

Структура и содержание платформы управления стадиями жизненного цикла АЭС

Мохаммад Альшрайдех, Игорь Анатольевич Енговатов,
Андрей Александрович Морозенко

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет
(НИУ МГСУ); г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Управление жизненным циклом (ЖЦ) атомных электростанций (АЭС) является сложным процессом по многим причинам, одна из которых — большой объем информации, требующей осмысления и анализа на всех этапах ЖЦ: начиная с размещения и выбора площадки и до завершающего этапа вывода из эксплуатации. Управление ЖЦ АЭС представляет собой многофакторный процесс, включающий анализ большого количества разноплановой информации и действий. Для принятия во внимание всех деталей этого сложного процесса по управлению ЖЦ необходимо создание цифровой платформы, а для облегчения процесса обработки информации и управления ЖЦ АЭС — математическое описание.

Материалы и методы. Цель исследования — обоснование необходимости создания платформы управления ЖЦ АЭС от стадии размещения до стадии вывода из эксплуатации. Элементы платформы управления следует использовать для осуществления стратегического планирования при принятии долгосрочных решений, направленных на обеспечение безопасности, учитывая, что вывод станции из эксплуатации является самым высокорисковым этапом ЖЦ АЭС.

Результаты. Рассматриваются основы создания платформы управления ЖЦ АЭС, включая математическое описание и алгоритмы методики для управления им, представлены структура и образ платформы, приведен пример управления рисками.

Выводы. Предложены структура и содержание платформы управления ЖЦ АЭС, которая объединяет все стадии ЖЦ АЭС, систематизирует информацию обо всех событиях и элементах в цифровом формате с учетом факторов: безопасности, стоимости, долговечности, времени. Платформа позволяет проводить анализ и оценку стадий ЖЦ АЭС.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: управление жизненным циклом АЭС, управление рисками, анализ рисков, риски на стадиях жизненного цикла АЭС, платформа ЖЦ АЭС, методика управления ЖЦ АЭС, методика управления рисками, риски на ЖЦ АЭС

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Альшрайдех М., Енговатов И.А., Морозенко А.А. Структура и содержание платформы управления стадиями жизненного цикла АЭС // Строительство: наука и образование. 2024. Т. 14. Вып. 2. С. 18–31. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2024.2.18-31

Автор, ответственный за переписку: Игорь Анатольевич Енговатов, eng46@mail.ru.

Structure and content of the NPP life cycle stage management platform

Mohammad Alshraideh, Igor A. Engovatov, Andrey A. Morozenko

Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU);
Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. Life cycle management of nuclear power plants is a complex process for many reasons, one of which is a large amount of information that requires understanding and analysis at all stages of the life cycle (LC): from the stage of "Site placement and selection" to the final stage of "Decommissioning". NPP lifecycle management is a multifactorial process that includes obtaining and analysing a large amount of diverse information and actions. To consider all the details of this complex LC management process, it is necessary to create a digital platform, and to facilitate the process of information processing and management of NPP LC, a mathematical description is needed.

Materials and methods. The purpose of this paper is to substantiate the need to create a management platform for NPP LC from the stage of placement to the stage of decommissioning. The elements of the management platform should be used in the implementation of strategic planning when making long-term decisions aimed at ensuring safety, given that the decommissioning of the plant is the most high-risk stage of the NPP housing and communal services.

Results. The paper discusses the basics of creating an NPP LC management platform, including a mathematical description and algorithms of the methodology for managing it, presents the structure and image of the platform and provides an example of risk management.

Conclusions. The structure and content of the NPP LC management platform are proposed, which combines all stages of the NPP life cycle, consolidates and systematizes information about all events and elements in digital format, considering factors: safety, cost, durability, time, the platform allows for analysis and evaluation of NPP LC stages.

KEYWORDS: NPP life cycle management, risk management, risk analysis, risks at the stages of the NPP life cycle, NPP LC platform, NPP life cycle management methodology, risk management methodology, risks at NPP LC

FOR CITATION: Alshraideh M., Engovatov I.A., Morozenko A.A. Structure and content of the NPP life cycle stage management platform. *Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie* [Construction: Science and Education]. 2024; 14(2):18-31. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2024.2.18-31

Corresponding author: Igor A. Engovatov, eng46@mail.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Жизненный цикл (ЖЦ) сложных объектов капитального строительства, к которым относятся энергоблоки атомных электростанций (АЭС), включает следующие основные стадии [1, 2]:

1. Размещение и оценка площадки.
2. Проектирование.
3. Сооружение.
4. Эксплуатация.
5. Вывод из эксплуатации.

Международным агентством по атомной энергии (МАГАТЭ) термину «жизненный цикл атомной электростанции» дано определение: это интеграция управления безопасностью, управления старением и решений по управлению бизнесом, а также экономических соображений в течение срока службы атомной электростанции. Управление ЖЦ производится с целью [3, 4]:

- поддерживать приемлемый уровень производительности и безопасности;
- оптимизировать эксплуатацию, техническое обслуживание и срок службы конструкций систем и компонентов;
- максимизировать отдачу от инвестиций в течение всего срока эксплуатации атомной электростанции;
- учитывать национальные стратегии финансирования ЖЦ (включая вывод из эксплуатации), рациональное использование топлива и отходов;
- безопасность персонала и населения должна иметь первостепенное значение при эксплуатации атомной электростанции и выводе из эксплуатации;
- сумма и срок действия обязательств, остающихся после прекращения производства электроэнергии, значительно больше, чем для большинства бизнес-активов в других отраслях;
- надлежащая эксплуатация может привести к отсрочке капитальных затрат, необходимых для вывода из эксплуатации и хранения отходов;
- средства для выполнения обязательств по выводу из эксплуатации должны быть собраны во время эксплуатации;
- активизация эффективной системы управления рисками с первого этапа ЖЦ для минимизации и устранения рисков, которые могут повлиять на все этапы ЖЦ АЭС.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Цель исследования — обоснование необходимости создания платформы управления ЖЦ АЭС от стадии размещения до стадии вывода из эксплуатации. В настоящее время в научной литературе системный анализ вопросов управления ЖЦ АЭС носит недостаточно полный характер, а существующие системы поддержки принятия решений обеспечивают лишь фрагментарные возможности управления ЖЦ. В данной публикации предложена платформа комплексного управления и принятия решений на протяжении всего ЖЦ АЭС.

РЕЗУЛЬТАТЫ

МАГАТЭ разработало принципы и руководящие указания по эффективному управлению ЖЦ [3] для легких реакторов на воде и для реакторов на тяжелой воде с целью удовлетворения требований к безопасному и длительному обеспечению электроэнергией с сохранением конкурентоспособности. Основную цель эксплуатирующей компании АЭС можно сформулировать как: «работать как можно дольше, насколько это экономически целесообразно и возможно с точки зрения безопасности». Таким образом управление жизненным циклом это:

- система программ и процедур для выполнения требований безопасной эксплуатации и выработки электроэнергии конкурентоспособным способом и в течение времени, рационального с технической и экономической точек зрения [5];
- инструмент управления для достижения целей производительности, безопасности, долговечности и экономичности [6].

