

<https://doi.org/10.21869/2223-1560-2021-25-3-56-69>



Организация промышленного строительства АЭС на глобальном рынке с учетом моделирования надежности на прединвестиционных этапах

В.В. Березка¹, С.А. Баронин² ✉, В.В. Бредихин³, А.В. Зобнев²

¹ Московский государственный строительный университет,
Ярославское шоссе, д.26, г. Москва 109377, Российская Федерация

² Пензенский государственный университет архитектуры и строительства,
ул. Германа Титова, д.28, г. Пенза 440028, Российская Федерация

³ Юго-Западный государственный университет
ул. 50 лет Октября, д. 94, г. Курск 305040, Российская Федерация

✉ e-mail: baron60@inbox.ru

Резюме

Исследована проблематика управления организационной надежностью прединвестиционной фазы промышленного строительства АЭС на глобальных рынках. Актуальность тематики определяется большой неопределенностью при реализации международных инвестиционных проектов АЭС. Это подтверждают факты задержек сроков строительства и увеличение затрат более чем на 60% строящихся атомных реакторов в мире.

Цель исследования: разработка методических подходов и практических рекомендаций по моделированию и комплексному управлению показателями организационной надежности промышленного строительства АЭС на глобальном рынке на прединвестиционных этапах.

Методы. Комплекс системных методических подходов, базирующихся на методах сравнения, анализа, синтеза, моделирования, прогнозирования, экспертных оценок, математической статистики, экономико-математического моделирования, факторного, ситуационного и ретроспективного анализа, метода сценариев, морфологического и логического анализа.

Результаты: авторская методика по моделированию организационной надежности и структуры жизненного цикла промышленного строительства АЭС; особенности и тренды развития данного типа промышленного строительства; рекомендации в области организации промышленного строительства по увеличению надежности возведения АЭС на основе управляемого факторного пространства и многокритериальной оптимизации календарных план-графиков.

Заключение. Выполненные исследования подтвердили актуальность изучения предмета исследования, связанного с решением проблемы повышения организационной надежности промышленного строительства АЭС на глобальных рынках, формируемой и управляемой на прединвестиционных этапах планирования данных типов инвестиционных проектов. При этом основным итогом данных исследований можно считать повышение конкурентоспособности российских дивизионов ГК «Росатом» на международном рынке с увеличением ее текущей доли в 26% (130 млрд.долл.США) до 40-50% на период до 2035 гг.

Ключевые слова: промышленное строительство; организация строительства; организационная надежность; строительство АЭС; глобальные рынки; жизненные циклы; интенсивность строительства; безотказность.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Финансирование: Исследование выполнено при финансовой поддержке Гранта РФФИ в рамках научного проекта №18-08-00567.

Для цитирования: Организация промышленного строительства АЭС на глобальном рынке с учетом моделирования надежности на прединвестиционных этапах / В. В. Березка, С.А. Баронин, В.В. Бредихин, А. В. Зобнев // Известия Юго-Западного государственного университета. 2021; 25(3): 56-69. <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2021-25-3-56-69>.

Поступила в редакцию 02.08.2021

Подписана в печать 25.08.2021

Опубликована 21.10.2021

Organization of Industrial Construction of Nuclear Power Plants in the Global Market, Taking into Account Reliability Modeling at Pre-investment Stages

Vitaly V. Berezka ¹, Sergey A. Baronin ² ✉, Vladimir V. Bredikhin ³,
Anton V. Zobnev ²

¹ Moscow State University of Civil Engineering,
26 Yaroslavskoe shosse, Moscow 109377, Russian Federation

² Penza State University of Architecture and Construction
28 German Titov str, Penza 440028, Russian Federation

³ Southwest State University
50 Let Oktyabrya str. 94, Kursk 305040, Russian Federation

✉ e-mail: baron60@inbox.ru

Abstract

The problems of managing the organizational reliability of the pre-investment phase of the industrial construction of nuclear power plants in global markets have been investigated. The relevance of the topic is determined by the great uncertainty in the implementation of international investment projects of nuclear power plants. This is confirmed by the facts of construction delays and an increase in costs by more than 60% of nuclear reactors under construction in the world.

Purpose of research: development of methodological approaches and practical recommendations for modeling and integrated management of organizational reliability indicators of industrial construction of nuclear power plants in the global market at pre-investment stages.

Methods: a set of systematic methodological approaches based on methods of comparison, analysis, synthesis, modeling, forecasting, expert assessments, mathematical statistics, economic and mathematical modeling, factorial, situational and retrospective analysis, scenario method, morphological and logical analysis.

Results: the author's methodology for modeling organizational reliability and the structure of the life cycle of industrial construction of nuclear power plants; features and development trends of this type of industrial construction; recommendations in the field of industrial construction organization to increase the reliability of NPP construction based on a controlled factor space and multi-criteria optimization of calendar schedules.

