

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER

УДК 658.513.4

DOI: 10.22227/1997-0935.2024.10.1687-1695

Методика расчета резервов времени при планировании продолжительности сооружения АЭС

Александр Сергеевич Павлов¹, Роман Вадимович Островский²

¹ Национальный исследовательский Московский государственный строительный
университет (НИУ МГСУ); г. Москва, Россия;

² Атомстройэкспорт (АСЭ); г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Рассматриваются вопросы возникновения в процессе строительства атомных электростанций рисков и проблемных ситуаций, а также методики реагирования и предотвращения таких сценариев. Анализируются имеющиеся аналоги разработанной системы среди известных информационных систем, осуществляющих расчеты календарно-сетевых моделей и построение прогнозов завершения строительства.

Материалы и методы. В частности, освещена методика создания системы резервирования времени при формировании и утверждении календарно-сетевых графиков производства строительно-монтажных работ. Приводится поэтапный план подготовки исходных данных, необходимого статистического анализа и непосредственного расчета резервов времени по методу Монте-Карло с использованием одноименного, разработанного в рамках текущего научного исследования, программного комплекса. В качестве исходных сведений применяется информация анализа срыва сроков уже завершённых работ на референтных АЭС, имеющих определённую классификацию, а также результаты проведения экспертного опроса о влиянии внутренних и внешних факторов на продолжительность сооружения станции.

Результаты. Показаны примеры использования разработки в рамках процесса управления сроками строительства АЭС «Эль-Дабба» в Арабской Республике Египет. Указана возможность применения данной методики на различных уровнях управления проектом.

Выводы. Сформулировано обобщённое заключение о вопросе определения продолжительности строительства атомных электростанций с учетом формирования резервов времени для графиков производства работ, поэтапном плане расчета резервов времени и положительной апробации методики при сооружении АЭС.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: строительство АЭС, сроки строительства, календарно-сетевое планирование, критический путь, методика расчета резервов времени, метод Монте-Карло, Monte-Carlo Network, общий временной резерв

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Павлов А.С., Островский Р.В. Методика расчета резервов времени при планировании продолжительности сооружения АЭС // Вестник МГСУ. 2024. Т. 19. Вып. 10. С. 1687–1695. DOI: 10.22227/1997-0935.2024.10.1687-1695

Автор, ответственный за переписку: Роман Вадимович Островский, rchkp@rambler.ru.

Methodology of calculation of time reserves when planning the duration of NPP construction

Alexander S. Pavlov¹, Roman V. Ostrovskii²

¹ Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU);
Moscow, Russian Federation;

² Atomstroyexport (ASE); Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. The issues of risk and problem situations arising during the construction of nuclear power plants, as well as methods of response and prevention of such scenarios are considered. The available analogues of the developed system among the known information systems which carry out calculations of calendar-network models and construction completion forecasts are analyzed.

Materials and methods. In particular, the methodology of creating a system of time reservation during the formation and approval of calendar-network schedules of construction and installation works is highlighted. A step-by-step plan of initial data preparation, necessary statistical analysis and direct calculation of time reserves by Monte-Carlo method using the software package of the same name developed within the framework of the current research is presented. As the initial data, the information of the analysis of disruption of the deadlines of already completed works at reference NPP with a certain classification, as well as the results of an expert survey on the influence of internal and external factors on the duration of plant construction are used.

Results. Examples of using the development within the process of managing the construction schedule of El-Dabaa NPP in the Arab Republic of Egypt are described. The possibility of applying this methodology at different levels of project management is indicated.

Conclusions. A generalized conclusion on the issue of determining the duration of construction of nuclear power plants taking into account the formation of time reserves for work schedules, a step-by-step plan for calculating time reserves and positive approbation of the methodology for NPP construction is formulated.

