



УДК: 621.039

DOI: 10.26277/SECNRS.2026.120.2.002

© 2026. Все права защищены.

ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ПОДДЕРЖКИ ВЫВОДА ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБЪЕКТОВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ

Поваров В. П.*, д-р техн. наук (PovarovVP@nvnppl.rosenergoatom.ru),
Сафронова Н. Н.**, канд. экон. наук (safronova_natalya@accni.ru),
Росновский С. В.*, канд. техн. наук (RosnovskySV@nvnppl.rosenergoatom.ru),
Барышников А. В.* (BaryshnikovAV@nvnppl.rosenergoatom.ru),
Росновский В. С.* (rvs05071999@yandex.ru)

Статья поступила в редакцию 9 июня 2026 г.

Аннотация

В статье представлены основные результаты разработки Нововоронежской АЭС прототипа программно-аппаратного комплекса поддержки вывода из эксплуатации, используемого в целях реализации требований нормативных документов к организационному обеспечению процесса вывода из эксплуатации объектов использования атомной энергии применительно к энергоблоку № 3 Нововоронежской АЭС на основе интерактивной пространственной карты, созданной при помощи панорамной съемки 360°.

Проведен анализ преимуществ и недостатков предложенного технического решения по сравнению с ранее реализованными подходами.

Показана возможность интеграции в созданную цифровую модель разнообразных данных, включая проектную документацию, результатов текущего радиационного контроля и других, способствующих снижению дозовых нагрузок, временных и финансовых затрат при организации вывода из эксплуатации энергоблока атомной электростанции.

► **Ключевые слова:** вывод из эксплуатации, атомная электростанция, информационный «цифровой двойник», панорамная съемка, база данных.

* Филиал АО «Концерн Росэнергоатом» «Нововоронежская АЭС», г. Нововоронеж, Россия.

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

SOFTWARE AND HARDWARE COMPLEX FOR DECOMMISSIONING OF NUCLEAR POWER FACILITIES

Povarov V. P.*, D. Sc.,
Safronova N. N.**, Ph. D.,
Rosnovsky S. V.*, Ph. D.,
Baryshnikov A. V.*,
Rosnovsky V. S.*

The article was received by the editors' crew on June 9th, 2026.

Abstract

The article presents the main results of the development of the Novovoronezh NPP prototype of the software and hardware complex for support of decommissioning, which is used to implement the requirements of regulatory documents for the organizational support of the decommissioning process of nuclear facilities in relation to unit 3 of the Novovoronezh NPP, based on an interactive spatial map created using 360-degree panoramic photography.

The advantages and disadvantages of the proposed technical solution were analyzed in comparison with previously implemented approaches.

The article demonstrates the possibility of integration various data, including design documentation, results of current radiation monitoring, etc., into the created digital model, which helps to reduce the occupational dose, time and financial costs associated with the decommissioning of a nuclear power plant unit.

► **Keywords:** decommissioning, nuclear power plant, "digital twin", panoramic shooting, database.

* Novovoronezh NPP branch of Rosenergoatom JSC, Novovoronezh, Russia.

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

Введение

В соответствии с требованиями нормативных документов [1, 2] при подготовке к выводу из эксплуатации (ВЭ) объектов использования атомной энергии (ОИАЭ) должны быть приняты меры к сбору, хранению и анализу большого объема информации о состоянии оборудования и помещений, радиационных параметрах, необходимых для организации ВЭ ОИАЭ.

Так, в соответствии с требованиями [2], при ВЭ энергоблока атомной электростанции (АЭС) должен быть обеспечен сбор информации, включающий в себя необходимые данные.

Кроме того, должно быть обеспечено хранение проектной, эксплуатационной и технологической документации энергоблока, необходимой для планирования и разработки проекта ВЭ, включая проект энергоблока, технологический регламент, инструкции по техническому обслуживанию и ремонту систем и оборудования, необходимые для осуществления работ по ВЭ энергоблока АЭС.

Энергоблок АЭС представляет собой сложный технологический объект, включающий сотни помещений и десятки тысяч единиц оборудования и трубопроводов. Очевидно, что хранение данных об инженерном и радиационном состоянии каждого объекта должно осуществляться упорядоченно, в виде структурированной базы данных, отражающей текущее состояние с учетом изменений, проводимых в ходе реализации проекта ВЭ.

На современном этапе развития атомной энергетики действующие ОИАЭ, включая АЭС, характеризуются высокой фрагментацией данных (документация, схемы, визуальные материалы), что снижает целостное восприятие объекта и затрудняет эффективное обучение персонала, а также навигацию по технологическим схемам и эксплуатационной документации. Остро стоит необходимость безопасного обучения в зонах контролируемого доступа, исключая радиационное воздействие. Также отсутствует удобный и оперативный способ для навигации по сложным технологическим системам и поиска связанной с ними эксплуатационной документации в визуальном контексте реального объекта.

Еще одной проблемной областью при ВЭ ОИАЭ является обеспечение необходимого качества радиационного контроля объектов, статус которых может существенно меняться в течение непродолжительного времени. В связи с изложенным, объем радиационного контроля на этапе ВЭ ОИАЭ существенно

возрастает, что обуславливает необходимость перехода от натуральных измерений к приоритету реализации принципа прогнозирования радиационной обстановки в помещениях и на территории ОИАЭ. При этом натурные данные текущего радиационного контроля должны систематически сравниваться с расчетными значениями с целью выявления возможных дефицитов безопасности и своевременного принятия корректирующих мер.