Conclusion. The studies performed have confirmed the relevance of studying the subject of research associated with solving the problem of increasing the organizational reliability of industrial construction of nuclear power plants in global markets, formed and managed at the pre-investment stages of planning these types of investment projects. At the same time, the main result of these studies can be considered as an increase in the competitiveness of the

Russian divisions of Rosatom State Corporation in the international market with an increase in its current share of 26% (130 billion US dollars) to 40-50% for the period up to 2035.

Keywords: industrial engineering; construction organization; organizational reliability; nuclear power plant construction; global markets; life cycles; construction intensity; reliability.

Conflict of interest. The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Funding: The research was carried out with the financial support of the RFBR grant within the framework of the scientific project No. 18-08-00567.

For citation: Berezka V. V., Baronin S. A., Bredikhin V. V., Zobnev A. V. Organization of Industrial Construction of Nuclear Power Plants in the Global Market, Taking into Account Reliability Modeling at Pre-investment Stages. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*. 2021; 25(3): 56-69 (In Russ.). [https://doi.org/ 10.21869/2223-1560-2021-25-3-56-69](https://doi.org/10.21869/2223-1560-2021-25-3-56-69).

Received 02.08.2021

Accepted 25.08.2021

Published 21.10.2021

Введение

Перспективным направлением развития отечественных атомно-энергетических компаний России является участие на международном рынке промышленного строительства АЭС. Задача «увеличения экспортного потенциала» промышленного строительства АЭС сталкивается с проблемой недостаточной надежности их реализации из-за нарушения сроков строительства АЭС и превышения контрактной стоимости, что во многом объясняется наличием высоких организационных рисков, преимущественно не учтенных на предстроительной фазе.

В этой связи, особо актуальной является проблема развития методов увеличения на глобальном рынке промышленного строительства АЭС российской доли инвестпроектов, обладающих повышенной конкурентоспособностью за счет повышения организационной надежности данного вида ин-

вестпроектов, формируемой на прединвестиционной фазе.

В качестве объекта исследования приняты объекты промышленного строительства крупномасштабных технически сложных инвестиционных мега-проектов АЭС Госкорпорации «Росатом» на глобальном рынке атомно-энергетического строительства, а также аналогичные объекты прочих застройщиков в различных странах мира.

В настоящее время атомная энергетика является одной из наиболее масштабных отраслей. В последнее десятилетие мировой рынок строительства атомных станций сместился в сторону стран третьего мира¹. Развивающиеся страны, как правило, испытывают недо-

¹ Коптелов М.В. Совершенствование методов определения экономической эффективности инвестиционных проектов строительства объектов использования атомной энергии за рубежом с учетом оценки рисков : дис. ... канд. экон. наук. М., 2017. 191 с.

статок собственных средств на строительство атомных энергоблоков [1].

В истории международного строительства АЭС принято выделять три эшелона стран-поставщиков ядерных технологий¹. К первому эшелону относятся государства, начавшие развитие мирной атомной отрасли в 1950-60-е гг. Это США, Великобритания, СССР и Канада. Позже к ним присоединились страны второго эшелона: Германия, Япония, Франция, Швеция, Чехия, Италия. В последние пятнадцать лет появились новые импортеры ядерных технологий – Южная Корея и Китай (третий эшелон) [2].

Реализация проектов сооружения АЭС за рубежом относится к категории крупных сложных инвестиционно-строительных проектов, для которых характерны [3]: масштабные инвестиции (до 30 млрд. долл. США); продолжительные сроки реализации (10-15 лет на проектирование, строительство и запуск, а также 60-летний срок эксплуатации).

В диссертационной работе Леонтьева Н.Я.² представлено исследование по конкурентоспособности инжиниринговых компаний атомного строительства.

¹ Коптелов М.В. Совершенствование методов определения экономической эффективности инвестиционных проектов строительства объектов использования атомной энергии за рубежом с учетом оценки рисков : дис. ... канд. экон. наук. М., 2017. 191 с.

² Леонтьев Н.Я. Методология формирования конкурентоспособности инжиниринговых компаний атомной отрасли: дис. ... д-ра экон. наук. Нижний Новгород, 2019.

Кроме того, повышение эффективности и качества оказания услуг является важным условием продвижения отечественного оборудования атомной энергетики на мировой рынок³. Задача «увеличения экспортного потенциала» атомной энергетики зафиксирована в документах Минэкономразвития [4] и в Энергетической стратегии России, как нынешней до 2030 г.⁴, так и в разрабатываемом проекте до 2035 г.

Ряд исследований, выполненных отечественными российскими учеными [5], выявили проблемные аспекты реализуемости проектов промышленного строительства АЭС (систематическое превышение сроков строительства, размера инвестиций, достигающие до нескольких десятков или даже сотен процентов). Необходимо отметить, что согласно российской практике, зона ответственности генерального подрядчика на сооружение АЭС отличается от принятой в зарубежной практике зоны ответственности ЕРСМ-компании [6].