KEYWORDS: NPP construction, construction time, schedule-network planning, critical path, time reserve calculation methodology, Monte-Carlo method, Monte-Carlo Network, total time reserve

FOR CITATION: Pavlov A.S., Ostrovskii R.V. Methodology of calculation of time reserves when planning the duration of NPP construction. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2024; 19(10):1687-1695. DOI: 10.22227/1997-0935.2024.10.1687-1695 (rus.).

Corresponding author: Roman V. Ostrovskii, rchkp@rambler.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Строительство атомных электростанций (АЭС) — один из важнейших индикаторов развития электроэнергетики как в России, так и за рубежом. Объемы сооружаемых и введенных в эксплуатацию энергоблоков стабильно растут за счет новых реализуемых проектов, в особенности в азиатском и африканском регионах [1, 2]. Зачастую данные инвестиционно-строительные проекты характеризуются высокой сложностью и сопровождаются рядом рисков и проблемных вопросов, что предсказуемо приводит к увеличению стоимости строительства АЭС и увеличению декларируемых сроков сооружения объекта.

Длительность основного периода возведения энергоблока типовой атомной электростанции, сооружаемой по российским проектам, составляет около 65 мес (5,5 лет). Данная длительность утверждается в графике производства работ, который является приложением к подписываемому контракту на сооружение АЭС между заказчиком и генподрядчиком строительства [3].

Неисполнение обязательств по срокам сооружения влечет за собой значительные финансовые издержки на покрытие инфляционных расходов, страховых случаев, штрафных санкций и прочих потерь [4, 5].

Низкое качество выпускаемой проектной и рабочей документации, отсутствие четко выстроенных процедур контрактации и логистики материалов и оборудования, несвоевременная поставка, низкое качество инженерно-технического и непосредственно рабочего персонала, невысокое качество строительно-монтажных работ (СМР) и многие другие факторы становятся причинами возникновения срывов сроков работ.

На ранних этапах реализации подобных проектов в ряде случаев осуществляется риск-анализ и произвольное финансовое страхование рисков увеличения плановых длительностей сооружения. Тем не менее соблюдение заявленных изначально сроков выполнения работ чаще всего нарушается. При этом утвержденная изначально продолжительность строительства может увеличиться в 2–3 раза.

Согласно проводимому исследованию, альтернативным методом митигации подобных рисков может быть многократное имитационное модели-

рование [6, 7] процесса сооружения атомной электростанции по известному математическому принципу Монте-Карло на основе графика производства работ и создание системы резервирования времени в календарно-сетевых моделях сооружения АЭС [8–10].

Цель настоящего исследования — разработка и апробация механизма определения продолжительности строительства АЭС с учетом установленного научными методами временного резерва.

В качестве аналогов, решающих схожие задачи по расчету календарно-сетевых моделей и построению прогнозов завершения строительства, можно привести следующие: Primavera P6, MS Project, MS Excel, Spider Project, Oracle Crystal Ball [11–13]. Эти программные комплексы позволяют обеспечивать разработку планов, распределение ресурсов по задачам, отслеживание прогресса и анализ объемов работ, генерировать расписания критического пути.

Также в их функционал могут входить возможности по составлению ряда различных форм проектной отчетности, бизнес-аналитики, идентификации и оценке рисков.

В некоторых из них присутствует вероятность детерминированного определения частных резервов отдельно взятых работ, которая строится на анализе последовательности работ и их обеспеченности ресурсами.

Однако в них отсутствует перспектива расчета резервов на основе многократного прохождения сценария (графика) строительства АЭС с учетом статистической вариабельности каждой работы в графике. А также невыполнимы визуальное построение графика распределения всевозможных длительностей проекта и оценка страховки проекта от неблагоприятных исходов со срывами сроков.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Метод временного резервирования предполагает, что между работами имеется запас времени и срывы сроков по отдельным работам не вызывают срыва срока сооружения объекта в целом. Временной резерв принимается исходя из среднего коэффициента увеличения продолжительности работ.