На практике при подготовке к реализации проектов ВЭ ОИАЭ в России и за рубежом реализуются отдельные частные решения по созданию баз данных по ВЭ.

Так, например, ГК «НЕОЛАНТ» в рамках участия в проекте ВЭ АЭС «Козлодуй», реализуемого фирмой NUKEM, велась разработка программно-аппаратного комплекса Digital Decommissioning на базе системы управления инженерными данными «НЕОСИНТЕЗ». В рамках указанной работы были собраны данные о состоянии инженерных сетей и радиационных параметров помещений, разработана 3D-инженерно-радиационная модель энергоблоков № 1-4 АЭС «Козлодуй» [3]. Аналогичный подход применен и при создании базы данных по ВЭ Билибинской АЭС [4].

Согласно подходам МАГАТЭ при организации ВЭ ОИАЭ прогнозируется дальнейшее расширение применяемых цифровых методов в целях планирования и оптимизации проектов, а также более широкая автоматизация деятельности и использование искусственного интеллекта [5].

Решения по цифровизации на зарубежных ОИАЭ реализуются в рамках Программы цифровизации процессов ВЭ (Министерство энергетики США – DOE), европейских проектов PLEIADES (Platform based on Emerging and Interoperable Applications for enhanced Decommissioning processES) и DORADO (“Digital twins” and Ontology for Robot Assisted Decommissioning Operations), итальянского проекта «Андромеда» (компания Nucleco) и др.

Детально аспекты цифровизации процесса ВЭ, существующие проблемы и пути их решения рассмотрены в [6].

Одной из мировых тенденций является переход в различных сферах управления к иммерсивным технологиям, позволяющим максимально эффективно организовать работы, минимизировать риски негативного воздействия на персонал различных факторов, оптимизировать трудозатраты и дозовые нагрузки на персонал, осуществляющий операции в рамках проекта ВЭ ОИАЭ.

1. Концепция программно-аппаратного комплекса поддержки вывода из эксплуатации

Исходя из анализа общемировых глобальных тенденций к созданию мультифункциональных цифровых комплексов в различных отраслях промышленности и разнообразных бытовых сферах, по нашему мнению, выполнение требований нормативных документов [1, 2] наиболее целесообразно обеспечивать за счет создания на этапе подготовки к ВЭ ОИАЭ специализированного программно-аппаратного комплекса поддержки ВЭ (ПАК ПВЭ), совмещающего функции «цифрового двойника» объекта, выводимого из эксплуатации, с возможностями прогнозирования радиационных полей в помещениях и на местности, реализуемыми посредством математического моделирования.

Структурно ПАК ПВЭ должен включать три основных функциональных модуля:

1. Модуль сбора, хранения и анализа данных помещений и территории ОИАЭ.
2. Модуль создания и сопровождения информационного «цифрового двойника».
3. Модуль прогнозирования радиационной обстановки и выявления нарушений радиационной безопасности.

1.1. Модуль сбора, хранения и анализа данных помещений и территории объекта использования атомной энергии

Модуль обеспечивает сбор, хранение и анализ данных о помещениях и территории ОИАЭ в объеме требований [1, 2], включая:

- данные, на основе которых можно проводить оценки загрязнения радионуклидами систем и элементов, помещений энергоблока АЭС;
- результаты проведенных обследований технического состояния и обоснования остаточного ресурса зданий, сооружений, систем и элементов энергоблока АЭС;
- данные о радиационной обстановке в помещениях энергоблока и на площадке АЭС, санитарно-защитной зоне и зоне наблюдения после останова энергоблока для его ВЭ;
- данные о количестве и радионуклидном составе накопленных за время эксплуатации энергоблока и находящихся на площадке АЭС жидких и твердых РАО, их классе, месте и способе хранения на площадке и в помещениях энергоблока;
- данные о свободных объемах пунктов хранения и хранилищ РАО на площадке АЭС,

доступных для размещения, образующихся при ВЭ энергоблока.

В составе модуля функционируют справочники, необходимые для обеспечения работ по ВЭ ОИАЭ, включая:

- справочник помещений ОИАЭ;
- ситуационный план промплощадки ОИАЭ с масштабирующей сеткой заданного шага;
- справочник радионуклидов;
- справочник материалов;
- справочник геометрий источников ионизирующих излучений.

Данные хранятся в виде упорядоченной базы данных, структурированной с учетом требований нормативных документов, действующих в области использования атомной энергии.

1.2. Модуль создания и сопровождения информационного «цифрового двойника»

Действующие и выводимые из эксплуатации объекты АЭС характеризуются высокой фрагментацией данных: проектная и эксплуатационная документация устарела или утрачена, визуальные материалы и семантические данные существуют изолированно. Это особенно критично на этапе подготовки к ВЭ в соответствии с [1], где требуется:

- точное знание текущего радиационного и технического состояния зданий, сооружений, систем и оборудования;
 - безопасное планирование демонтажных работ, дезактивации и обращения с РАО без радиационного воздействия на персонал;
 - оперативный доступ к документации и визуальному контексту для выполнения работ по ВЭ.
- Традиционные методы (лазерное 3D-сканирование, BIM (Building Information Modeling), тяжелые «цифровые двойники») дорогостоящи (сотни млн – млрд руб. на энергоблок), требуют длительного времени (годы), допуска в зоны радиационного риска и не обеспечивают оперативной актуальности для объектов с утерянной документацией.

