

УДК 517

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПЛАТФОРМЫ DIGITAL DECOMMISSIONING ДЛЯ ЦИФРОВОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫХ СТАДИЙ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ОИАЭ

В.Л. Тихоновский^{1,*}, А.А. Бундин¹

¹Группа компаний «НЕОЛАНТ», ООО, Москва, 105062, Россия

e-mail: tikhonovsky@neolant.group

Поступила в редакцию: 25.04.2024

После доработки: 25.04.2024

Принята к публикации: 14.05.2024

Рассматривается методология применения платформы Digital Decommissioning для цифрового сопровождения этапов вывода из эксплуатации объектов использования атомной энергии. Основное внимание уделяется базовым принципам платформы в части обязательности создания и применения исполнительных трехмерных моделей ОИАЭ на всех этапах его подготовки к выводу и непосредственно вывода из эксплуатации. Описывается применение модулей платформы Digital Decommissioning на этапах подготовки и вывода из эксплуатации (ВЭ) ОИАЭ для создания цифровых исполнительных инженерных и цифровых исполнительных инженерно-радиационных моделей объектов и последующего цифрового проектирования их вывода из эксплуатации, а также для эффективного механизма повторного использования лучших инженерных практик при разработке проектов вывода из эксплуатации для последующих объектов.

Ключевые слова: Digital Decommissioning, вывод из эксплуатации, цифровая информационная модель, цифровая исполнительная инженерная модель, цифровая исполнительная инженерно-радиационная модель.

DOI: 10.26583/vestnik.2024.324

ZPSLJM

Платформа Digital Decommissioning создана как результат интеграции возможностей базовых программных продуктов управления инженерными данными, разрабатываемых группой компаний «НЕОЛАНТ» и более чем пятнадцатилетнего опыта работы в сфере применения цифровых технологий для решения инженерных задач ВЭ ОИАЭ. Первоначальная разработка платформы Digital Decommissioning была инициирована в 2017 г. компанией «НЕОЛАНТ» в партнерстве с Национальным исследовательским Томским политехническим университетом (НИ ТПУ). Одновременно компания «НЕОЛАНТ» в составе международного консорциума приступила к выполнению работ по разработке проектной документации на ВЭ 1–4 блоков АЭС «Козлодуй» (АЭС с блоками ВВЭР-440 в Республике Болгария), что обеспечило наличие актуальной основы и данных для тестирования платформы.

В рамках первоначальной разработки платформы Digital Decommissioning был проведен анализ требований нормативных и руководящих документов, рекомендаций МАГАТЭ, на основе

которого были разработаны требования к платформе цифрового сопровождения заключительной стадии жизненного цикла ОИАЭ. Также в партнерстве со специалистами НИ ТПУ были разработаны первоначальные математические подходы к решению «обратной» задачи – определению радиационных характеристик элементов помещений ОИАЭ на основе геометрически привязанных к пространству исполнительной трехмерной инженерной модели помещения точек измерения МЭД гамма-излучения.

Опыт компании «НЕОЛАНТ» в части создания и применения информационных моделей был отмечен как лучшая практика в техническом отчете МАГАТЭ IAEA-TECDOC-1919 [1]. Также, согласно отчету, опубликованному в 2021 г. исследовательским проектом Евросоюза SHARE [2] и посвященному разработке дорожной карты развития технологий и методик ВЭ ОИАЭ на ближайшие 15–20 лет, цифровая платформа Digital Decommissioning была выделена как одна из ведущих в мире для реализации цифрового формата сопровождения этапов ВЭ ОИАЭ. Кроме того, платформа Digital

Decommissioning упоминается как передовая инновационная практика в отчетах аналитических центров¹ отраслевых организаций [3].

Основным принципом, на котором основывается платформа Digital Decommissioning является применение трехмерной исполнительной модели ОИАЭ на всех этапах его подготовки к выводу и вывода из эксплуатации. При этом модель должна включать не только геометрическую составляющую, но и весь массив инженерных характеристик элементов объекта, а также данные измерений радиационной обстановки. Геометрическая составляющая модели является важнейшей частью информации об объекте ВЭ, так как процессы, технологии и риски при ВЭ во многом обусловлены геометрической (топологической) сложностью объектов, что совместно с фактором радиационного загрязнения их оборудования и конструкций требует многомерного мультивариативного анализа при разработке проектно-технологических решений по ВЭ.