В рамках исследования совместно с научным руководителем был разработан и запатентован программный комплекс Monte-Carlo Network [14] (да-

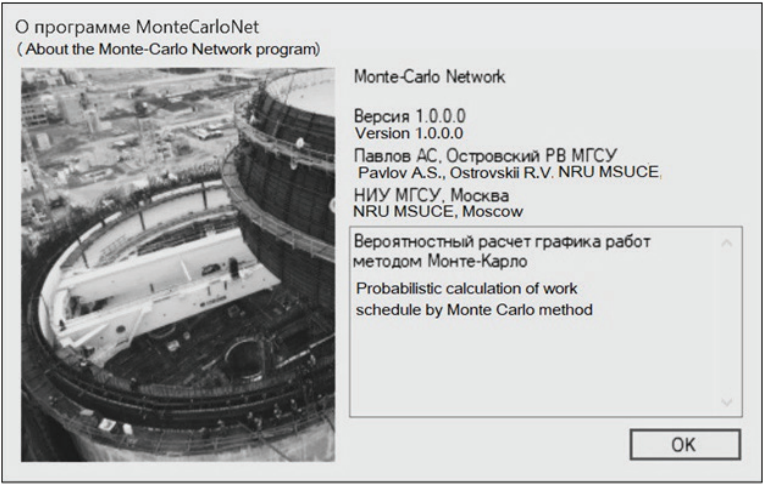


Рис. 1. Программный комплекс Monte-Carlo Network

Fig. 1. Monte-Carlo Network software package

лее — ПК), предназначенный для моделирования стохастических (т.е. случайных) строительных процессов с применением метода Монте-Карло (рис. 1).

Программа многократно генерирует набор сценариев, или псевдослучайных значений продолжительности отдельных процессов, и рассчитывает общую продолжительность строительства заданного комплекса. При этом может моделироваться нормальное или логнормальное распределение вероятности выполнения отдельных работ. Полученные значения можно получить в виде гистограммы, на которой наглядно отражается распределение возможных длительностей проекта в зависимости от количества сценариев выборки, настроенной изначально.

Предусмотрен ввод сведений в виде последовательности строительных процессов (т.е. графика производства работ) с указанием относительного уровня волатильности каждого из них.

Этап 1

На первом этапе производится сбор и подготовка исходных данных для проведения расчета. За основу принимается график производства ра-

бот с указанием наименований работ, сроков старта и финиша, информации о последовательности их производства в формате последователей и предшественников.

Отдельным образом составляется статистика срыва работ, присутствующих в графике [15]. Для этого осуществляется анализ аналогичных работ на уже введенных в эксплуатацию атомных станциях. Работы разделяются на типовые категории с присвоением каждому типу уникальных показателей волатильности (вероятность превышения фактической длительности относительно плановой и средняя относительная величина задержки). Ввод данных в программу предусмотрен в формате графика строительных процессов с указанием относительного уровня волатильности каждого из них (табл. 1). График формируется в виде критического пути, т.е. последовательности, определяющей минимальную продолжительность проекта и обеспечивающей его завершение [16, 17].

Заключительным действием на данном этапе являются идентификация и анализ факторов, имеющих максимальное влияние на строительные процессы. Данные показатели могут быть установлены

Табл. 1. График производства работ

Table 1. Work schedule

Номер работы Work	Номер предшественника Predecessor	Наименование работы Name of work	Длительность, дни Duration, days	Относительные Relative	
				Математическое ожидание Math expectation	Вариатбельность Variability
1	0	Фундаментная плита на 19,300. Геометрические размеры Foundation slab at 19.300. Geometric dimensions	64,00	1,24	0,37
2	1	Стены с 19,300 до 15,700. Армирование Walls from 19.300 to 15.700. Reinforcement	53,00	1,11	0,30
3	2	Стены с 19,300 до 15,700. Геометрические размеры Walls from 19.300 to 15.700. Geometric dimensions	48,00	1,24	0,37