В настоящее время в мире и России активно развиваются технологии «цифровых двойников», BIM, иммерсивные технологии, в основном для обучения персонала в различных сферах деятельности. Однако при этом приоритетной сферой применения BIM следует признать проектирование, сооружение и управление жизненным циклом различных объектов.

Несомненно, развитие технологии «цифровых двойников» должно найти свое место и на платформах сопровождения жизненного цикла АЭС,

включая ВЭ. В российской атомной отрасли созданы и развиваются цифровые решения, такие как «ВИЗАРТ-РДМ» («цифровой двойник» радиохимического производства) [7], Digital Decommissioning (цифровое сопровождение ВЭ) [3-4], Multi-D (инжиниринговый дивизион) [8] и отдельные «цифровые двойники» для атомных станций малой мощности и радиохимических производств. Эти системы в основном опираются на сложные 3D-модели, лазерное сканирование и специализированное программное обеспечение, что позволяет проводить расчеты объемов РАО, планировать демонтаж и дезактивацию, но связано с высокой стоимостью (сотни млн руб. на объект), длительными сроками создания и сложностью актуализации, особенно для старых энергоблоков с утерянной или неполной документацией.

Решения на основе панорамной съемки 360°, как правило, ограничены визуализацией без глубокой мультимодальной интеграции (семантические данные, схемы, документация) и оперативной актуализации через периодическую пересъемку. Интегрированные, низкочастотные и кроссплатформенные подходы, одновременно поддерживающие три ключевые задачи – дистанционное обучение персонала, оперативную эксплуатационную поддержку и подготовку к ВЭ – в настоящее время недостаточно разработаны и не представлены в виде единой системы. Создание информационных «цифровых двойников» в виде сферических панорамных снимков, без сомнения, позволяет перевести на качественно новый уровень процесс управления ВЭ энергоблоков АЭС, обеспечивая виртуальное моделирование и безопасный анализ объекта. Такие двойники позволяют фиксировать текущее состояние помещений и оборудования в высоком разрешении без необходимости физического присутствия персонала в зонах высокого риска. Это упрощает планирование демонтажа, оценку радиационного фона и оптимизацию работ. Сферические панорамы дают возможность проводить виртуальные инспекции, отслеживать изменения и прогнозировать риски. Виртуальные копии АЭС, включая панорамы, должны использоваться для научно-технической поддержки ВЭ, моделирования нештатных ситуаций и оптимизации демонтажа.

Авторами настоящей статьи предлагается рассматривать в качестве перспективного направления развития создание информационного «цифрового двойника» АЭС как структурированной модели, обеспечивающей связность между элементами

разных модальностей (семантика, интерактивные схемы, пространственная карта). Реализация в виде автономного кроссплатформенного веб-приложения, не требующего специализированного лицензионного программного обеспечения. Интерактивная пространственная карта, созданная на основе сферических панорам, выступает как верифицируемый визуальный базовый слой, навигационная карта и основа для интеграции данных. Новизна данного решения заключается в интеграции обучающих и эксплуатационных материалов в визуальный контекст, использовании панорам как средства оперативной актуализации обучающей и информационной среды, а также в применении исключительно открытых веб-технологий, обеспечивающих независимость от операционных систем и специализированного программного обеспечения. При необходимости данная модель может быть дополнена отдельно созданными 3D-моделями и моделями, полученными методом лазерного сканирования.

Особенности решения:

- полная интеграция разнородных данных (техническая документация, паспорта оборудования, эксплуатационные инструкции, результаты комплексного инженерного и радиационного обследования (КИРО) в едином визуально-привязанном контексте панорам 360°;
- возможность создания и хранения временных срезов одного и того же места в разное время (например, до и после этапа демонтажа, дезактивации или ремонта), что позволяет визуально отслеживать динамику изменений на протяжении всего периода подготовки и проведения ВЭ;
- быстрая и низкочастотная актуализация модели путем периодической панорамной съемки (обновление визуального состояния без необходимости перестройки тяжелых 3D-моделей);
- автономная работа в браузере любого устройства без установки специализированного программного обеспечения и лицензионных зависимостей;
- одновременная поддержка трех ключевых задач: дистанционное обучение персонала в условиях зоны контролируемого доступа (исключение радиационного воздействия), оперативная эксплуатационная поддержка (быстрый доступ к документации в контексте реального объекта) и подготовка к ВЭ (визуальное планирование демонтажа, дезактивации и оценки конечного состояния).

Такой подход позволяет создать легкую, доступную и быстро адаптируемую альтернативу полнофункциональным «цифровым двойникам»

и BIM-решениям, особенно для старых энергоблоков с утерянной или неполной исходной документацией, обеспечивая при этом высокую степень безопасности, автономности и экономической эффективности.