Установлено, что международные строительные проекты более уязвимы для споров, возникающих из-за таких факторов, как различия в правовом регулировании контрактов, культурные особенности, языковые барьеры, и тех-

³ Рогозянский Д.О. Организационно-экономический механизм повышения эффективности продвижения энергетического оборудования на мировой рынок : автореф. дис. ... канд. экон. наук: М., 2007. 21 с.

⁴ Энергетическая стратегия России на период до 2030 года, утв. распоряжением Правительства РФ от 13.11.2009 г. № 1715-р.

нические стандарты [7]. Наличие рисков всегда приводит к спорам и конфликтам данного вида промышленного строительства [8], которые имеют разный тип проявления.

В статье отечественных ученых Соловьевой А.П., Харитоновой В.В., Шмакова О.Г. [9] приведена авторская модель для расчета потерь эффективности инвестиций в АЭС при задержках их ввода в эксплуатацию. В работе Мухаммеда Муфазсала Хоссена, Санку Канг и Чонхюн Ким [10] была разработана методика оценки организационного риска отставания от графика строительства АЭС и проведена оценка этого риска в международных проектах АЭС «под ключ». Анализ показывает, что отставание от графика строительства может быть недопустимым с точки зрения недополученных доходов и процентов на капитальные затраты [11].

Перерасход бюджета и отставание от графика по проектам промышленного строительства АЭС нового поколения в последние годы дают понять, что в атомной промышленности до сих пор используются неудачные и устаревшие методы управления и контроля строительства проектов АЭС [12]. Если сроки завершения проекта откладываются на год, полная приведенная стоимость электроэнергии увеличивается примерно на 8-10% [13].

Ряд собственных исследований авторов также продемонстрировали важность формализации процессов моделирования и управления организационны-

ми рисками прединвестиционной фазы сооружения объектов атомной энергии на международном рынке промышленного строительства АЭС [14-16]. Весьма ключевым вопросом является структурирование российских стратегий продаж проектов АЭС на международном рынке [17], а также анализ проблематики выявления особенностей управления проектами и рисками подрядчика при промышленном строительстве в зарубежных странах [18].

Весьма перспективным следует считать направление оценки стоимости жизненных циклов объектов капитального строительства с позиции оценки стоимости владения для конечных потребителей [19, 20]. Использование этого принципа относительно оценки стоимости владения жизненными циклами АЭС, включая не только этап девелопмента, но и стадию эксплуатации, с учетом специфики атомного строительства за рубежом [18]. Формирование инновационных российских стратегий продаж инвестиционно-строительных проектов сооружения АЭС на глобальных рынках, как показал проведенный анализ [21], несомненно является приоритетной задачей организации эффективного промышленного строительства.

Материалы и методы

Экспертные исследования позволили установить, что ключевыми критериями организационной надежности проектов промышленного строительства АЭС является безотказность организационных

решений проектов АЭС по соблюдению сроков и стоимости строительства, принятых на ранних прединвестиционных этапах жизненного цикла (ЖЦ).

Разработка методики предусматривает приоритет положения о важности контроля организационной надежности промышленного строительства по индексам безотказности на основе соблюдения как сроков, так и стоимости строительства. Одновременный учет этих двух факторов безотказности идентифицируется в исследовании как интенсивность строительства. Это предопределяет необходимость моделирования надежности как организационной надежности (ОРН) по критерию интенсивности СМР.

С позиций сущностного понимания ОРН как безотказности интенсивности промышленного строительства по i - j стадиям ЖЦ, следует отметить ее как систему взаимного соответствия критериев надежности, имеющую начальную точку отсчета, равную единице, с последующим ее рассеиванием под действием отказов организационного типа.

В наиболее общем виде расчетная методическая схема данного подхода формализации $ОРН_{i-j}$ по стадиям ЖЦ $_{i-j}$ может иметь следующий вид с целевой функцией минимизации величины отклонений $\Delta ОРН_{i-j}$ до минимально возможных значений:

$$\begin{aligned} &ОРН_i^0[ЖЦ_i^0] \rightarrow ОРН_{i+1}[ЖЦ_{i+1}] \rightarrow \\ &\rightarrow ОРН_{i+2}[ЖЦ_{i+2}] \rightarrow \dots ОРН_{i-j}[ЖЦ_{i-j}] \rightarrow \\ &\rightarrow \Delta ОРН_{i-j}(\min). \end{aligned} \quad (1)$$

К специфике расчетной модели следует отнести тот факт, что на ранних

прединвестиционных этапах согласно методике ЮНИДО в таких документах как предварительное ТЭО, ТЭО, расчет как продолжительности, так и контрактной стоимости, в большинстве случаев, является предварительным и подлежит уточнению на стадии заключения окончательного контракта и этапа разработки и утверждения проекта в рамках раздела ПОС. Учитывая эти обстоятельства, расчетная методическая схема $ОРН_{i-j}$ по стадиям ЖЦ $_{i-j}$ может иметь следующий вид:

$$\begin{aligned} &ОРН_{ТЭО}[ЖЦ_{i-1}^{ТЭО}] \rightarrow ОРН_i^0[ЖЦ_i^0] \rightarrow \\ &\rightarrow ОРН_{i+1}[ЖЦ_{i+1}] \rightarrow \dots ОРН_{i-j}[ЖЦ_{i-j}] \rightarrow \\ &\rightarrow \Delta ОРН_{i-j}(\min). \end{aligned} \quad (2)$$

Разработанная методика предполагает моделировать показатель $ОЭН_{i-j}$ по критерию интенсивности через две основные составляющие.