Окончание табл. 1 / End of the Table 1

Номер работы Work	Номер предшественника Predecessor	Наименование работы Name of work	Длительность, дни Duration, days	Относительные Relative	
				Математическое ожидание Math expectation	Вариативность Variability
4	3	Заполнение пустот бетоном (пазух, образованных стенами кольцевого коридора) от отм. 22,400 до отм. 15,700 Filling voids with concrete (slots formed by the walls of the ring corridor) from 22.400 to 15.700	38,00	1,24	0,37
5	3,8	Плита перекрытия 15,100. Армирование Floor slab at 15.100. Reinforcement	29,00	1,11	0,30
6	5	Плита перекрытия 15,100. Геометрические размеры Floor slab on 15.100. Geometric dimensions	29,00	1,24	0,37
7	1	Лестницы с 19,300 до 15,100. Армирование Stairs from 19.300 to 15.100. Reinforcement	29,00	1,11	0,30
8	7,18	Лестницы с 19,300 до 15,100. Геометрические размеры Stairs from 19.300 to 15.100. Geometric dimensions	24,00	1,24	0,37
9	3	Гидроизоляция по стенам здания до отм. 0,000 Waterproofing on the walls of the building up to the level 0.000	356,00	1,06	0,28
10	6,15,32	Стены с 15,100 до 11,750. Армирование Walls from 15.100 to 11.750. Reinforcement	53,00	1,11	0,30
11	10	Стены с 15,100 до 11,750. Геометрические размеры Walls from 15.100 to 11.750. Geometric dimensions	48,00	1,24	0,37

на основе реестра рисков инжиниринговой организации [18, 19] и должны быть разделены на внешние и внутренние, исходя из характера источника возникновения факторов по отношению к генподрядчику. Полученный перечень проходит экспертную оценку по каждому пункту с присвоением веса значимости фактора [20, 21]. После получения от экспертов результатов оценки первоочередная задача — определение согласованности оценок путем вычисления коэффициента вариации, расчет согласованности мнений экспертов и установление уточ-

ненной средней оценки для внутренних и внешних факторов.

Возможно использование вычисленных уточненных средних оценок внутренних и внешних факторов в качестве среднего отклонения и среднего изменения соответственно при оценке резервов графиков производства работ по методу Монте-Карло и занесении исходных данных в одноименную программу (рис. 2).

Этап 2

На следующем этапе при загрузке исходных сведений в ПК задается количество циклов «пробе-