Ожидаемые преимущества от использования предлагаемого подхода и решения:

- полное исключение радиационного воздействия на обучающихся, инспекторов и планировщиков ВЭ;
- сокращение затрат на создание и сопровождение моделей по сравнению с лазерным сканированием и BIM;
- оперативная актуализация визуального слоя при подготовке к ВЭ (дни вместо месяцев/лет);
- ускорение процессов КИРО, планирования демонтажа, дезактивации и обращения с РАО за счет визуально-привязанной документации;
- бенчмаркинг: по критериям «безопасность – стоимость – актуальность – автономность» ПАК ПВЭ ожидается значительно превысить существующие решения на основе лазерного сканирования и BIM для задач ВЭ.

Помимо несомненного положительного влияния на логистические процессы этапа ВЭ ОИАЭ, внедрение данного подхода будет иметь следующие экономические эффекты:

- снижение затрат на обучение и подготовку персонала за счет исключения необходимости физического доступа в зоны контролируемого доступа, уменьшения организационных издержек и рисков радиационного воздействия;
- сокращение времени на поиск эксплуатационной и технической документации, подготовку к работам и планирование мероприятий по ВЭ (в том числе КИРО, демонтаж, дезактивация и оценка конечного состояния);
- повышение безопасности персонала (исключение радиационного воздействия на обучающихся и инспекторов) и эффективности эксплуатации и ВЭ за счет оперативного доступа к актуальному визуальному контексту и привязанной информации;
- заметное сокращение времени на подготовку к работам и планирование ВЭ;
- полное исключение радиационного воздействия на обучающихся и планировщиков;
- потенциал тиражирования на другие действующие и выводимые из эксплуатации энергоблоки АЭС, что многократно умножает экономический и социальный эффект;

- возможность формирования архива временных срезов для фиксации состояния объекта на разных этапах подготовки и проведения ВЭ;
- создание базы данных визуально-привязанной информации, пригодной для использования в отчетах по КИРО и обосновании конечного состояния после ВЭ;
- ускорение и удешевление процессов подготовки к ВЭ за счет замены дорогостоящего лазерного сканирования и тяжелых 3D-моделей на легкий, оперативно обновляемый информационный «цифровой двойник».

К недостаткам предлагаемого решения можно отнести отсутствие на панорамной фотосъемке, являющейся основой для создаваемого программного продукта:

- информации о внутренней структуре и параметрах физических объектов (например, толщине стенок оборудования, скрытой арматуре, закладных деталях, расположении скрытой проводки и коммуникаций);
- точной координатной сетки, позволяющей детально анализировать геометрию физических объектов.

При подготовке к резке трубопроводов, вскрытии строительных конструкций или демонтаже оборудования, загрязненного радионуклидами, отсутствие точной информации о внутреннем состоянии и геометрии объекта может приводить к росту дозовых нагрузок на персонал, неоправданно повышенным мерам безопасности, определяемым на основе консервативного подхода и т. д.

Указанные недостатки частично могут быть устранены путем реализации дополнительных связанных объектов и функций, «привязанных» к визуальной панораме (например, путем наложения на фотообразы системы метрических точек, определяющих расстояние и размеры помещений). Это позволяет упростить использование рассматриваемого программного средства как основы для проведения инженерных расчетов, определения объема материалов, расстояний между элементами конструкций, массогабаритных характеристик демонтируемых узлов. Предлагаемое программное решение может служить для определения траекторий перемещаемых грузов, проведения анализа необходимости усиления перекрытий, планирования работы грузоподъемных механизмов, решения иных практических задач, возникающих на этапе ВЭ ОИАЭ.

1.3. Модуль прогнозирования радиационной обстановки и выявления нарушений радиационной безопасности

Очевидно, что для полноценного управления радиационной защитой объекта, выводимого из эксплуатации, необходимо обеспечить переход от концепции «контроля радиационной обстановки» к концепции «прогнозирования радиационной обстановки». При этом эмпирические измерения радиационных факторов персоналом службы радиационной безопасности должны рассматриваться лишь как подтверждающие измерения, верифицирующие результаты проведенных аналитических расчетов.

Для осуществления указанного подхода целесообразно создать в рамках ПАК ПВЭ модуль прогнозирования радиационной обстановки на площадке и в помещениях АЭС, что является достаточно сложной задачей, реализуемой посредством программного моделирования.

Общие подходы к построению архитектуры модуля прогнозирования радиационной обстановки ранее опубликованы в [9].

Недостатком такого решения является необходимость построения детальных ВМ-моделей, привлечения специализированных расчетных кодов (например, на основе метода Монте-Карло или предварительно рассчитанных функций Грина), что приводит к существенному увеличению временных и финансовых ресурсов, необходимых для реализации концепции ПАК ПВЭ.

2. Практическая реализация концепции программно-аппаратного комплекса поддержки вывода из эксплуатации

С целью практической реализации описанных подходов Нововоронежской АЭС начата разработка соответствующих программно-технических решений.

Разработанные прикладные программные средства ориентированы прежде всего на задачи инженерного анализа и подготовки работ по ВЭ энергоблоков АЭС. Наличие интерактивного пространственного представления объекта позволяет анализировать взаимное расположение оборудования, планировать маршруты перемещения персонала и оценивать потенциальные ограничения при выполнении демонтажных операций.