Данные руководящие принципы были разработаны с использованием существующего международного опыта мировой атомной энергетики и материалов экспертов, занимающихся продлением лицензий и модернизацией, аспектами регулирования, повышением безопасности и экономичности АЭС [6].

Авторы считают, что управление ЖЦ АЭС заключается в сборе и объединении всех элементов и событий, влияющих на ЖЦ, в единой базе данных на платформе с последующей их обработкой с применением современных методов для оценки состояния АЭС, которая позволяет оценить текущий этап

ЖЦ и принять решение о переводе станции на следующий этап ЖЦ. Предлагаемая платформа управления ЖЦ АЭС, по сути, является цифровой базой данных с последующей их обработкой, вводимых на всех этапах ЖЦ АЭС по факторам (рис. 1).



Рис. 1. Факторы, влияющие на ЖЦ АЭС

Платформа управления ЖЦ АЭС служит основой при формировании программы для контроля ЖЦ АЭС с ее создания до момента вывода из эксплуатации, поэтому каждый элемент платформы прямо или косвенно отвечает за набор численных значений, которые помогают иметь полное представление обо всех событиях для принятия решений, в том числе о переходе на следующий этап.

Следует отметить, что управление необходимо в течение всего ЖЦ АЭС, а не на отдельном этапе.

Платформа призвана облегчить контроль и надзор за управлением текущей стадией проекта АЭС, оценить текущее состояние, а также контролировать перевод АЭС с текущей стадии на следующую.

Платформа разделена на 17 элементов, как показано на рис. 2.

Обеспечение безопасной, экономичной и долгосрочной эксплуатации эквивалентно предоставлению дополнительной генерирующей мощности, что предполагает продление срока действия в максимально возможной степени при сохранении безопасности и конкурентоспособности АЭС. Следует помнить, что целью строительства АЭС является экономичная выработка и продажа электроэнергии, доходы от которой должны обеспечивать финансирование всего ЖЦ [6–10].

Краткое описание наиболее важных элементов (событий) управления ЖЦ АЭС приведено в таблице.

Предлагаемая платформа управления ЖЦ АЭС (рис. 2) объединяет все элементы (события), влияющие на ЖЦ АЭС, в одно уравнение, где сумма всех элементов считается равной 1 или 100 баллам [5].

Присвоение числового значения каждому элементу дает возможность произвести оценку элементов по заданным критериям методами экспертной оценки и многокритериального принятия решений (Multi-criteria decision analysis — MCDA). Другими словами, платформа управления ЖЦ АЭС — это сумма элементов, которые образуют интегрированную систему, позволяющую спе-



Рис. 2. Элементы платформы управления жизненным циклом АЭС

Элементы (события) управления жизненным циклом АЭС

п/п	Элемент	Описание
1	Управление безопасностью	Компонент управления всей организацией описан в системе менеджмента качества. Повышение показателей безопасности организации посредством планирования, контроля и надзора за деятельностью, связанной с безопасностью, включая формирование сильной культуры безопасности посредством развития и укрепления надлежащего отношения и поведения в области безопасности [3, 4, 10]
2	Управление активами	Бизнес-дисциплина, связанная с мониторингом, и отслеживание активов организации. ЖЦ актива начинается с его приобретения и продолжается через его техническое обслуживание, ремонт и модернизацию вплоть до окончательной утилизации актива. В случае АЭС жизненный цикл объекта — от стадии размещения до вывода из эксплуатации [3, 4, 10]
3	Управление старением	Определяется как действия по проектированию, эксплуатации и техническому обслуживанию, направленные на контроль в допустимых пределах деградации систем, конструкций и компонентов при старении конструкции, системы и компонентов
4	Профилактическое техническое обслуживание	Административная и техническая деятельность, которая поддерживает конструкции, системы и компоненты в рабочем состоянии. Она включает как профилактическое обслуживание, так и прогнозируемое техническое обслуживание, а также корректирующее, периодическое и плановое техническое обслуживание с целью поддержания или продления срока службы путем контроля деградации и отказов до приемлемого уровня
5	Менеджмент качества	Систематизированный инструмент для выполнения работы с конечной целью — выполнить ее правильно с первого раза. Эффективному управлению ЖЦ способствует обеспечение того, чтобы система управления, используемая на ранних стадиях ЖЦ установки, адекватно отвечала требованиям последующего этапа ЖЦ
6	Управление использованием знаний	Систематическое управление информационными активами организации с целью создания ценности и удовлетворения тактических и стратегических требований. Оно состоит из инициатив, процессов, стратегий и систем, которые поддерживают и совершенствуют хранение, оценку, обмен, уточнение и создание знаний
7	Управление эффективностью	Стратегический подход к созданию и поддержанию улучшенной производительности сотрудников, ведущий к повышению эффективности компаний. Метод постоянного информирования сотрудников о должностных обязанностях, приоритетах, ожиданиях от результатов работы и планирования развития. Цель состоит в том, чтобы помочь повысить их эффективность и синхронизировать ее с целями организации. Это стратегический подход, при котором менеджеры организации предоставляют обратную связь своим сотрудникам для достижения стратегических целей. Это все текущие действия, взаимодействия и коммуникация между сотрудниками с целью помочь им достичь их собственных целей и внести свой вклад в успех команды и организации
8	Управление персоналом	Система отношений, связанных с целенаправленным воздействием на персонал организации для обеспечения его эффективного функционирования за счет наиболее полного использования трудового потенциала. Концепция управления персоналом — это система теоретико-методологических взглядов на понимание и определение сущности, содержания, целей, задач, критериев, принципов и методов управления персоналом, а также организационно-практических подходов к формированию механизма ее реализации в конкретных условиях функционирования организаций [13, 14]
9	Цифровизация	Каждое здание и каждый элемент оборудования имеет цифровую копию, позволяющую анализировать его состояние в реальном времени, предсказывать проблемы, предотвращать их с помощью предиктивной аналитики
10	Управление радиоактивными отходами	Упорядоченный процесс для удаления, повторного использования, сокращения и предотвращения образования отходов. Термин, также известный как утилизация отходов. Это подход, при котором компании реализуют комплексные стратегии эффективного управления отходами от их образования до окончательного удаления. Целью обращения с радиоактивными отходами является сведение к минимуму их воздействия на живых существ и окружающую среду. Обращение с радиоактивными отходами включает в себя процесс изоляции или уменьшения радиоактивных рисков путем снижения количества или концентрации любого радиоактивного материала, который вступает в контакт с биосферой [15–17]
11	Управление лицензиями	Применительно к АЭС включает в себя все процессы лицензирования и/или авторизации ядерной установки и ее деятельности. Организация процесса получения всех разрешений и лицензий, которые важны для сбора данных о фазах ЖЦ АЭС

