксплуатации и ликвидации энергоблоков АЭС промышленными методами с применением типовых и стандартизированных средств и специализированных производств на базе типовых проектов.

Длительность сроков выполнения работ по выводу из эксплуатации энергоблоков АЭС влечет за собой увеличение затрат на эксплуатацию оставленных энергоблоков. С учетом имеющейся положительной международной практики целесооб-

разно выполнять работы на основе типовых проектов вывода из эксплуатации энергоблоков АЭС с заданными директивными сроками и началом выполнения работ с момента останова энергоблока АЭС.

Основываясь на анализе и обобщении результатов деятельности по выводу из эксплуатации ядерных энергетических установок, реабилитации и ликвидации негативных последствий для территорий ядерного наследия, можно сделать более широкие обобщения: при формировании методологии массового промышленного вывода из эксплуатации АЭС важно ориентироваться на процессы, относящиеся к развитию и созданию замкнутого цикла переработки металлических и иных отходов атомной отрасли, обеспечивающего возврат в атомную индустрию вторичных продуктов переработки.

Для формирования конкурентоспособного инновационного бизнеса по промышленному выводу энергоблоков АЭС из эксплуатации важно применение политики конверсии на основе замкнутого цикла обращения с отходами демонтажа энергоблока АЭС. Это в перспективе потребует создания специализированного производства, завода по переработке загрязненных металлических отходов, включая загрязненное крупногабаритное оборудование. В противном случае инновационный потенциал промышленного массового вывода АЭС из эксплуатации снижается за счет игнорирования практической физико-технологической возможности повторного использования материалов демонтируемых энергоблоков в других сферах деятельности.

Литература

1. Блинова И. В. Состояние работ по выводу АЭС из эксплуатации (обзор) / И. В. Блинова, И. Д. Соколова // Атомная техника за рубежом. 2017. № 5. С. 3–18.
2. Основы вывода из эксплуатации блоков атомных электрических станций: учеб.-метод. пособие / Б. К. Былкин, И. А. Енговатов, Ю. А. Зверков, В. К. Зимин, И. И. Корнеев, Н. Н. Сафронова и др.; под общей ред. П. Л. Ипатова, А. А. Дементьева и Ю. М. Семченкова. – М.: Издательский дом МЭИ, 2019. – 504 с.
3. Былкин Б. К. Применение многофакторного анализа для выбора вариантов конечного состояния и стратегий экологической реабилитации пункта временного хранения ОЯТ и РАО в поселке Гремиха / Б. К. Былкин, Ю. Е. Горлинский, В. А. Кутьков, О. А. Никольский, В. И. Павленко, Ю. В. Сивинцев и др. / Препринт ИАЭ-6456/3, 2007, РНЦ «Курчатовский институт». – 51 с.
4. Северцев Н. А. Безопасность динамических систем на этапах жизненного цикла: монография / Н. А. Северцев, Н. К. Юрков. – Пенза: Изд-во ПГУ, 2023. – 568 с.
5. Магер В. Е. Управление качеством: учебное пособие / В. Е. Магер. – Москва: ИНФРА-М, 2020. – 176 с. (Высшее образование).
6. Горлинский Ю. Е., Никольский О. А., Сивинцев Ю. В., Степеннов Б. С. Проблемы экологической реабилитации бывшей БТБ ВМФ в пос. Гремиха с учетом прогнозов и тенденций развития ЗАТО г. Островной Мурманской области / Бюллетень «Вопросы утилизации АПЛ». 2005. № 4 (8). С. 12–17.

7. Семченков Ю. М., Былкин Б. К., Зверков Ю. А., Ипатов П. Л., Сафронова Н. Н., Корнеев И. И. и др. Особенности опыта организации и выполнения работ по выводу из эксплуатации блоков АЭС за рубежом: анализ, выводы и рекомендации // Вопросы атомной науки и техники / Сер. «Физика ядерных реакторов». 2022. Вып. 5. С. 124–136.
8. Хикс Ч. Основные принципы планирования эксперимента / Хикс Ч. – М., 2013. – 203 с.
9. Испытания и контроль качества материалов и конструкций: учеб. пособие / В. М. Баранов, А. М. Карасевич, Г. А. Сарычев. – М.: Высш. школа, 2004. – 360 с.
10. Тутнов И. А. Информационно-управляющие системы для технического диагностирования объектов использования атомной энергии: учебное пособие для вузов / И. А. Тутнов. – М.: РАДЭКОН, 2003. – 127 с. ISBN 5-7891-0024-4.