2.1. Формирование интерактивной пространственной карты помещений

Создание цифровой модели начинается с панорамной фотосъемки помещений промышленного объекта, выполняемой специализированной камерой с поддержкой сферической съемки 360°. После этого полученные изображения используются для построения интерактивной пространственной карты помещений, представляющей собой систему взаимосвязанных панорамных сцен.

Визуализация панорам осуществляется в веб-браузере с использованием специализированных библиотек для отображения сферических изображений. Пользователь может свободно перемещаться между панорамами, изменять направление обзора и масштаб изображения, что обеспечивает эффект присутствия в реальном пространстве объекта.

На панорамные изображения наносятся интерактивные элементы, позволяющие интегрировать пространственную информацию с инженерными данными. К таким элементам относятся:

- точки перехода между панорамами;
- метки оборудования;
- точки радиационного контроля;
- изображения радиационных полей, полученные с использованием гамма-визора «Дельта-1Т»;
- метрические точки, определяющие расстояния и размеры помещений;
- текстовые комментарии и инженерные примечания.

Таким образом, формируется интерактивная пространственная карта помещений, позволяющая пользователю анализировать структуру производственного объекта и взаимное расположение его элементов.

2.2. Интеграция технологических схем и инженерной документации

Для обеспечения связи пространственной информации с технологическими процессами в систему интегрируются технологические схемы и экспликации помещений. Графические материалы загружаются в формате векторной графики (SVG), что обеспечивает масштабируемость изображений без потери качества и позволяет добавлять интерактивные элементы.

Каждому элементу на схеме присваивается уникальный идентификатор, обеспечивающий его связь с другими представлениями объекта. Благодаря этому реализуются переходы между различными модальностями информации:



Рис. 1. Точки радиационного контроля, входящие в регламент радиационного контроля, интегрированные в информационного «цифрового двойника» помещения в зоне контролируемого доступа
 [Fig. 1. Radiation control points included in the radiation control regulations, integrated into the information and “digital twin” of the controlled access area]

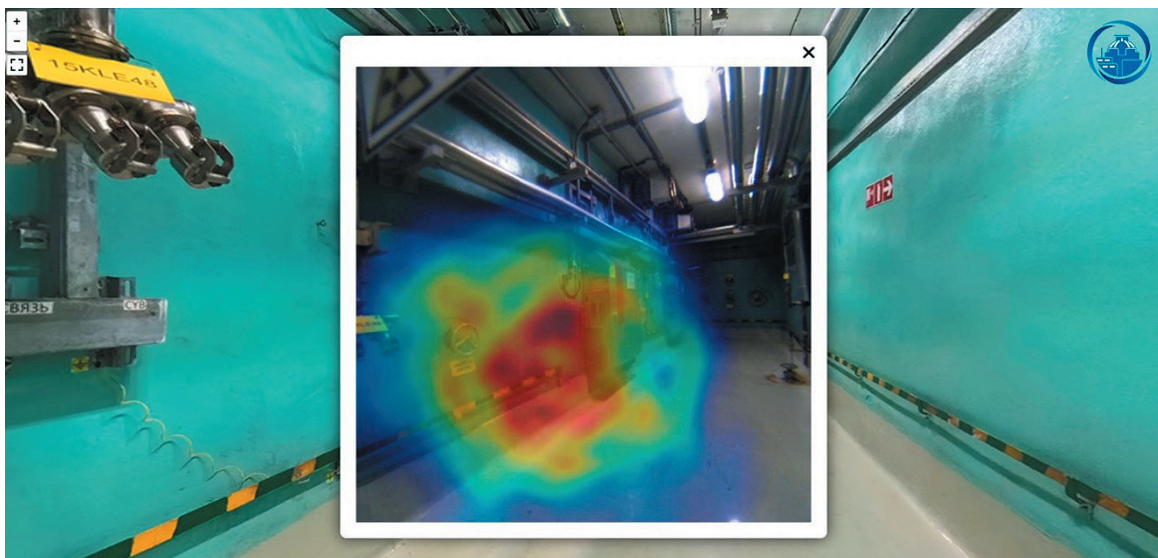


Рис. 2. Отображение в рамках информационного «цифрового двойника» гамма-образов радиационных полей, полученных с использованием гамма-визора «Дельта-1Т»
 [Fig. 2. Display of gamma images of radiation fields obtained using the Delta-1T gamma camera as part of the information and “digital twin”]

- технологическими схемами и панорамными изображениями помещений;
- экспликациями зданий и интерактивной картой помещений;
- схемами различных технологических уровней.

При выборе элемента на схеме пользователь может перейти к его визуальному отображению на пространственной карте помещений или получить доступ к семантическим данным, содержащим технические характеристики оборудования, эксплуатационные параметры и сопутствующую документацию.

Такой подход обеспечивает комплексное представление промышленного объекта, объединяющее пространственную, технологическую и информационную составляющие.

2.3. Программная реализация метода

Практическая реализация предложенного подхода выполнена в виде программного комплекса «СмартТур» [10], предназначенного для создания интерактивных виртуальных туров на основе панорамных изображений (360°), интегрированных с векторными чертежами и схемами, с возможностью



Рис. 3. Архитектура программного комплекса «СмартТур»
[Fig. 3. Architecture of the SmartTour software complex]

привязки информационных меток, медиафайлов и внешних ссылок.