п/п	Элемент	Описание
12	Периодическая оценка безопасности	Оценки состояния безопасности с учетом срока эксплуатации ядерной установки, пункта хранения, а также старения оборудования на основе законодательства стран [18]
13	Оптимизация с учетом экономических показателей	Сущность статического подхода к экономической эффективности состоит в максимизации результата при минимизации затрат [19]
14	Экологическое управление	Это урегулированная деятельность специальных уполномоченных субъектов, направлена на создание конкретных правоотношений в сфере охраны окружающей среды, рациональное природопользование, соблюдение экологических прав и исполнение экологических обязанностей [20]
15	Управление рисками	Процессы, связанные с идентификацией, анализом рисков и принятием решений, которые включают максимизацию положительных и минимизацию отрицательных последствий наступления рисков событий [9]
16	Управление материалоемкостью	Экономическая сущность материалоемкости продукции заключается в том, что она выражает удельные материальные затраты на производство единицы продукции с определенной потребительной стоимостью [21]
17	Управление заинтересованными сторонами	Управление заинтересованными сторонами проекта рассматривается как непрерывный процесс [22, 23], в частности, это четырехэтапный процесс выявления заинтересованных сторон, определения их влияния, разработки плана управления коммуникациями и оказания влияния на заинтересованные стороны посредством взаимодействия. В области маркетинга считается, что клиенты являются одной из наиболее важных заинтересованных сторон в управлении долгосрочной стоимостью бизнеса, при этом основная цель фирмы — управление удовлетворенностью клиентов

специалистам оценивать отдельные стадии ЖЦ АЭС с помощью методов многокритериального принятия решений.

Для числовой оценки ЖЦ АЭС предлагается следующее выражение, которое определяется как сумма веса событий (табл.) на каждой стадии:

$$C_{\text{ЖЦ АЭС}} = \sum C_p + \sum C_n + \sum C_c + \sum C_o + \sum C_{\text{вз}},$$

где $C_{\text{ЖЦ АЭС}}$ — суммарное значение веса всех стадий ЖЦ АЭС, баллы; $\sum C_p$ — суммарный вес стадии размещения, баллы; $\sum C_n$ — суммарный вес стадии проектирования, баллы; $\sum C_c$ — суммарный вес стадии строительства, баллы; $\sum C_o$ — суммарный вес стадии эксплуатации, баллы; $\sum C_{\text{вз}}$ — суммарный вес стадии вывода из эксплуатации, баллы.

После установления веса каждой стадии [24] определяется общий вес или оценка ЖЦ АЭС как сумма баллов на основе всей информации, собранной на этапе ЖЦ АЭС для количественной оценки и дальнейших расчетов и анализа. Надлежащее документирование и контроль потока информации, получаемой на всех этапах ЖЦ АЭС, ее обработка и оценка осуществляются с использованием набора методов, таких как метод Парето, матрица рисков, методы MCDM или многокритериальный анализ решений [11, 12, 25–28].

Структурный блок управления ЖЦ АЭС является важным инструментом, позволяющим контролировать процессы, а также сократить ресурсы и денежные затраты, необходимые для сбора информации на каждом этапе ЖЦ.

Цель создания платформы управления ЖЦ АЭС — обеспечение эффективного управления

в рамках специализированной технико-организационно-методической системы управления ЖЦ АЭС, создаваемой с использованием отечественного и зарубежного опыта управления в сфере атомной энергетики. Область применения платформы — все стадии ЖЦ АЭС [29].

Необходимость создания платформы управления ЖЦ АЭС связана с реализацией инвестиционных проектов (мегапроектов), содержащих совокупность взаимосвязанных проектов, объединенных общей целью, выделенными ресурсами и определенным сроком реализации [10].

Под мегапроектом принято понимать масштабный комплексный проект, включающий множество частных проектов и программ, тесно связанных между собой и объединенных общей целью [8]. Многие мегапроекты являются межотраслевыми и/или международными. Среди отличительных признаков мегапроектов можно выделить: высокий объем инвестиций (более 50 млрд руб.), длительность реализации 5 и более лет, а также трудоемкость порядка 15–20 млн человеко-часов, значительное влияние на развитие регионов и стран, в которых они реализуются.

Предложенная авторами платформа управления ЖЦ АЭС увязана с нормативной структурой Российской Федерации, она помогает углубить понимание того, как действовать, и связать информацию, предоставляемую всеми структурными единицами, с единой базой данных.

Использование платформы управления ЖЦ АЭС иллюстрируется на примере управления рисками, как одном из важнейших элементов управления ЖЦ АЭС в целом.

Алгоритм методики управления рисками ЖЦ АЭС с помощью платформы

Для управления рисками на стадии ЖЦ АЭС применяется набор методов, которые объединены в методику управления рисками АЭС (рис. 3), с целью получения наиболее обоснованных решений, сокращения трудозатрат и денежных затрат.

Идентифицированные риски оцениваются экспертами, при этом определяются их веса. В первой группе методов — метод Парето и метод матрицы рисков, они могут быть использованы как в качественном (матрица), так и в количественном анали-

зе (метод Парето). Ранее авторами в работе [5] было доказано, что они дают одинаковый результат.

После получения результатов анализа риски оцениваются с помощью методов многокритериального анализа решений, объединения методов анализа иерархий и нечеткой логики [26–29].

Определение веса рисков является одним из наиболее важных этапов в анализе рисков, который помогает установить приоритеты и принимать сложные решения.

Общая блок-схема управления рисками на ЖЦ АЭС представлена на рис. 4.