References

1. Blinova I. V., Sokolova I. D. (2017). Sostoyanie rabot po vyvodu AEHS iz ehkspluatatsii (obzor) [The state of work on decommissioning nuclear power plants (review)]. Atomnaya tekhnika za rubezhom – Atomic technology abroad, No. 5, pp. 3–18. [in Russian].
2. Bylkin B. K., Engovatov I. A., Zverkov Yu. A., Zimin V. K., Korneev I. I., Safronova N. N., et. al. (2019). Osnovy vyvodu iz ehkspluatatsii blokov atomnykh ehlektricheskikh stantsii [Fundamentals of decommissioning of nuclear power plant units]. A textbook. Moscow: Publishing House of the MEI. 504 p. [in Russian].
3. B. K. Bylkin, Yu. E. Gorlinsky, V. A. Kutkov, O. A. Nikolsky, I. I. Pavlenko, Yu. V. Sivintsev, et al. (2007). Primenenie mnogofaktornogo analiza dlya vybora variantov konechnogo sostoyaniya i strategii ehkologicheskoi reabilitatsii punkta vremennogo khraneniya OYAT i RAO v poselke Gremikha [Application of multifactorial analysis to select options for the final state and strategies for environmental rehabilitation of a temporary storage facility for SNF and RW in the village of Gremikha]. Preprint IAE-6456/3, RSC “Kurchatov Institute”, 51 p. [in Russian].
4. Severtsev N. A., Yurkov N. K. (2023). Bezopasnost' dinamicheskikh sistem na etapakh zhiznennogo tsikla [Safety of dynamic systems at the stages of the life cycle]. Monograph. Penza: Publishing House of PSU, 568 p. [in Russian].
5. Mager V. E. (2020). Upravlenie kachestvom [Quality management]. A textbook. Moscow: INFRA-M, 176 p. (Higher education). [in Russian].
6. Gorlinsky Yu. E., Nikolsky O. A., Sivintsev Yu. V., Gradonov B. S., Stepenov B. S. (2005). Problemy ehkologicheskoi reabilitatsii byvshei BTB VMF v pos. Gremikha s uchetom prognozov i tendentsii razvitiya ZATO g. Ostrovnoi Murmanskoi oblasti [Problems of ecological rehabilitation of the former Naval training ground in the Gremikha, taking into account forecasts and trends of development Murmansk region]. Byulleten' “Voprosy utilizatsii APL” – Bulletin “Issues of nuclear submarine disposal”, № 4 (8), pp. 12–17. [in Russian].
7. Semchenkov Yu. M., Bylkin B. K., Zverkov Yu. A., Ipatov P. L., Safronova N. N., Korneev I. I., et. al. (2022). Osobennosti opyta organizatsii i vypolneniya rabot po vyvodu iz ehkspluatatsii blokov AEHS za rubezhom: analiz, vyvody i rekomendatsii [Features of the experience of organizing and performing work on decommissioning NPP units abroad: analysis, conclusions and recommendations]. Voprosy atomnoi nauki i tekhniki – Issues of atomic science and technology. Ser. “Fizika yadernykh reaktorov” – Ser. “Physics of Nuclear Reactors”, issue 5, pp. 124–136. [in Russian].
8. Hicks Ch. (2013). Osnovnye printsipy planirovaniya ehksperimenta [Basic principles of experiment planning]. Moscow, 203 p. [in Russian].
9. Baranov V. M., Karasevich A. M., Sarychev G. A. (2004). Ispytaniya i kontrol' kachestva materialov i konstruktсии [Testing and quality control of materials and structures]. A textbook. Moscow: Higher School, 360 p. [in Russian].
10. Tutnov I. A. (2003). Informatsionno-upravlyayushchie sistemy dlya tekhnicheskogo diagnostirovaniya ob"ektov ispol'zovaniya atomnoi ehnergii [Information and control systems for technical diagnostics of nuclear energy facilities]. A textbook for universities. Moscow: RADEKON, 127 p. ISBN 5-7891-0024-4. [in Russian].

Сведения об авторе

Сафронова Наталья Николаевна, заместитель генерального директора, АСКАО (117485, Москва, ул. Обручева, д. 30, стр. 1, ячейка 12 «АСКАО»).

Author credentials

Safronova Nataliya Nikolaevna, Deputy General Director, ASKAO (mailbox 12 “ASKAO”, 30, bld. 1, Obrucheva str., Moscow, 117485), e-mail: safronova_nn@accni.ru.

Для цитирования

Сафронова Н. Н. Научно-методические подходы к выводу из эксплуатации энергоблоков АЭС на промышленной основе // Ядерная и радиационная безопасность. 2025. № 1 (115). С. 41–51. DOI: 10.26277/SECNRS.2025.115.1.003.

For citation

Safronova N. N. (2025). Nauchno-metodicheskie podkhody k vyvodu iz ehkspluatatsii ehnergoblokov AEHS na promyshlennoi osnove [Scientific and methodological approaches to decommissioning of nuclear power plant units on an industrial basis]. Yadernaya i radiatsionnaya bezopasnost' – Nuclear and Radiation Safety Journal, No. 1 (115), pp. 41–51. [in Russian]. DOI: 10.26277/SECNRS.2025.115.1.003.