Во-первых, это организационная надежность первого типа ($ОН_{i-j}(I)$) по соблюдению принятых сроков календарных графиков строительства (T_i^o) в жизненных циклах возведения АЭС как системы взаимного соответствия принятых решений по T_i^o на более поздних этапах ЖЦ $_j$ относительно более ранних ЖЦ $_i$. Любое положительное или отрицательное отклонение по срокам строительства приводит к уменьшению $ОН_{i-j}$.

В качестве дополнительного индекса организационной надежности предлагается использовать также данные по соотношению построенных энергоблоков АЭС без задержки (N^+) к их общему количеству (N_0) на определенный рас-

четный период и дату. В этом случае $ОН_n$ определяется следующим образом:

$$ОН_n = N^+ / N_0. \quad (3)$$

Данный тип ОН также характеризует вероятность безотказности строительства энергоблоков АЭС, но только не по величине отклонения от графика, а сам факт наличия такого отказа. В виду сложности сбора статистики данный показатель также интересен для применения.

Во-вторых, это организационная надежность второго типа ($ОН_{i-j}(2)$) по соблюдению принятых показателей стоимости строительства (S^0_i) в жизненных циклах возведения АЭС как системы взаимного соответствия принятых решений по S^0 на поздний этапах ЖЦ_j относительно более ранних ЖЦ_i.

Этот авторский теоретический подход можно проиллюстрировать ниже следующей формулой:

$$ОРН_{i-j} = ОН_{i-j}(1) \times ОН_{i-j}(2), \quad (4)$$

$$\text{где } ОН_{i-j}(1) = T^{i-j}_{пл} \times [1/T^{i-j}_{пл} + \Delta T^{i-j}_{отк}] = T^i \times [1/T^j + \sum \Delta_{1,2} T^j_{отк}]; \quad (5)$$

$ОН_{i-j}$ – организационная надежность решения по продолжительности строи-

тельства, определяемая согласно расчетной схеме, показанной на рис.1.

Расчетная схема идентификации отказов по продолжительности строительства предусматривает выделение двух типов отклонения фактических сроков на j -этапе от запланированного на предшествующем j -этапе: 1. Отказы относительно точки начала календарного графика - $\Delta_1 T^j_{отк}$; 2. Отказы относительно точки окончания календарного графика - $\Delta_2 T^j_{отк}$.

Вторая составляющая $ОН_{i-j}$ по $ОН_{i-j}(2)$ на основе контроля отказов по величине отклонений стоимости в методическом отношении определяется аналогичным образом.

$$ОН_{i-j}(2) = S^i_{ох} [1/S^j_{пл} + \Delta S^j_{отк}] = S^i/S^j = S^i_{пл} \times [1/S^i_{пл} + (S^j - S^i_{пл})]. \quad (6)$$

При этом стоимость (S_i) на i -этапе одновременно является как базовой, нулевой (S^0_i), так и плановой ($S^i_{пл}$).

$$S_i = S^0_i = S^i_{пл}. \quad (7)$$

Формула $ОН(2)_{i-j}$ применима при условии, когда S^j больше или равно S^i .

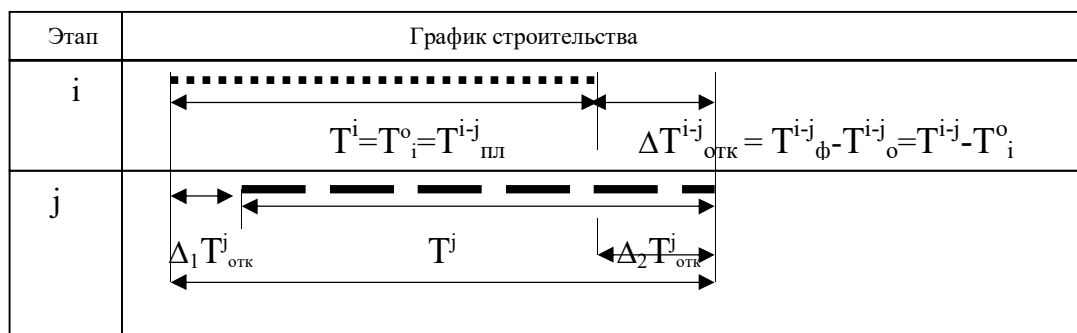


Рис.1. Расчетная схема определения параметров организационной надежности $ОН_{i-j}(1)$ по этапам ЖЦ_{i-j} на основе идентификации отказов по продолжительности строительства

Fig. 1. Calculation scheme for determining the parameters of organizational reliability $ОН_{i-j}(1)$ by stages of life cycle $i-j$ based on the identification of failures by the duration of construction

Результаты и их обсуждение

Анализ проблематики организационной надежности промышленного строительства по проектам АЭС на глобальном рынке по критерию отставания от плановых сроков строительства, показал, что из 52 строящихся блоков АЭС на 01.07.2020, с опозданием принятых ранее сроков построены 33 блока или 63,5%.