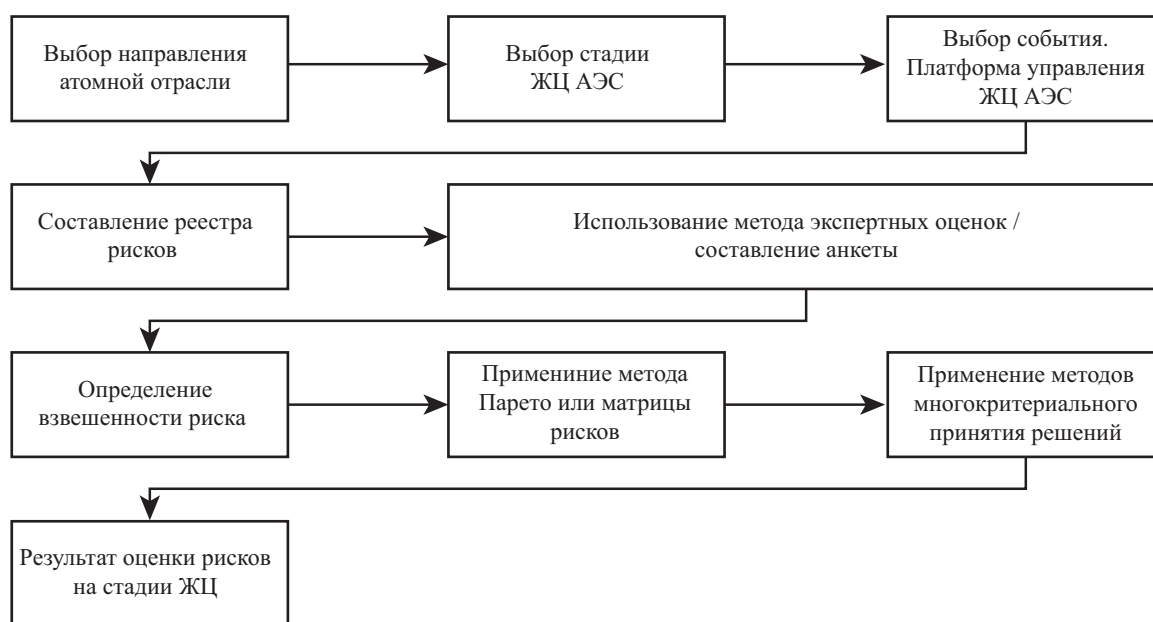


Рис. 3. Методика управления рисками на ЖЦ АЭС

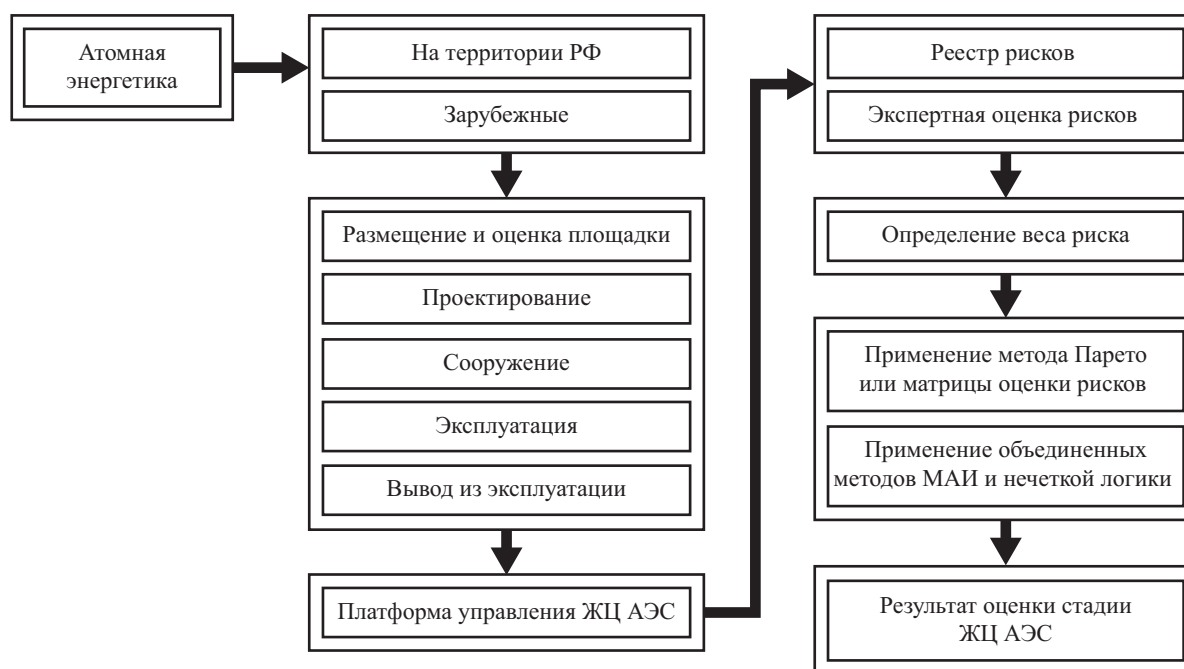


Рис. 4. Блок-схема управления рисками на ЖЦ АЭС

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложены структура и содержание платформы управления ЖЦ АЭС, которая объединяет все стадии жизненного цикла, консолидирует и систематизирует информацию обо всех событиях и элементах в цифровом формате с учетом фак-

торов: безопасности, стоимости, долговечности, времени.

Платформа позволяет проводить анализ и оценку стадий ЖЦ АЭС и принимать обоснованные решения о переводе АЭС на следующую стадию.

Описана методика управления рисками ЖЦ АЭС с помощью платформы.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Альшрайдех М., Енговатов И.А. Классификация рисков на стадиях жизненного цикла атомной электростанции // Вестник евразийской науки. 2023. Т. 15. № 2. EDN NSKXHE
2. Альшрайдех М., Енговатов И., Морозенко А. Вопросы управления жизненным циклом АЭС // Энергетическая политика. 2023. № 1 (179). С. 56–71. DOI: 10.46920/2409-5516.2023_1179.56. EDN QQCRPB
3. Clark C.R. Safe and effective nuclear power plant life cycle management towards decommissioning // IAEA-TECDOC-1305. International Atomic Energy Agency IAEA. 2002. Pp. 1–30.
4. Nuclear power plant life management and longer-term operation // Nuclear Development. 2006. DOI: 10.1787/9789264029255-en
5. Альшрайдех М., Енговатов И.А., Морозенко А.А. Анализ методов идентификации и ранжирование рисков на жизненном цикле АЭС // Строительство: наука и образование. 2023. Т. 13. № 4. С. 128–141. DOI: 10.22227/2305-5502.2023.4.9. EDN UIZFWP
6. Kang K.S., Clark C.R., Omoto A. Integrated plant life management (PLiM) // The IAEA Contribution. 2005.
7. Schlissel D., Biewald B. Nuclear power plant construction costs // Synapse Energy Economics. 2008.
8. Jeffrey C.S. Mega-project construction management: the Corps of Engineers and Bechtel Group in Saudi Arabia : thesis. Massachusetts Institute of Technology, 1991.
9. Hopkin P. Fundamentals of risk management: understanding, evaluating and implementing effective risk management. Kogan Page Publishers, 2018.
10. Добряхина О.П. Проблемы и риски реализации мегапроектов в России // Вестник евразийской науки. 2022. Т. 14. № 6. DOI: 10.15862/03ECVN622. EDN ILOWQL
11. Sarkar A., Mukhopadhyay A.R., Ghosh S.K. Issues in Pareto analysis and their resolution // Total Quality Management & Business Excellence. 2013. Vol. 24. Issue 5–6. Pp. 641–651. DOI: 10.1080/14783363.2012.704265
12. Лотов А.В., Поспелова И.И. Многокритериальные задачи принятия решений : учебное пособие. М. : Макс-Пресс, 2008. 196 с.
13. Schuler R.S., Budhwar P.S., Florkowski G.W. International human resource management : review and critique // International Journal of Management Reviews. 2002. Vol. 4. Issue 1. Pp. 41–70. DOI: 10.1111/1468-2370.00076
14. Wiley C. International Human Resource Management edited by Anne-Wil Harzing and Joris Van Ruysseveldt // Journal of Global Business. 1996. Vol. 7. Pp. 66–68.
15. Lidskog R., Andersson A.C. The management of radioactive waste. A description of ten countries. Svensk Karnbranslehantering AB, 2002.
16. Efremkov V.M. Radioactive waste management at nuclear power plants // IAEA Bulletin. 1989. Vol. 31. Issue 4. Pp. 37–42.
17. Gonzalez A.J. The safety of radioactive waste management // IAEA Bulletin. 2000. Vol. 42. Issue 3.
18. Кравчук М. Разработка системы показателей безопасности АЭС // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2012. Т. 2. № 8 (56). С. 4–11. EDN XRJKKF
19. Лукашин А.Ф. Оптимизация экономической эффективности работы предприятия на примере имеющихся показателей деятельности // Молодой ученый. 2016. № 8 (112). С. 578–580. EDN VWGBUJ
20. Пархачева А.С., Федоскин Н.Н. Государственное экологическое управление // Теоретические аспекты юриспруденции и вопросы правоприменения : сб. ст. по мат. XXX Междунар. науч.-практ. конф. 2019. С. 129–133. EDN FUFXON
21. Семашкина З.Н. Материалоемкость производства: содержание и эволюция понятия // Интернет-журнал «Науковедение». 2014. № 4 (23). С. 43. EDN TCFMLP
22. Borgström F., Karlsson L., Ortsäter G., Norton N., Halbout P., Cooper C. et al. Fragility fractures in Europe: burden, management and opportunities // Archives of Osteoporosis. 2020. Vol. 15. Issue 1. DOI: 10.1007/s11657-020-0706-y
23. Greenley G.E., Foxall G.R. Multiple stakeholder orientation in UK companies and the implications for company performance // Journal of Management Studies. 1997. Vol. 34. Issue 2. Pp. 259–284. DOI: 10.1111/1467-6486.00051
24. Данелян Т.Я. Формальные методы экспертных оценок // Статистика и Экономика. 2015. № 1. С. 183–187. EDN TQJPJL