Вторым базовым принципом платформы Digital Decommissioning является обязательность создания и применения именно исполнительных моделей ОИАЭ, так как реинжиниринг, имеющийся в архивах эксплуатирующих и проектных организаций бумажных чертежей, не позволит получить актуальные модели объектов: в подавляющем большинстве случаев документация сильно не соответствует реальному состоянию объекта. В наибольшей степени это свойственно для ОИАЭ, сооруженных в 40–90 гг. XX в. Обеспечить геометрическую точность модели позволяет применение современных технологий лазерного сканирования и сферического фотографирования. Проектная и эксплуатационная документация в бумажном формате используется как справочный материал, а так же как основа для заполнения данными атрибутов объектов в составе цифровой модели. При этом создание цифровой исполнительной модели ОИАЭ включает обязательную процедуру валидации данных, вносимых в атрибутивно-классовую иерархию цифровой модели. Валидация данных является важнейшей, но крайне трудоемкой задачей при создании циф-

ровой исполнительной модели ОИАЭ, требующей основных временных затрат на ее создание. Выполнение валидации данных требует сопоставления информации из множества источников (различных версий проектно-конструкторской документации из архивов объекта, проектных, конструкторских организаций, эксплуатационной документации), взаимодействия с поставщиками заводами-изготовителями, активного вовлечения цехов и подразделений объекта, подключения ветеранов ОИАЭ, вышедших на пенсию.

В настоящее время платформа Digital Decommissioning находится в стадии активного развития, практическое выполнение проектов с ее применением позволяет формировать богатую основу для совершенствования и расширения платформы. На сегодняшний день цифровая платформа Digital Decommissioning включает 12 модулей:

- «Цифровая информационная модель»;
- «КИРО»;
- «Мобильный клиент КИРО»;
- «Радиационные расчеты»;
- «Проектирование ВЭ»;
- «Банк данных для проектирования ВЭ»;
- «Локальная концепция»;
- «Имитационное моделирование»;
- «Подготовка персонала»;
- «Практические работы»;
- «Мобильный клиент для практических работ»;
- «Опыт вывода из эксплуатации».

Модули платформы Digital Decommissioning являются комплексами связанных функциональных компонентов – программ. Модули и их компоненты реализованы на основе базовых программных решений, разработанных и активно развиваемых группой компаний «НЕОЛАНТ» в течение последних 15 лет.

В платформе Digital Decommissioning под общим термином цифровая информационная модель (ЦИМ) ОИАЭ понимаются модели двух видов: цифровая исполнительная инженерная модель (ЦИИМ), цифровая исполнительная инженерно-радиационная модель (ЦИИРМ).

Для создания полнофункциональной ЦИИМ должно быть выполнено: лазерное сканирование и сферическое фотографирование помещений объекта, его вспомогательных зданий и сооружений, промплощадки, распознавание данных лазерного сканирования с формированием базовых 3D-САПР-моделей, сбор и валидация данных из проектно-конструкторской и эксплу-

¹ Отчет «Актуализация лучших российских и мировых практик, а также перспективных направлений развития технологий, оборудования, цифровых решений в области организации и выполнения работ по ВЭ ЯРОО»: Государственная корпорация по атомной энергии «Росатом». М.: АО «ВНИИНМ», 2019 г.

атационной документации, баз данных информационных систем, применяемых на объекте. Интеграция этих данных обеспечивает создание ЦИИМ. Необходимо отметить, что для формирования интегральной исполнительной трехмерной модели в составе модуля «Цифровая информационная модель» могут быть использованы все ведущие отечественные и зарубежные форматы 3D-САПР.

Выполнение валидации данных одновременно с лазерным сканированием и сферическим фотографированием позволяет иметь уверенность в том, что ЦИИМ содержит актуальную информацию об элементах ОИАЭ не только с точки зрения их геометрического соответствия, но и с точки зрения актуальности вводимых в ЦИИМ сведений об их характеристиках.

С учетом временных и ресурсных затрат на создание ЦИИМ ОИАЭ наиболее целесообразным временем начала формирования ЦИИМ является срок за два года перед началом разработки локальной концепции ВЭ и формирования программы ВЭ ОИАЭ, что обеспечит достоверность информации, расчетов и выводов в указанных основополагающих документах. При разработке указанных документов целесообразно применять модули «Локальная концепция» и «Опыт вывода из эксплуатации». При этом даже если в последующем конфигурация ОИАЭ претерпит изменения, например из-за принятия решения о продлении срока службы и проведении соответствующей модернизации, наличие ЦИИМ позволит создать надежную основу для интеграции всех данных процесса продления срока службы и передачи достоверной актуализированной информации об ОИАЭ на стадию ВЭ, которая в любом случае должна быть реализована. В случае же принятия решения об останове ОИАЭ, его конфигурация, очевидно, уже не претерпит в дальнейшем серьезных изменений, а ЦИИМ будет служить основой для детализированного обоснованного планирования КИРО и его последующего проведения в цифровом формате. По результатам выполнения инженерной части КИРО ЦИИМ должна быть соответствующим образом дополнена, а по результатам выполнения радиационной части КИРО на основе ЦИИМ должна быть сформирована ЦИИРМ – цифровая исполнительная инженерно-радиационная модель ОИАЭ.