Выполненное исследование организационной надежности по критерию наличия отставания от плановых сроков ввода в эксплуатацию энергоблоков АЭС на основании открытых данных Международного энергетического агентства (МЭА), Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ), Всемирной атомной ассоциации, Агентства по атомной энергии (ОЭСР), показало, что для дивизионов ГК «Росатом» характерны относительно высокая надежность выполнения запланированных ранее графиков строительства. Так, по показателю $ОН_n$ организационная надежность для энергоблоков России составляет 0,67. Россию опережает на 01.07.2020 только Великобритания и Бангладеш с единичным показателем. Организационная надежность для Китая равна – 0,6, у Турции и Пакистана – 0,5, Индия – 0,29. В таких странах, как Южная Корея, ОАЭ, Беларусь, Словакия, США, Аргентина, Иран и Япония, организационная надежность весьма низкая, поскольку все энергоблоки строятся с задержкой.

Данный показатель $ОН_n$ дает определенную локальную картину органи-

зационной дисциплины строительства АЭС, но не претендует на свою исключительность и требует дополнительных параметров для проведения более комплексного анализа.

Анализ открытых данных МАГАТЭ¹ показал, что средняя продолжительность строительства энергоблоков АЭС составил десять лет за анализируемый период 2009-2019гг. на примере выборки из 63 строящихся энергоблоков АЭС. Минимальные сроки в Южной Корее и Китае – 4,1 года, Пакистане – 5,2 года. Для России эти показатели составляют 20,3 года – средние, минимальные – 8,1 года, максимальные – 35,1 года. Значительные сроки строительства в США (43,5 года).

Существует четкая глобальная тенденция к увеличению сроков строительства АЭС, связанная с ужесточением правил их безопасности. Так за 1980-1990 годы средний срок составлял около 8 лет. Полученные результаты за последние годы имеют средние значения в 10 лет и весьма вариативны.

Девять энергоблоков, завершенных в 2018-2019 годах китайской атомной промышленностью, заняли в среднем 7,6 года на строительство, в то время как пять российских проектов заняли в среднем 16 лет от первого начала строительства до подключения к сетям, а Ростов-4 – 35 лет от начала строительства до окончательной выработки электроэнергии. Анализ соблюдения сроков

¹ <https://prisweb.iaea.org/Home/Pris.asp>

строительства показал, что в среднем величина задержек сроков составляет не менее 50% от запланированных ранее. Можно утверждать, что короткие сроки промышленного строительства АЭС остаются исключениями.

Интервал удельной стоимости капитальных затрат (overnight) на зарубежном рынке строительства АЭС находится в диапазоне 6500-12250 дол. США за 1 КВт установленной атомной мощности, вариативна по странам, имеет тенденцию снижения, поскольку должна быть конкурентоспособна с альтернативными источниками энергии.

Ограниченный и закрытый характер информации относительно плановых и фактических значений стоимости и сроков строительства АЭС в разных странах создает сложности в апробации предложенной ранее методики ОРН. В этой связи авторами разработана экспертно-аналитическая всеерная модель графика ОРН.

Установлено, что все сегменты рынка можно условно разделить на 3 группы: А – высоконадежные проекты строительства с показателями $ОРН_{1-3}$ от 1,0 до 0,9. Как правило, для таких проектов организационная надежность $ОН(1)_{1-3}$ по срокам может соблюдаться с единичным показателем, а $ОН(2)_{1-3}$ величина отказов по стоимости в пределах 20%. Это предопределяет среднюю величину $ОРН_{1-3}$ в пределах 80% или 0,8; В – надежные проекты с $ОРН_{1-3}$ от 0,79 до 0,50; С – проекты низкой надежности с $ОРН_{1-3}$ от 0,49 до 0,20; D – проекты критической надежности – менее 0,20.

Анализ показателей $ОН(2)_{i-j}$ показал, что их средние величины всегда изменяются даже при высоких индексах организационной надежности. Так для проектов в высокой организационной зоне надежности А, когда $ОН(1)_{1-2}=1,0$, происходит изменение стоимости проекта, связанное, как минимум, с процессами инфляции и неучтенными факторами затрат.

Расчеты ОРН применительно к ряду атомных станций советского периода показали, что в группе А с наилучшими показателями строительства вошли Запорожская и Балаковская АЭС. Для них получены итоговые показатели $ОРН_{1-3}$, равные 0,60. При этом для второй группы АЭС (Калининская, Хмельницкая, Ростовская и Южно-Украинская) этот показатель составил 0,34. Полученные графики изменения данных показателей демонстрируют значительное рассеивание единичных базовых показателей до неудовлетворительных зон надежности.