25. Vaidya O.S., Kumar S. Analytic hierarchy process : an overview of applications // European Journal of Operational Research. 2006. Vol. 169. Issue 1. Pp. 1–29. DOI: 10.1016/j.ejor.2004.04.028
26. Saaty T.L. The analytic hierarchy process (AHP) // The Journal of the Operational Research Society. 1980. Vol. 41. Issue 11. Pp. 1073–1076.
27. Seising R., Trillas E., Kacprzyk J. Towards the future of fuzzy logic // Studies in Fuzziness and Soft Computing. 2015. DOI: 10.1007/978-3-319-18750-1
28. Kahraman C. Fuzzy multi-criteria decision making: theory and applications with recent developments // Springer Optimization and Its Applications. 2008. DOI: 10.1007/978-0-387-76813-7
29. Зимаков А.В. Демонтаж АЭС в Евросоюзе: проблемы финансирования // Контуры глобальных трансформаций: политика, экономика, право. 2022. Т. 15. № 1. С. 186–202. DOI: 10.31249/kg/2022.01.09. EDN FHPKZC

Поступила в редакцию 20 апреля 2024 г.

Принята в доработанном виде 9 мая 2024 г.

Одобрена для публикации 28 мая 2024 г.

ОБ АВТОРАХ: **Мохаммад Альшрайдех** — аспирант кафедры строительства объектов тепловой и атомной энергетики; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; ORCID: 0000-0002-6396-7791; Msh.19894@yahoo.com;

Игорь Анатольевич Енговатов — доктор технических наук, профессор кафедры строительства объектов тепловой и атомной энергетики; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; Scopus: 6507232254, ResearcherID: AFN-5363-2022, ORCID: 0000-0001-9302-5431; eng46@mail.ru;

Андрей Александрович Морозенко — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой строительства объектов тепловой и атомной энергетики; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; Scopus: 57193025936, ResearcherID: AFO-1863-2022, ORCID: 0000-0003-4166-536X; morozenkoaa@ygsu.ru.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

INTRODUCTION

The life cycle (LC) of complex capital construction facilities, which include power units of nuclear power plants (NPP), includes the following main stages [1, 2]:

1. Site Allocation and Site Assessment.
2. Design.
3. Construction.
4. Operation.
5. Decommissioning.

The International Atomic Energy Agency (IAEA) defines the term "life cycle of a nuclear power plant" as the integration of safety management, ageing management and business management decisions, and economic considerations over the lifetime of a nuclear power plant. Life cycle management is performed with a purpose [3, 4]:

- maintain acceptable levels of performance and safety;
- optimize the operation, maintenance and service life of system structures and components;
- maximize the return on investment over the lifetime of the nuclear power plant;
- take into account national strategies for financing the life cycle (including decommissioning), fuel and waste management;

- the safety of personnel and the public should be of paramount importance in the operation and decommissioning of a nuclear power plant;

- the amount and duration of liabilities remaining after the cessation of power generation are significantly greater than for most business assets in other industries;

- proper operation may result in the deferral of capital expenditure required for decommissioning and waste storage;

- funds to fulfil decommissioning obligations should be collected during operation;

- activation of an effective risk management system from the first stage of the life cycle to minimize and eliminate risks that may affect all stages of the NPP life cycle.

MATERIALS AND METHODS

The aim of the study is to substantiate the necessity of creating a platform for NPP life cycle management from the stage of placement to the stage of decommissioning. At present, in the scientific literature, the system analysis of NPP life cycle management issues is not comprehensive enough, and the existing decision support systems provide only fragmentary possibilities

of life cycle management. This publication proposes a platform for integrated management and decision-making throughout the entire NPP lifecycle.

RESULTS

The IAEA developed principles and guidelines for effective life cycle management [3] for light water reactors and for heavy water reactors in order to meet the requirements for safe long-term electricity supply while maintaining competitiveness. The main objective of a nuclear power plant operating company can be summarized as: “to operate for as long as economically and safely possible”. Thus life cycle management is:

- a system of programmes and procedures for meeting the requirements for safe operation and power generation in a competitive manner and within a time frame that is technically and economically sound [5];
- management tool to achieve the goals of performance, safety, durability and economy [6].

These guidelines were developed using existing international experience in the global nuclear power industry and input from experts involved in license renewal and modernization, regulatory aspects, safety and economic improvement of NPP [6].

The authors believe that NPP life cycle management consists in collecting and combining all elements and events affecting the life cycle in a single database on the platform with their subsequent processing using modern methods to assess the state of NPP, which makes it possible to evaluate the current stage of the life cycle and make a decision to transfer the plant to the next stage of the life cycle. The proposed NPP life cycle management platform is, in fact, a digital database with their subsequent processing, entered at all stages of NPP life cycle by factors (Fig. 1).



Fig. 1. Factors influencing the NPP life cycle

The NPP life cycle management platform serves as a basis for the formation of a programme to control the NPP life cycle from its creation to the moment of decommissioning, so each element of the platform is directly or indirectly responsible for a set of numerical values that help to have a complete picture of all events for decision making, including the transition to the next stage. It should be noted that management is needed throughout the whole NPP life cycle, not at a single stage.

The platform is designed to facilitate the control and supervision of the management of the current stage of the NPP project, to assess the current status, and to control the transfer of the NPP from the current stage to the next stage.

The platform is divided into 17 elements as shown in Fig. 2.