Программный комплекс «СмартТур» разработан с использованием открытых веб-технологий и функционирует как кроссплатформенное приложение, поддерживаемое на операционных системах Windows, Linux и macOS при наличии веб-браузера и развернутого веб-сервера.

В основе программного комплекса лежит архитектура, включающая клиентскую и серверную части.

Клиентская часть реализована на языке JavaScript с использованием технологий HTML5 и CSS3 и обеспечивает визуализацию панорамных изображений, интерактивных схем и элементов интерфейса пользователя. Для отображения сферических панорам применяется библиотека Pannellum.

Серверная часть реализована на языке PHP и обеспечивает управление файловой системой проекта, контроль доступа и безопасное взаимодействие с серверной инфраструктурой.

Хранение данных в системе осуществляется в виде комбинации структурированных JSON-файлов проекта. Такой подход позволяет объединять структурированные инженерные данные с визуальной информацией о пространстве объекта.

Система поддерживает экспорт проекта в виде автономного пакета файлов, включающего HTML-страницы, скрипты и медиафайлы, что обеспечивает возможность развертывания модели на

изолированных портативных компьютерах без подключения к внешним сетям.

3. Выводы

В целях реализации предложенной концепции на Нововоронежской АЭС разработан прототип ПАК ВЭ промышленного объекта, объединяющий интерактивную пространственную карту помещений, технологические схемы и базы данных оборудования.

Разработанный программный комплекс функционирует как автономное веб-приложение, не требующее установки специализированного программного обеспечения и подключения к внешним сервисам. Интерактивные переходы между панорамами, схемами и информационными данными обеспечивают целостное восприятие структуры объекта и удобную навигацию по его элементам.

Предложенный подход позволяет интегрировать различные источники информации – панорамные изображения, графические схемы, таблицы параметров оборудования и техническую документацию – в единую информационную систему, которая может использоваться как для инженерного анализа инфраструктуры станции, так и для подготовки работ по ВЭ энергоблоков АЭС.

Ожидаемый результат внедрения результатов разработки:

- упорядочение хранения и использования данных о техническом и радиационном состоянии помещений и территорий, подлежащих ВЭ;
- поддержка принятия решений при разработке и реализации проектов ВЭ ОИАЭ;
- снижение объема радиационных измерений на площадках действующих, проектируемых и сооружаемых АЭС;
- уменьшение стоимости систем радиационного контроля на проектируемых и сооружаемых энергоблоках;
- снижение дозозатрат персонала служб радиационного контроля;
- исключение радиационного риска при обучении персонала;
- сокращение стоимости и времени на создание и сопровождение обучающих и информационных сред по сравнению с традиционными VR-тренажерами и ВМ-ориентированными решениями;
- повышение эффективности обучения за счет визуального контекста и интеграции обучающих материалов;
- повышение эффективности эксплуатации за счет оперативной навигации по технологическим системам и быстрого доступа к связанной эксплуатационной документации в визуальном контексте;
- обеспечение возможности оперативного обновления обучающей и информационной среды за счет периодической пересъемки панорам;
- обеспечение автономности и кроссплатформенности решения за счет реализации в виде веб-приложения;
- возможность развертывания программного комплекса в изолированных сетях или локально на одном портативном компьютере, что обеспечивает высокий уровень информационной безопасности и независимость от внешней инфраструктуры;

- отсутствие необходимости в использовании специального лицензионного программного обеспечения для функционирования и доступа к комплексу, что снижает эксплуатационные издержки и повышает доступность.

Заключение

На Нововоронежской АЭС успешно реализована концепция ПАК ПВЭ на основе сферической съемки 360° в объеме, позволяющем оценить достоинства и недостатки предложенного технического решения.

По критериям «безопасность – стоимость – эффективность – доступность» предложенный ПАК ПВЭ ожидаемо превысит существующие специализированные программные продукты и аналоги, применяемые за рубежом при ВЭ ОИАЭ.

Планируется достижение следующих экономических эффектов:

- снижение затрат на подготовку проекта ВЭ, управление радиационной безопасностью, обучение и подготовку персонала (снижение организационных издержек, исключение рисков);
- снижение затрат на организацию радиационного контроля на объектах, выводимых из эксплуатации;
- снижение времени на поиск информации и подготовку к работам;
- снижение дозовых нагрузок на персонал, привлекаемый к работам по проекту ВЭ ОИАЭ;
- повышение безопасности и эффективности подготовки персонала.

Разработка имеет существенный потенциал тиражирования на другие объекты использования атомной энергии, включая АЭС, умножающий экономический эффект и эффективность снижения коллективных дозовых затрат.

Литература

1. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. Обеспечение безопасности при выводе из эксплуатации объектов использования атомной энергии. Общие положения (НП-091-14): утв. приказом Ростехнадзора от 20.05.2014 № 216.
2. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. Правила обеспечения безопасности при выводе из эксплуатации блока атомной станции (НП-012-16): утв. приказом Ростехнадзора от 10.01.2017 № 5 (с изм., внесенными приказом Ростехнадзора от 10.10.2024 № 314).
3. Тихоновский В. Л., Гуралев С. С. Цифровая платформа Digital Decommissioning сопровождения заключительной стадии жизненного цикла ОИАЭ. – URL: [https://radon.ru/upload/docs/v-konf/7_Тихоновский%20В.Л.%20-%20Цифровая%20платформа%20Digital%20Decommissioning%20\(НЕОЛАНТ\).pdf](https://radon.ru/upload/docs/v-konf/7_Тихоновский%20В.Л.%20-%20Цифровая%20платформа%20Digital%20Decommissioning%20(НЕОЛАНТ).pdf) (дата обращения: 09.06.2026).