Применительно к текущему периоду функционирования глобального рынка строительства АЭС имеется возможность оценить ОРН только по локальным показателям организационной надежности типа $ОН_n$, рассчитанных ранее, и среднестатистическому индексу $ОН(2)_{1-3}$ в 0,8. Это позволило получить следующие группы организационной надежности стран-заказчиков глобального рынка в порядке убывания на 01.07.2020: Великобритания и Бангладеш – 0,8 (тип А – высоконадежные); Россия, Китай – 0,5 (тип В – надежные

проекты); Турция, Пакистан – 0,4 (тип С – проекты низкой надежности).

Апробация данной методики в виду трудности сбора ряда данных носит экспериментальный характер. Интерпретация полученных результатов, как и содержание самой методики требует своего творческого развития и не претендует на завершенность.

Выводы

Выполненные исследования подтвердили важность авторского направления научно-практических работ в области разработки методических подходов и практических рекомендаций по моделированию и комплексному управлению на прединвестиционных этапах интегрированными показателями организационной надежности промышленного строительства ЭС.

Установлено, что попытка синтезировать показатель организационной надежности промышленного строительства по интенсивности жизненного цикла АЭС представляет научно-практический интерес.

Проблематика роста конкурентоспособности российских строительных дивизионов госкорпорации «Росатом» за рубежом предполагает необходимость увеличения ее текущей доли с 26% (130 млрд.долл.США) до 40-50% на период до 2035 гг. В этой связи, концепция и методика обеспечения роста организационной надежности промышленного строительства АЭС по их срокам и стоимости являются важнейшим аспектом формирования конкурентных преимуществ.

В качестве дискуссионного вопроса методики следует отметить необходимость внесения в нее корректировок применительно к стандартам конкретного корпоративного пользователя и специфики стран-заказчиков.

Значимость исследуемой проблематики для Российской экономики подтверждает тот факт, что текущий российский портфель заказов строительства АЭС на международном рынке весьма значителен. Его величина почти в 2,5 раза превышает аналогичный портфель экспортных заказов на продукцию российского оборонно-промышленного комплекса (в 2020 году – \$53,8 млрд.).

Список литературы

1. Kobrin S.J. The determinants of liberalisation of FDI policy in developing countries: A cross-sectional analysis. N.Y.: Transnat. corp., 2005. Vol. 14, N 1. P. 67-98.
2. Трансмутации рынка АЭС // Атомный эксперт. 2013. №8(17). С. 10-17.
3. Информация о состоянии атомной промышленности от Международного Агентства по Атомной Энергии (IAEA). URL: <https://www.iaea.org/topics/nuclear-power-plant-life-cycle> (дата обращения: 01.07.2021).
4. Основные направления развития экспорта на период до 2030 года (проект) / Минэкономразвития России. 2015. URL: <http://economy.gov.ru/minec/about/structure/depSvod/2015020513> (дата обращения: 01.07.2021).

5. Соловьева А.П., Харитонов В.В., Шмаков О.Г. Влияние задержек в строительстве АЭС на эффективность инвестиций // Атомные электростанции. 2018. №52.
6. Официальный сайт Государственной корпорации «Росатом». URL: <https://rosatom.ru/production/design/stroyashchiesya-aes/> (дата обращения: 01.07.2021)
7. Liu F., Jin Q., Xie M. Skitmore, Improving risk assessment in financial feasibility of international engineering projects: a risk driver perspective // Int. J. Proj. Manag. 2017. 35 (2).
8. Experience mining based on case-based reasoning for dispute settlement of international construction projects / J. Liua, H. Lia, M. Skitmoreb, Y. Zhanga // Automation in Construction. January 2019. Vol. 97.
9. Соловьева А.П., Харитонов В.В., Шмаков О.Г. Влияние задержек в строительстве АЭС на эффективность инвестиций // Известия вузов- Ядерная энергетика. 2018. №3. С. 52-62 S05.pmd (nuclear-power-engineering.ru).
10. Мухаммед Муфазсал Хоссен, Санку Канг, Чонхюн Ким. Оценка риска отставания от графика строительства с использованием комбинированной методики АНР-РП в международных проектах по строительству атомных электростанций (АЭС) // NuclEngTechnol. 2015. 47. P. 362-379. <http://dx.doi.org/10.1016/j.net.2014.12.019>.
11. Международное агентство по атомной энергии (МАГАТЭ). Серия изданий по ядерной энергии №NP-T-2.7 // Управление проектами в строительстве АЭС: руководящие принципы и опыт. Вена, 2012.
12. KPMG International. Риск незавершения строительства в новых проектах по строительству АЭС (Construction Risk in New Nuclear Power Projects) — Eyes Wide Open, 2011. URL: kpmg.com/infrastructure.
13. Сметы для сектора атомной энергетики Великобритании / Дж. Харрис, П. Хепностал, Р. Гросс, Д. Хэндли // EnergyPolicy. 2013. 62. P. 431-442.
14. Грабовый П.Г., Березка В.В. Моделирование управления рисками прединвестиционной фазы сооружения объектов атомной энергии на международном рынке строительства АЭС // Недвижимость: экономика и управление. 2021. №1. С. 6-16.
15. Грабовый П.Г., Березка В.В. Управление организационно-технологическими (операционными) рисками российских подрядчиков при сооружении АЭС за рубежом // Недвижимость: экономика и управление. 2019. №3. С. 6-17.
16. Chernyakhovskaya Y.V., Berezka V.V. Russian business strategy and tactics on the world market of NPP construction (economic system) // Proceedings of the International Scientific Conference "Far East Con". Atlantis Press, 2020. Vol. 128.
17. Grabovy P., Berezka V.. Determining the Reasonable Degree of Specialization of Russian Companies Participating in NPP Construction Abroad // Proceedings of XXIII International Scientific Conference on Advance in Civil Engineering: "FORM-2020". IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 869.
18. Березка В.В., Roehrl A. Особенности управления проектами и рисками подрядчика при осуществлении строительства в зарубежных странах // Недвижимость: экономика и управление. 2019. №1. С. 13-18.