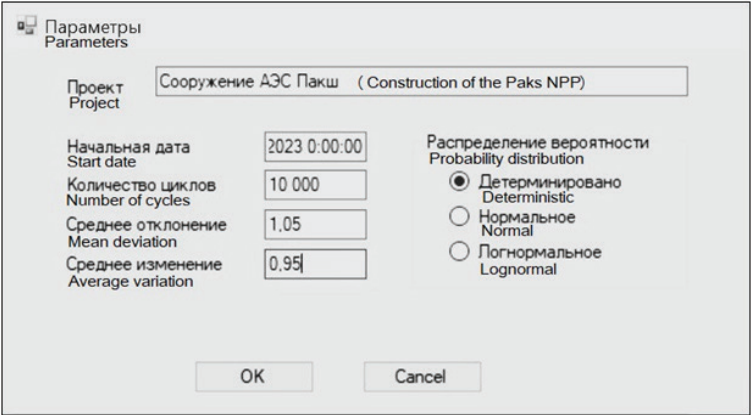


Рис. 2. Внесение исходных данных для расчета резерва времени

Fig. 2. Entering initial data for calculating the time reserve

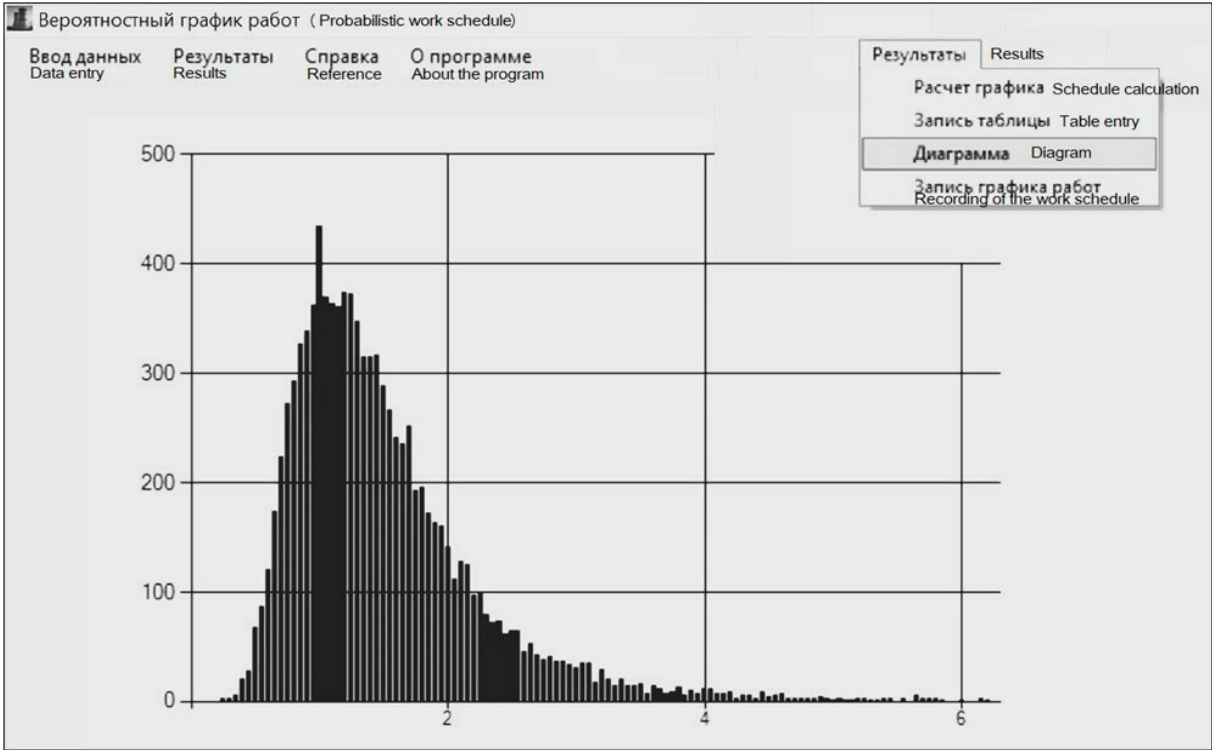


Рис. 3. Диаграмма распределения длительностей проекта сооружения АЭС в графическом виде

Fig. 3. Diagram of distribution of NPP construction project durations in graphical form

гания» сценария строительства (графика) и производится построение распределения относительной длительности проекта в графическом (рис. 3) и табличном представлениях.

В первом случае распределение вероятности можно привести в детерминированном, нормальном и логнормальном вариантах. При этом ось абсцисс на сформированной диаграмме отражает во сколько раз изменяется общая длительность загруженного в программу графика производства работ, ось орди-

нат — количество сценариев, соответствующих отдельно взятому изменению.

Построение распределения в табличном виде используется на следующем этапе (табл. 2).

Этап 3

Устанавливается коэффициент надежности расчета резерва времени P , удовлетворяющий генподрядчика в текущих условиях, и плановая длительность N всего графика строительства АЭС, директивно утвержденного между заказчиком и генподрядчиком.

Определяется величина превышения срока проекта X из табличного распределения для количества циклов с неблагоприятным исходом $(1 - P)$.