4. Доробин Д., Спивак И. Технология ГИС в ИТ-поддержке вывода из эксплуатации Билибинской АЭС // САПР. 2015. № 3. С. 26–28.
5. Patrick O'Sullivan. Вывод из эксплуатации ядерных объектов // Бюллетень МАГАТЭ. Т. 64-1. Апрель 2023.
6. Проблемы ядерного наследия и пути их решения. Вывод из эксплуатации / Под общей редакцией Л. А. Большова, Н. П. Лаверова, И. И. Линге. – Москва, 2015. – Т. 3. – 316 с.
7. Рыкунова А. А., Макеева И. Р., Пугачев В. Ю. и др. Виртуальный завод радиохимических технологий – моделирование технологий ЗЯТЦ в программном комплексе ВИЗАРТ / V Международная конференция-школа по химической технологии: сборник тезисов докладов спутелитной конференции XX Менделеевского съезда по общей и прикладной химии. – 2016. Том 1. С. 153–154.
8. Калмыкова Д. С. Внедрение цифровых двойников на основе MULTI-D как эффективного инструмента управления сложными инженерными объектами АЭС / Д. С. Калмыкова // Перспективное развитие науки, техники и технологий: сборник научных статей 12-ой Международной научно-практической конференции, Курск, 1 ноября 2022 г. – Курск: Юго-Западный государственный университет, 2022. – С. 159–162. – EDN: KSQGTB.
9. Данилов А. Д., Поваров В. П., Карасев В. Н., Росновский В. С., Тулинов Д. В., Чернышов Д. В. Программное моделирование гамма-полей на промышленной площадке АЭС // АНРИ. 2024. № 3 (118). С. 37–42.
10. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2026617201. Российская Федерация. СмартТур: № 2026616056: заявл. 04.03.2026: опубли. (зарег.) 13.03.2026 / Барышников А. В.; заявитель и правообладатель Барышников А. В. – 1 с.

References

1. Federal'nye normy i pravila v oblasti ispol'zovaniya atomnoi ehnergii “Obespechenie bezopasnosti pri vyvode iz ehkspluatatsii ob'ektov ispol'zovaniya atomnoi ehnergii. Obshchie polozheniya” (NP-091-14) [Federal norms and rules in the field of nuclear energy use “Ensuring safety during decommissioning of nuclear energy use facilities. General provisions” (NP-091-14)]. 2014.
2. Federal'nye normy i pravila v oblasti ispol'zovaniya atomnoi ehnergii “Pravila obespecheniya bezopasnosti pri vyvode iz ehkspluatatsii bloka atomnoi stantsii” (NP-012-16) [Federal norms and rules in the field of nuclear energy use “Rules for ensuring safety during decommissioning of a nuclear power plant unit” (NP-012-16)]. 2024.
3. Tikhonovsky V. L., Guralev S. S. Tsifrovaya platforma Digital Decommissioning soprovozhdeniya zaklyuchitel'noi stadii zhiznennogo tsikla OIAEH [Digital Decommissioning Platform for supporting the final stage of the NPP life cycle]. URL: [https://radon.ru/upload/docs/v-konf/7_Тихоновский%20В.Л.%20-%20Цифровая%20платформа%20Digital%20Decommissioning%20\(НЕОЛАНТ\).pdf](https://radon.ru/upload/docs/v-konf/7_Тихоновский%20В.Л.%20-%20Цифровая%20платформа%20Digital%20Decommissioning%20(НЕОЛАНТ).pdf) (reference date: 09.06.2026).
4. Dorobin D., Spivak I. (2015). Tekhnologiya GIS v IT-podderzhke vyvoda iz ehkspluatatsii Bilibinskoi AEHS [GIS Technology in IT Support for the Decommissioning of the Bilibino NPP]. SAPR – SAPR, No. 3, pp. 26–28. [in Russian].
5. Patrick O'Sullivan. Facilities Decommissioning. IAEA Bulletin, Vol. 64-1, April 2023.
6. Bolshov L. A., Laverov N. P., Linge I. I. (Eds.) (2015). Problemy yadernogo naslediya i puti ikh resheniya. Vyvod iz ehkspluatatsii [Problems of Nuclear Legacy and Their Solutions. Decommissioning]. Moscow, Vol. 3, 316 p. [in Russian].
7. Rykunova A. A., Makeeva I. R., Pugachev V. Yu. et al. (2016). Virtual'nyi zavod radiokhimicheskikh tekhnologii – modelirovanie tekhnologii ZYATTs v programmnom komplekse VIZART / V Mezhdunarodnaya konferentsiya-shkola po khimicheskoi tekhnologii [Virtual plant of radio-chemical technologies – modeling of ZYATTs technologies in the VIZART software complex / V International conference-school on chemical technology]. Sbornik tezisov dokladov satellitnoi konferentsii XX Mendeleevskogo s'ezda po obshchei i prikladnoi khimii – Collection of abstracts of the satellite conference of the XX Mendeleev congress on General and applied chemistry (Vol. 1, pp. 153–154). [in Russian].
8. Kalmykova D. S. (2022). Vnedreniye tsifrovyykh dvoynikov na osnove MULTI-D kak effektivnogo instrumenta upravleniya slozhnyimi inzhenernymi obyektami AES / Perspektivnoye razvitiye nauki, tekhniki i tekhnologiy [Implementation of MULTI-D-based digital twins as an effective tool for managing complex engineering objects of NPPs / Promising development of science, engineering, and technology]. Sbornik nauchnykh statey 12-oy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii – Collection of scientific articles from the 12th International scientific and practical conference (November 1, pp. 159–162). Kursk: Southwest State University. [in Russian].