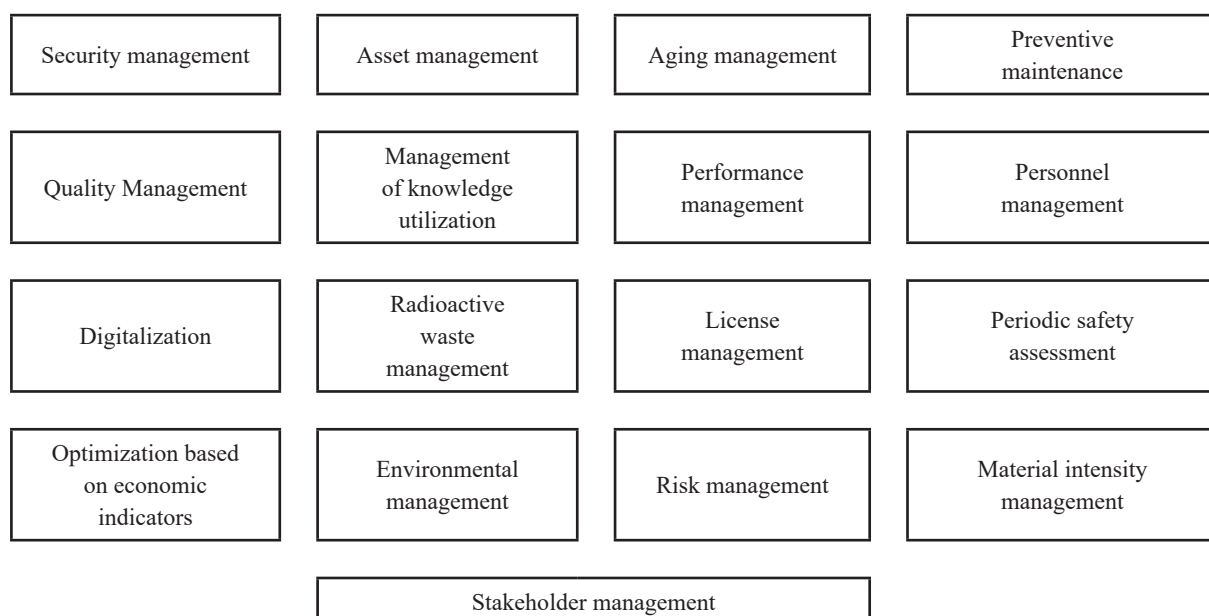


Fig. 2. Elements of the NPP life cycle management platform

Ensuring safe, economic and long-term operation is equivalent to providing additional generating capacity, which implies extending the lifetime to the maximum extent possible while maintaining the safety and competitiveness of the NPP. It should be remembered

that the purpose of NPP construction is the economical generation and sale of electricity, the revenues from which should finance the entire life cycle [6–10].

A brief description of the most important elements (events) of NPP LC control is given in the Table.

Elements (events) of NPP life cycle management

n/a	Element	Description
1	Security management	The management component of the whole organization is described in the quality management system. Improving the safety performance of the organization through the planning, control and supervision of safety related activities, including building a strong safety culture by developing and reinforcing appropriate safety attitude and behaviour [3, 4, 10]
2	Asset management	The business discipline associated with monitoring and tracking an organization's assets. The life cycle of an asset starts with its acquisition and continues through its maintenance, repair and modernization up to the final disposal of the asset. In the case of NPPs, the lifecycle of an asset is from the stage of placement to decommissioning [3, 4, 10]
3	Aging management	Defined as design, operation, and maintenance actions to control, within acceptable limits, the degradation of systems, structures, and components as the structure, system, and components age
4	Preventive maintenance	Administrative and technical activities that keep structures, systems and components in working order. It includes both preventive maintenance and predictive maintenance, as well as corrective, periodic and planned maintenance to maintain or extend service life by controlling degradation and failure to an acceptable level
5	Quality Management	A systematized tool for getting the job done with the ultimate goal of doing it right the first time. Effective life cycle management is facilitated by ensuring that the control system used in the early stages of the plant's life cycle adequately meets the requirements of the later stage of the life cycle
6	Management of knowledge utilization	The systematic management of an organization's information assets to create value and meet tactical and strategic requirements. It consists of initiatives, processes, strategies and systems that support and improve the storage, evaluation, sharing, refinement and creation of knowledge
7	Performance management	A strategic approach to creating and sustaining improved employee performance leading to improved company performance. A method of continually communicating job responsibilities, priorities, performance expectations and development planning to employees. The aim is to help improve their performance and synchronize it with the organization's goals. It is a strategic approach where managers of an organization provide feedback to their employees to achieve strategic goals. It is all the ongoing actions, interactions and communication between employees to help them achieve their own goals and contribute to the success of the team and the organization
8	Personnel management	A system of relations related to the purposeful influence on the personnel of an organization to ensure its effective functioning through the fullest use of labour potential. The concept of personnel management is a system of theoretical and methodological views on understanding and defining the essence, content, goals, objectives, tasks, criteria, principles and methods of personnel management, as well as organizational and practical approaches to the formation of its implementation mechanism in specific conditions of functioning of organizations [13, 14]
9	Digitalization	Every building and every piece of equipment has a digital copy, allowing you to analyze its condition in real time, predict problems, prevent them with predictive analytics
10	Radioactive waste management	An organized process for removing, reusing, reducing and preventing the generation of waste. A term also known as waste management. It is an approach whereby companies implement comprehensive strategies for the effective management of waste from generation to final disposal. The objective of radioactive waste management is to minimize its impact on living beings and the environment. Radioactive waste management involves the process of isolating or reducing radioactive risks by reducing the amount or concentration of any radioactive material that comes into contact with the biosphere [15–17]

n/a	Element	Description
11	Licence management	For NPP, this includes all licensing and/or authorization processes for the nuclear installation and its activities. Organization of the process of obtaining all approvals and licenses that are important for collecting data on the phases of the NPP life cycle
12	Periodic safety assessment	Safety assessments taking into account the lifetime of the nuclear facility, the storage site, and the ageing of the equipment based on national legislation [18]
13	Optimization based on economic indicators	The essence of the static approach to economic efficiency is to maximize the result while minimizing the costs [19]
14	Environmental management	This is a regulated activity of special authorized subjects, aimed at creating specific legal relations in the field of environmental protection, rational nature management, observance of environmental rights and performance of environmental duties [20]
15	Risk management	Processes related to risk identification, analysis and decision-making, which include maximizing positive and minimizing negative consequences of risk events [9]
16	Material intensity management	The economic essence of material intensity of products is that it expresses specific material costs for the production of a unit of products with a certain consumer value [21]
17	Stakeholder management	Project stakeholder management is considered as a continuous process [22, 23], specifically, it is a four-step process of identifying stakeholders, determining their influence, developing a communication management plan, and influencing stakeholders through engagement. In the field of marketing, customers are considered to be one of the most important stakeholders in managing the long-term value of a business, with customer satisfaction management being the main goal of the firm

The proposed NPP LC management platform (Fig. 2) combines all elements (events) affecting the NPP LC into one equation, where the sum of all elements is considered to be equal to 1 or 100 points [5].

Assigning a numerical value to each element makes it possible to evaluate elements according to specified criteria using methods of expert evaluation and multi-criteria decision analysis (MCDA). In other words, the NPP life cycle management platform is a sum of elements that form an integrated system allowing experts to evaluate individual stages of NPP life cycle using multi-criteria decision-making methods.

The following expression is proposed for the numerical assessment of the NPP life cycle, which is defined as the sum of the weight of events (Tabl.) at each stage:

$$C_{LCNPP} = \sum C_l + \sum C_d + \sum C_c + \sum C_o + \sum C_{ds},$$

where C_{LCNPP} — is the total weight of all stages of NPP life cycle, points; $\sum C_l$ — total weight of the location stage, points; $\sum C_d$ — total weight of the design stage, points; $\sum C_c$ — total weight of the construction stage, points; $\sum C_o$ — total weight of the operation stage, points; $\sum C_{ds}$ — total weight of the decommissioning stage, points.