ЦИИРМ является развитием ЦИИМ за счет вычисления радиационных характеристик элементов в помещениях на основе наличия в ЦИИМ всех необходимых материальных данных об его элементах и геометрически привязанных

к пространству исполнительной модели помещения результатов измерений МЭД гамма-излучения. Изначально в среде модуля «Цифровая информационная модель» платформы Digital Decommissioning формируется ЦИИМ ОИАЭ, которая в дальнейшем средствами модулей «КИРО», «Мобильный клиент КИРО» и «Радиационные расчеты» трансформируется в цифровую исполнительную инженерно-радиационную модель, элементы которой имеют заполненные значения атрибута «Удельная активность», что открывает возможности мультивариативного оптимизационного проектирования с учетом радиационного фактора, обеспечивает повышенную точность определения объемов образования РАО, расчет динамики изменения дозовых нагрузок на персонал при выполнении практических работ по ВЭ, точность оценки потребных трудовых, временных и машинных ресурсов для осуществления работ.

На выходе процесса проектирования средствами платформы Digital Decommissioning формируется цифровой проект ВЭ (ЦПВЭ), который развивает ЦИИМ/ЦИИРМ в направлении насыщения разнообразными электронными данными, документами, формируемыми на этапе разработки проектной документации, а также инструментами для отображения и работы с ними. ЦПВЭ содержит итоговый комплект разработанной проектной документации в электронном виде.

Помимо этого платформа Digital Decommissioning позволяет решить существующую проблему сферы ВЭ – отсутствие эффективного механизма повторного использования лучших инженерных практик при разработке проектов ВЭ для последующих объектов. Модуль «База данных оборудования» позволяет заказчику (эксплуатирующей организации) проанализировать разработанный ЦПВЭ и вычленив из него цифровые описания оптимальных технологических процессов, элементарных технологических операций, оборудования и расходных материалов, контейнеров, средств индивидуальной защиты и другого вспомогательного оснащения для сохранения в каталоги модуля в целях применения при разработке цифровых проектов ВЭ для последующих объектов. Это позволяет реализовывать заказчику единую техническую политику при ВЭ.

В настоящее время ведутся работы по дальнейшему усовершенствованию платформы Digital Decommissioning, связанные с повышением автоматизации сбора и обработки данных в ходе проведения инженерной и радиационной ча-

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПЛАТФОРМЫ DIGITAL DECOMMISSIONING ДЛЯ ЦИФРОВОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫХ СТАДИЙ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ОИАЭ

стей КИРО. По результатам проведенных комплексных междисциплинарных исследований разработан и запатентован способ построения ЦИИРМ остановленного для ВЭ ОИАЭ, важным элементом которого является подсистема сбора геометрических и радиационных данных в привязке к локальным координатам ограниченного пространства произвольной геометрии объекта, состоящая из множества автономных движущихся устройств (роботов, дронов), оснащенных датчиками для сбора данных, управляющей станции, модуля запуска-останова автономных движущихся устройств, подсистемы построения ЦИИМ и ЦИИРМ [4]. Применение такого способа позволит существенно повысить качество проведения КИРО, точность построения ЦИИРМ и, как следствие, качество проектирования ВЭ и организации практических работ по ВЭ ОИАЭ.

Таким образом, заложенная в платформу Digital Decommissioning методология основана на полученном опыте применения цифровых технологий для ВЭ ОИАЭ и позволяет решать самый широкий спектр задач, связанный с подготовкой и непосредственно выводом из эксплуатации таких объектов – от концептуального планирования до детальной разработки практических работ и управления проектом. По состоянию на 2024 г. платформа достигла технологической зрелости и является уникальным решением как в России, так и за рубежом, обеспечивая значительное повышение эффективности и