9. Danilov A. D., Povarov V. P., Karasev V. N., Rosnovsky V. S., Tulinov D. V., Chernyshov D. V. (2024). Programmnoe modelirovanie gamma-polei na promyshlennoi ploshchadke AEHS [Software modeling of gamma fields at a nuclear power plant industrial site]. ANRI – ANRI, No. 3 (118), pp. 37–42. [in Russian].
10. Baryshnikov A. V. (2026). Svidetel'stvo o gosudarstvennoi registratsii programmy dlya EHVM 2026617201 [Certificate of state registration of the computer program 2026617201]. Russian Federation. SmartTour: No. 2026616056: applied for on March 4, 2026; published (registered) on March 13, 2026 (1 page). [in Russian].

Сведения об авторах

Поваров Владимир Петрович, заместитель генерального директора – директор филиала АО «Концерн Росэнергоатом» «Нововоронежская АЭС» (396071, Воронежская область, г. Нововоронеж, промзона Южная, д. 1).

Сафронова Наталия Николаевна, заместитель генерального директора, Ассоциация организаций строительного комплекса атомной отрасли (АСКАО) (117485, Москва, ул. Обручева, д. 30/1, стр. 1).

Росновский Сергей Викторович, заместитель главного инженера по радиационной защите, филиал АО «Концерн Росэнергоатом» «Нововоронежская АЭС» (396071, Воронежская область, г. Нововоронеж, промзона Южная, д. 1).

Барышников Александр Викторович, ведущий инструктор Учебно-тренировочного пункта, филиал АО «Концерн Росэнергоатом» «Нововоронежская АЭС» (396071, Воронежская область, г. Нововоронеж, промзона Южная, д. 1).

Росновский Виктор Сергеевич, оператор реакторного отделения реакторного цеха № 6, филиал АО «Концерн Росэнергоатом» «Нововоронежская АЭС» (396071, Воронежская область, г. Нововоронеж, промзона Южная, д. 1).

Authors credentials

Povarov Vladimir Petrovich, Deputy General Director – Director of Novovoronezh NPP branch of Rosenergoatom JSC (1, Yuzhnaya industrial zone, Novovoronezh, Voronezh reg., 396071), e-mail: PovarovVP@nvnpp1.rosenergoatom.ru.

Safronova Nataliya Nikolaevna, Deputy General Director, Association of Organizations of the Nuclear Industry Construction Complex (ASKAO) (30/1 bld. 1, Obrucheva str., Moscow, 117485), e-mail: safronova_natalya@accni.ru.

Rosnovsky Sergey Victorovich, Deputy Chief Engineer for Radiation Safety, Novovoronezh NPP branch of Rosenergoatom JSC (1, Yuzhnaya industrial zone, Novovoronezh, Voronezh reg., 396071), e-mail: RosnovskySV@nvnpp1.rosenergoatom.ru.

Baryshnikov Alexander Victorovich, Lead Instructor of the training center, Novovoronezh NPP branch of Rosenergoatom JSC (1, Yuzhnaya industrial zone, Novovoronezh, Voronezh reg., 396071), e-mail: BaryshnikovAV@nvnpp1.rosenergoatom.ru.

Rosnovsky Viktor Sergeevich, Reactor Department Operator of Reactor Shop 6, Novovoronezh NPP branch of Rosenergoatom Concern JSC (1, Yuzhnaya industrial zone, Novovoronezh, Voronezh reg., 396071), e-mail: rvs05071999@yandex.ru.

Для цитирования

Поваров В. П., Сафронова Н. Н., Росновский С. В., Барышников А. В., Росновский В. С. Программно-аппаратный комплекс поддержки вывода из эксплуатации объектов использования атомной энергии // Ядерная и радиационная безопасность. 2026. № 2 (120). С. 16–27. DOI: 10.26277/SECNRS.2026.120.2.002.

For citation

Povarov V. P., Safronova N. N., Rosnovsky S. V., Baryshnikov A. V., Rosnovsky V. S. (2026). Programmno-apparatnyi kompleks podderzhki vyvoda iz ehkspluatatsii ob'ektov ispol'zovaniya atomnoi ehnergii [Software and hardware complex for decommissioning of nuclear power facilities]. Yadernaya i radiatsionnaya bezopasnost' – Nuclear and Radiation Safety Journal, No. 2 (120), pp. 16–27. [in Russian]. DOI: 10.26277/SECNRS.2026.120.2.002.