Once the weight of each stage has been established [24], the overall weight or score of the NPP LC is determined as a sum of scores based on all the information collected during the NPP LC stage for quantification and further calculations and analyses. Proper documentation and control of the flow of information received at all stages of the NPP life cycle, its processing and evaluation are performed using a set of methods such

as the Pareto method, risk matrix, MCDM methods or multi-criteria decision analysis [11, 12, 25–28].

The NPP life cycle management building block is an important tool to control processes and to reduce the resources and monetary costs required to collect information at each stage of the life cycle.

The purpose of the NPP life cycle management platform is to ensure effective management within the framework of a specialized technical, organizational and methodological system of NPP life cycle management, created using domestic and foreign management experience in the nuclear power industry. The platform application area is all stages of the NPP life cycle [29].

The need to create a platform for NPP life cycle management is associated with the implementation of investment projects (megaprojects) containing a set of interrelated projects united by a common goal, allocated resources and a certain period of implementation [10].

A megaproject is commonly understood as a large-scale complex project that includes many private projects and programmes closely related to each other and united by a common goal [8]. Many megaprojects are cross-sectoral and/or international. Among the distinguishing features of megaprojects: high investment volume (more than 50 billion rubles), duration of implementation of five or more years, as well as labour intensity of about 15–20 million man-hours, significant impact on the development of regions and countries in which they are implemented.

The NPP life cycle management platform proposed by the authors is linked to the regulatory structure of the Russian Federation; it helps to deepen the understanding of how to proceed and to link the information provided by all structural units to a single database.

The use of the NPP life cycle management platform is illustrated by the example of risk management as one of the most important elements of NPP life cycle management as a whole.

Algorithm of NPP life cycle risk management methodology using the platform

To manage risks at the NPP life cycle stage, a set of methods is used, which are combined into the NPP risk management methodology (Fig. 3) in order to obtain the most reasonable decisions, reduce labour and monetary costs.

The identified risks are evaluated by experts, and their weights are determined. In the first group of methods — Pareto method and risk matrix method, they can be used both in qualitative (matrix) and quantitative analysis (Pareto method). Earlier authors in [5] proved that they give the same result.

Once the results of the analysis are obtained, the risks are evaluated using multi-criteria decision analysis methods, combining hierarchy analysis and fuzzy logic methods [26–29].

Determining risk weights is one of the most important steps in risk analysis, which helps prioritize and make complex decisions.

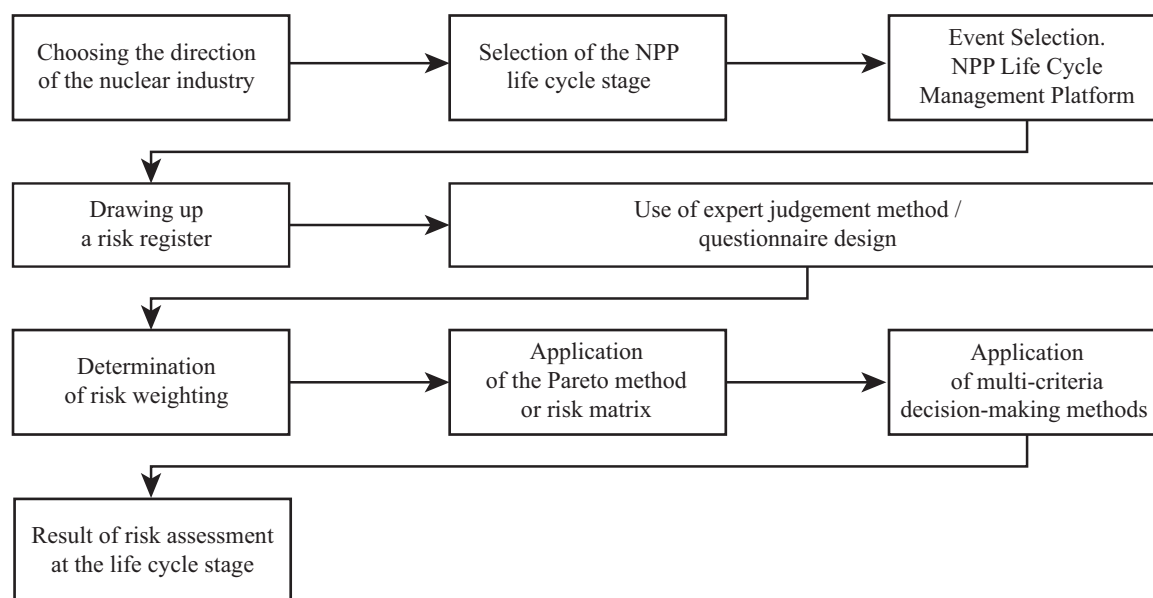


Fig. 3. Methodology of risk management in the NPP lifecycle

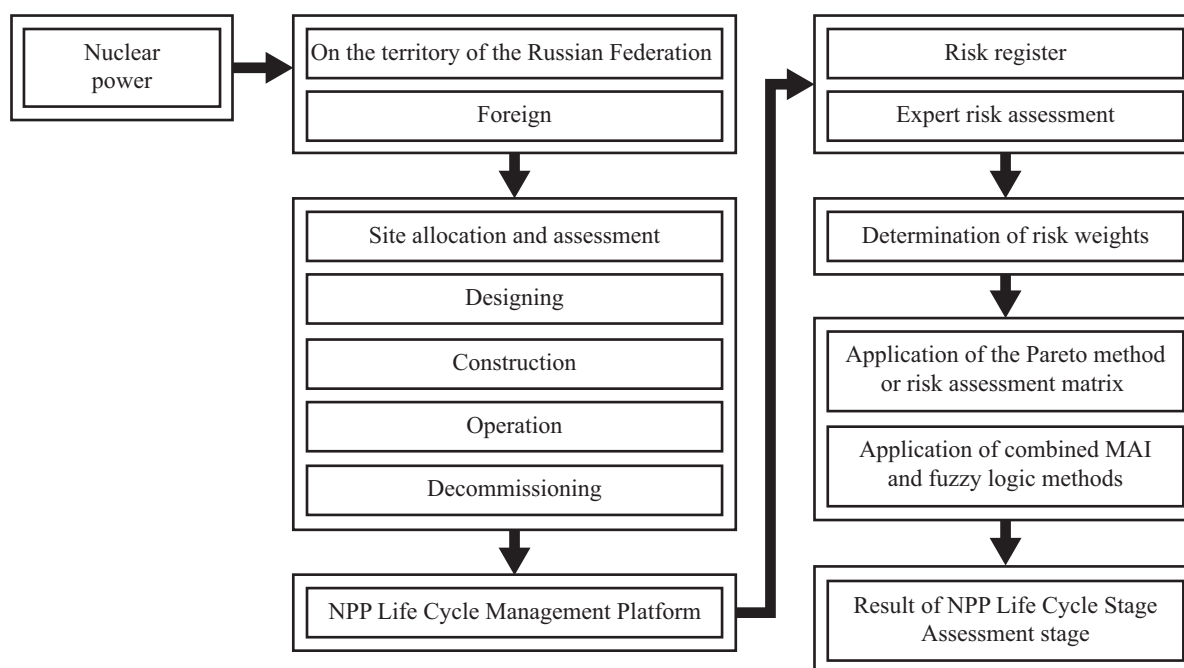


Fig. 4. Block diagram of risk management in the NPP life cycle

The general block diagram of risk management in the NPP lifecycle is presented in Fig. 4.