сокращение затрат при реализации проектов по ВЭ ОИАЭ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. International Atomic Energy Agency. Application of Plant Information Models to Manage Design Knowledge through the Nuclear Power Plant Life Cycle. Vienna: IAEA-TECDOC-1919, IAEA, 2020 г. 98 p.
2. Pancotti F. D3.1: Report detailing applicable technologies/ methodologies. SHARE. H2020 NFRP-2018 CSA: Coordination and Support Action. Grant Agreement № 847626, 2020, 499 p. [Электронный ресурс]. URL: https://share-h2020.eu/wp-content/uploads/2021/05/SHARE_D3.1-Report-detailing-applicable-technologies-methodologies.pdf (дата обращения 25.03.2024).
3. Мансуров О.А., Птицын П.Б. Вывод из эксплуатации ядерно- и радиационноопасных объектов: рынки, финансово-экономические аспекты, стратегии ВЭ и перспективные технологии (Аналитический отчет). М.: ЦАИР, частное учреждение «Наука и инновации», 2021. 162 с.
4. Тихоновский В.Л., Кононов П.В., Мендельбаум М.А., Юшицын К.В. Способ построение цифровой исполнительской инженерно-радиационной модели остановленного для вывода из эксплуатации объекта использования атомной энергии при выполнении комплексного инженерного и радиационного обследования указанного объекта и система для реализации указанного способа. Патент РФ, № 2815600 от 19.03.2024 г. <https://fips.ru/EGD/5b5cd772-f37d-4640-a755-56fa65ca34b1>.

Vestnik Natsional'nogo Issledovatel'skogo Yadernogo Universiteta «MIFI», 2024, vol. 13, no. 3, pp. 192–196

METHODOLOGY BASICS FOR UTILIZING THE DIGITAL DECOMMISSIONING PLATFORM FOR DIGITAL SUPPORT OF NUCLEAR BACK-END ACTIVITIES

V.L. Tikhonovsky^{1,*}, A.A. Bundin¹

¹NEOLANT Group of Companies, Moscow, 105062, Russia

*e-mail: tikhonovsky@neolant.group

Received April 25, 2024; revised April 25, 2024; accepted May 14, 2024

The methodology for utilizing the Digital Decommissioning platform for digital support during the various stages of decommissioning nuclear facilities is considered. The primary focus is putted on the fundamental principles of the platform, specifically the mandatory building and utilization of detailed 3D-models of the nuclear facilities throughout the preparation and execution of decommissioning. The usage of Digital Decommissioning platform modules during the preparation and execution stages of nuclear facility decommissioning is described, including the building of detailed digital engineering and digital engineering and radiation models of the facilities, as well as the

subsequent digital design of their decommissioning and for reusing valuable engineering practices during the development of decommissioning projects for future facilities that are out of service.

Keywords: Digital Decommissioning Platform, decommissioning nuclear facilities, digital engineering model, digital engineering and radiation model.

REFERENCES

1. International Atomic Energy Agency. Application of Plant Information Models to Manage Design Knowledge through the Nuclear Power Plant Life Cycle. Vienna: IAEA-TECDOC-1919, IAEA, 2020 г. 98 p.
2. *Pancotti F.* D3.1: Report detailing applicable technologies/ methodologies. SHARE. H2020 NFRP-2018 CSA: Coordination and Support Action. Grant Agreement № 847626, 2020, 499 p. Available at: https://share-h2020.eu/wp-content/uploads/2021/05/SHARE_D3.1-Report-detailing-applicable-technologies-methodologies.pdf (accessed 25.03.2024).
3. *Mansurov O.A., Ptitsyn P.B.* Vyvod iz ekspluatsii yaderno- i radiacionno-opasnyh ob"ektov: rynki, finansovo-ekonomicheskie aspekty, strategii VE i perspektivnye tekhnologii (Analiticheskij otchet) [Decommissioning of nuclear and radiation hazardous facilities: markets, financial and economic aspects, renewable energy strategies and promising technologies (Analytical report)] / M.: CAIR, Chastnoe uchrezhdenie «Nauka i innovacii» Publ., 2020. 162 p.
4. *Tihonovskij V.L., Kononov P.V., Mendel'-baum M.A., Yushicin K.V.* Sposob postroenie cifrovoj ispolnitel'noj inzhenerno-radiacionnoj modeli ustanovlennogo dlya vyvoda iz ekspluatsii ob"ekta ispol'zovaniya atomnoj energii pri vypolnenii kompleksnogo inzhenernogo i radiacionnogo obsledovaniya ukazannogo ob"ekta i sistema dlya realizacii ukazannogo sposoba. [A method for constructing a digital executive engineering radiation model of an atomic energy facility stopped for decommissioning when performing a comprehensive engineering and radiation survey of the specified facility and a system for implementing the specified method]. Patent RF, no. 2815600, 19.03.2024. <https://fips.ru/EGD/5b5cd772-f37d-4640-a755-56fa65ca34b1>.