19. Baronin S.A., Yankov A.G., Bizhanov S.A. Assessing the cost of real estate lifecycle contracts in Russia's present-day economy and the characteristics of the European experience // *Life Science Journal*. 2014. 11(8s). P. 249-253.

20. Kulakov K.Y., Baronin S.A. Modeling total cost of ownership residential real estate in the life cycles of buildings // *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCET)*. October 2018. Vol. 9, is. 10, , P. 1140-1148.

21. Черняховская Ю.В., Березка В.В. Российская стратегия продаж инвестиционно-строительных проектов сооружения АЭС (экономических систем) на международном рынке // *Недвижимость: экономика и управление*. 2019. №2. С. 53-60.

References

1. Kobrin S.J. The determinants of liberalization of FDI policy in developing countries: A cross-sectional analysis. N.Y. : Transnat. corp., 2005, vol. 14, no. 1, pp. 67-98.

2. Transmutatsii rynka AES [Transmutation of the NPP market]. *Atomnyi ekspert = Atomic Expert*, 2013, no. 8 (17), pp. 10-17.

3. Informatsiya o sostoyanii atomnoi promyshlennosti ot Mezhdunarodnogo Agentstva po Atomnoi Energii (IAEA) [Information on the state of the nuclear industry from the International Atomic Energy Agency (IAEA)]. Available at: <https://www.iaea.org/topics/nuclear-power-plant-life-cycle> (date of access: 01.07. 2021).

4. *Osnovnye napravleniya razvitiya eksporta na period do 2030 goda (proekt)* [Main directions of export development for the period up to 2030 (draft)]. Available at: <http://economy.gov.ru/minrec/about/structure/depSvod/2015020513> (access date: 07/01/2021).

5. Solovyova A.P., Kharitonov V.V., Shmakov O.G. Vliyanie zaderzhek v stroitel'stve AES na effektivnost' investitsii [Impact of delays in NPP construction on investment efficiency]. *Atomnye elektrostantsii = Nuclear Power Plants*, 2018, no. 52.

6. *Ofitsial'nyi sait Gosudarstvennoi korporatsii «Rosatom»* [Official website of the State Corporation "Rosatom". Available at: <https://rosatom.ru/production/design/stroyashchiesya-aes/> (date of access: 01.07.2021).

7. Liu F., Jin Q., Xie M. Skitmore, Improving risk assessment in financial feasibility of international engineering projects: a risk driver perspective. *Int. J. Proj. Manag.*, 2017, 35 (2).

8. Liua J., Lia H., Skitmoreb M., Zhanga Y., Experience mining based on case-based reasoning for dispute settlement of international construction projects. *Automation in Construction*, January 2019, Vol. 97,

9. Solovieva A.P., Kharitonov V.V., Shmakov O.G. Vliyanie zaderzhek v stroitel'stve AES na effektivnost' investitsii [Impact of delays in the construction of nuclear power plants on the efficiency of investments]. *Izvestiya vuzov. Yadernaya energetika = Izvestiya VUZov.- Nuclear Energy*, 2018, no. 3, p. 52-62 S05.pmd (nuclear-power-engineering.ru).

10. Muhammad Mufazsal Hossen, Sanku Kang, Chonghyun Kim. Otsenka riska otstavaniya ot grafika stroitel'stva s ispol'zovaniem kombinirovannoi metodiki AHP-RII v

mezhdunarodnykh proektakh po stroitel'stvu atomnykh elektrostantsii (AES) [Assessment of the risk of lagging behind the construction schedule using the combined AHP-RII methodology in international projects for the construction of nuclear power plants (NPP)]. *NuclEngTechnol*, 2015, 47, pp. 362-379. <http://dx.doi.org/10.1016/j.net.2014.12.019>.

11. [International Atomic Energy Agency (IAEA), Nuclear Energy Series No. NP-T-2.7]. *Upravlenie proektami v stroitel'stve AES: rukovodyashchie printsipy i opyt* [Project Management in Nuclear Power Plant Construction: Guidelines and Experience]. Vienna, 2012. (In Russ.).