CONCLUSION

The structure and content of the NPP life cycle management platform is proposed, which integrates all stages of the life cycle, consolidates and systematizes

information about all events and elements in a digital format taking into account the factors: safety, cost, durability, time.

The platform allows analyzing and evaluating the stages of NPP lifecycle and making informed decisions on NPP transfer to the next stage.

The methodology of NPP lifecycle risk management using the platform is described.

REFERENCES

1. Alshraideh M., Engovatov I.A. Classification of risks at the stages of the life cycle of a nuclear power plant. *The Eurasian Scientific Journal*. 2023; 15(2). EDN NSKKXE (rus.).
2. Alshraydekh M., Engovatov I., Morozenko A. The issues of NPP life cycle management. *Energy Policy*. 2023; 1(179):56-71. DOI: 10.46920/2409-5516.2023_1179.56. EDN QQCRPB (rus.).
3. Clark C.R. Safe and effective nuclear power plant life cycle management towards decommissioning. *IAEA-TECDOC-1305. International Atomic Energy Agency IAEA*. 2002; 1-30.
4. Nuclear power plant life management and longer-term operation. *Nuclear Development*. 2006. DOI: 10.1787/9789264029255-en
5. Alshraideh M., Engovatov I.A., Morozenko A.A. Analysing methods of risk identification and ranking in the life cycle of nuclear power plants. *Construction: Science and Education*. 2023; 13(4):128-141. DOI: 10.22227/2305-5502.2023.4.9. EDN UIZFWP (rus.).
6. Kang K.S., Clark C.R., Omoto A. Integrated plant life management (PLiM). *The IAEA Contribution*. 2005.
7. Schlissel D., Biewald B. Nuclear power plant construction costs. *Synapse Energy Economics*. 2008.
8. Jeffrey C.S. *Mega-project construction management: the Corps of Engineers and Bechtel Group in Saudi Arabia : thesis*. Massachusetts Institute of Technology, 1991.
9. Hopkin P. *Fundamentals of risk management: understanding, evaluating and implementing effective risk management*. Kogan Page Publishers, 2018.
10. Dobryakhina O.P. Problems and risks of implementing megaprojects in Russia. *The Eurasian Scientific Journal*. 2022; 14(6). DOI: 10.15862/03ECVN622. EDN ILOWQL (rus.).
11. Sarkar A., Mukhopadhyay A.R., Ghosh S.K. Issues in Pareto analysis and their resolution. *Total Quality Management & Business Excellence*. 2013; 24(5-6):641-651. DOI: 10.1080/14783363.2012.704265
12. Lotov A.V., Pospelova I.I. *Multicriteria decision-making problems : textbook*. Moscow, Max-Press, 2008; 196. (rus.).
13. Schuler R.S., Budhwar P.S., Florkowski G.W. International human resource management : review and critique. *International Journal of Management Reviews*. 2002; 4(1):41-70. DOI: 10.1111/1468-2370.00076
14. Wiley C. International human resource management edited by Anne-Wil Harzing and Joris Van Ruysseveldt. *Journal of Global Business*. 1996; 7:66-68.
15. Lidskog R., Andersson A.C. *The management of radioactive waste. A description of ten countries*. Svensk Karnbranslehantering AB, 2002.
16. Efremenkova V.M. Radioactive waste management at nuclear power plants. *IAEA Bulletin*. 1989; 31(4):37-42.
17. Gonzalez A.J. The safety of radioactive waste management. *IAEA Bulletin*. 2000; 42(3).
18. Kravchuk M. Development of indicators system of NPP safety. *East European Journal of Advanced Technologies*. 2012; 2(8):(56):4-11. EDN XRJKKF (rus.).
19. Lukashin A.F. Optimization of the economic efficiency of an enterprise using the example of existing performance indicators. *Young Scientist*. 2016; 8(112):578-580. EDN VWGBUJ (rus.).
20. Parhachova A., Fedoskin N. State environmental management. *Theoretical Aspects of Jurisprudence and Issues of Law Enforcement : collection of articles based on the materials of the XXX international scientific and practical conference*. 2019; 129-133. EDN FUFXOH (rus.).
21. Semashkina Z. Material consumption in industrial production: the content and evolution of the views. *The Eurasian Scientific Journal*. 2014; 4(23):43. EDN TCFMLP (rus.).
22. Borgström F., Karlsson L., Ortsäter G., Norton N., Halbout P., Cooper C. et al. Fragility fractures in Europe: burden, management and opportunities. *Archives of Osteoporosis*. 2020; 15(1). DOI: 10.1007/s11657-020-0706-y
23. Greenley G.E., Foxall G.R. Multiple stakeholder orientation in UK companies and the implications for company performance. *Journal of Management Studies*. 1997; 34(2):259-284. DOI: 10.1111/1467-6486.00051
24. Danelyan T.Ya. Formal methods of expert estimations. *Statistics and Economics*. 2015; 1:183-187. EDN TQJPJL (rus.).
25. Vaidya O.S., Kumar S. Analytic hierarchy process : an overview of applications. *European*

Journal of Operational Research. 2006; 169(1):1-29. DOI: 10.1016/j.ejor.2004.04.028

26. Saaty T.L. The analytic hierarchy process (AHP). *The Journal of the Operational Research Society*. 1980; 41(11):1073-1076.

27. Seising R., Trillas E., Kacprzyk J. Towards the future of fuzzy logic. *Studies in Fuzziness and Soft Computing*. 2015. DOI: 10.1007/978-3-319-18750-1

28. Kahraman C. Fuzzy Multi-criteria decision making: theory and applications with recent developments. *Springer Optimization and Its Applications*. 2008. DOI: 10.1007/978-0-387-76813-7

29. Zimakov A.V. Nuclear decommissioning in the EU: financing issues. *Outlines of Global Transformations: Politics, Economics, Law*. 2022; 15(1):186-202. DOI: 10.31249/kgt/2022.01.09. EDN FHPKZC (rus.).

Received April 20, 2024.

Adopted in revised form on May 9, 2024.

Approved for publication on May 28, 2024.

B I O N O T E S: **Mohammad Alshraideh** — postgraduate student of the Department of Construction of Thermal and Atomic Power Stations; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ORCID: 0000-0002-6396-7791; Msh.19894@yahoo.com;

Igor A. Engovatov — Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Construction of Thermal and Atomic Power Stations; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; Scopus: 6507232254, ResearcherID: AFN-5363-2022, ORCID: 0000-0001-9302-5431; eng46@mail.ru;

Andrey A. Morozenko — Doctor of Technical Sciences, Professor, Head Department of the Department of Construction of Thermal and Atomic Power Stations; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; Scopus: 57193025936, ResearcherID: AFO-1863-2022, ORCID: 0000-0003-4166-536X; morozenkoaa@vgsu.ru.

Contribution of the authors all authors made an equivalent contribution to the publication.

The authors declare no conflict of interest.