12. *KPMG International. Risk nezaversheniya stroitel'stva v novykh proektakh po stroitel'stvu AES (Construction Risk in New Nuclear Power Projects)* [KPMG International. Construction Risk in New Nuclear Power Projects]. Eyes Wide Open, 2011. Available at: kpmg.com/infrastructure.

13. Harris J., Heptonstall P., Gross R., Handley D. Smety dlya sektora atomnoi energetiki Velikobritanii [Costes timates for nuclear power in the UK]. *Energy Policy*, 2013, no. 62, pp. 431-442.

14. Grabovoi P.G., Berezka V.V. Modelirovanie upravleniya riskami predynvestitsionnoi fazy sooruzheniya ob"ektov atomnoi energii na mezhdunarodnom rynke stroitel'stva AES [Modeling the risk management of the pre-investment phase of the construction of atomic energy facilities on the international NPP construction market]. *Nedvizhimost': ekonomika i upravlenie = Real Estate: Economics and Management*, 2021, no. 1, pp. 6-16.

15. Grabovoi P.G., Berezka V.V. Upravlenie organizatsionno-tekhnologicheskimi (operatsionnymi) riskami rossiiskikh podryadchikov pri sooruzhenii AES za rubezhom [Management of organizational and technological (operational) risks of Russian contractors in the construction of nuclear power plants abroad]. *Nedvizhimost': ekonomika i upravlenie = Real Estate: Economics and Management*, 2019, no. 3, pp. 6-17.

16. Chernyakhovskaya Y.V., Berezka V.V. Russian business strategy and tactics on the world market of NPP construction (economic system). *Proceedings of the International Scientific Conference "Far East Con"*. Atlantis Press, 2020, vol. 128.

17. Grabovy P., Berezka V. Determining the Reasonable Degree of Specialization of Russian Companies Participating in NPP Construction Abroad. *Proceedings of XXIII International Scientific Conference on Advance in Civil Engineering: "FORM-2020"*. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020, vol. 869.

18. Berezka V.V., Birch V.V., Roehrl A. Osobennosti upravleniya proektami i riskami podryadchika pri osushchestvlenii stroitel'stva v zarubezhnykh stranakh [Features of project management and contractor risks in the implementation of construction in foreign countries]. *Nedvizhimost': ekonomika i upravlenie = Real Estate: Economics and Management*, 2019, no. 1, pp. 13-18.

19. Baronin S.A., Yankov A.G., Bizhanov S.A. Assessing the cost of real estate lifecycle contracts in Russia's present-day economy and the characteristics of the European experience. *Life Science Journal*, 2014, 11(8s), pp. 249-253.

20. Kulakov K.Y., Baronin S.A. Modeling total cost of ownership residential real estate in the life cycles of buildings. *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCET)*, October 2018, vol. 9, is. 10, , pp. 1140-1148.

21. Chernyakhovskaya Yu.V., Birch V.V. Rossiiskaya strategiya prodazh investitsionno-stroitel'nykh proektov sooruzheniya AES (ekonomicheskikh sistem) na mezhdunarodnom rynke [Russian sales strategy for investment and construction projects for the construction of nuclear power plants (economic systems) on the international market]. *Nedvizhimost': ekonomika i upravlenie = Real Estate: Economics and Management*, 2019, no. 2, pp. 53-60.

Информация об авторах / Information about the Authors

Березка Виталий Викторович, старший преподаватель, Московский государственный строительный университет, г. Москва, Российская Федерация
e-mail: v.berezka@hotmail.com

Vitaliy V. Berezka, Senior Lecturer, Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russian Federation
e-mail: v.berezka@hotmail.com

Баронин Сергей Александрович, доктор экономических наук, профессор, Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, г. Пенза, Российская Федерация, e-mail: baron60@inbox.ru, Author ID: 269365, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7705-1699>, Researcher ID: AAC-7832-2019 Scopus Author ID: 56184105400

Sergey A. Baronin, Dr. of Sci. (Economic), Professor, Penza State University of Architecture and Construction, Penza, Russian Federation, e-mail: baron60@inbox.ru, Author ID: 269365, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7705-1699>, Researcher ID: AAC-7832-2019 Scopus Author ID: 56184105400

Бредихин Владимир Викторович, доктор экономических наук, доцент, Юго-Западный государственный университет, г.Курск, Российская Федерация, e-mail: bvv001@mail.ru

Vladimir V. Bredikhin, Dr. of Sci. (Economic), Associate Professor, Southwest State University Kursk, Russian Federation, e-mail: bvv001@mail.ru

Зобнев Антон Викторович, аспирант, Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, г. Пенза, Российская Федерация, e-mail: vermilionqtz@mail.ru

Anton V. Zobnev, Post-Graduate Student, Penza State University of Architecture and Construction, Penza, Russian Federation, e-mail: vermilionqtz@mail.ru