Рассчитывается необходимый общий резерв времени по формуле:

$$(X - 1) N.$$

Далее рассчитанный общий резерв времени распределяется между субподрядными организациями (далее — субподрядчики) (рис. 4). Пропорцию распределения между ними можно установить, осуществив аналогичный поэтапный расчет резервов времени для локальных графиков субподрядчиков.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Таким образом, при помощи разработанного ПК, основанного на математическом принципе Монте-Карло с использованием референтных статистических данных, можно установить оперативный

Табл. 2. Таблица распределения длительностей проекта сооружения АЭС в графическом виде

Table 2. Table of distribution of NPP construction project durations in graphical form

Распределение относительной длительности проекта Distribution of relative project duration		
От From	До To	Количество случаев Number of cases
0,05	0,1	0
0,1	0,15	0
0,15	0,2	0
0,2	0,25	1
0,25	0,3	2
0,3	0,35	2
0,35	0,4	3
0,4	0,45	10
0,45	0,5	14
0,5	0,55	32

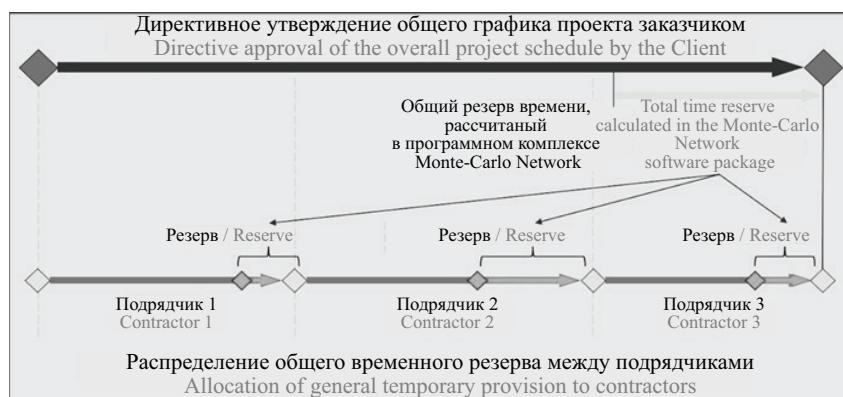


Рис. 4. Схема формирования резервов времени в графиках производства работ

Fig. 4. Scheme of formation of time reserves in work schedules

временной резерв генподрядчика для управления проектом сооружения АЭС.

Аналогичным образом возможен расчет резервов времени при разработке календарно-сетевых моделей на различных уровнях управления проектом, как в связке заказчик – генподрядчик, так и во взаимоотношениях генподрядчика с субподрядчиками. В зависимости от способа формирования графиков и определения продолжительности строительства (директивное назначение сроков или расчет процессов в соответствии с нормативными технологическими требованиями) расчетный резерв времени может либо прибавляться, либо вычитаться из директивно установленных сроков.

Подобная методика была успешно испытана специалистами по календарно-сетевому планированию управления мониторинга и контроля сроков АО «Атомстройэкспорт» на нескольких графиках СМР, выполняемых на АЭС «Эль-Дабба». В частности, на графиках достижения ключевых событий «Монтаж устройства локализации расплава активной зоны Блока 1» и «Завершение бетонирования внутренней защитной оболочки здания реактора Блока 2 от отм. –7,250 до отм. +7,150». Вычисленный резерв времени будет использован при разра-

ботке и согласовании графиков производства СМР субподрядными организациями.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной научной работе структурно рассмотрен вопрос определения продолжительности строительства атомных электростанций с учетом формирования резервов времени для графиков производства работ, с использованием статистических данных о степени волатильности разных типов работ и оценочных характеристик факторов, влияющих на ход сооружения АЭС.

Представлен поэтапный план расчета резервов времени при помощи ПК Monte-Carlo Network, разработанного и запатентованного в рамках проводимого исследования. В качестве результатов расчета данной программы приведены примеры распределения длительностей проекта сооружения АЭС в графическом и табличном видах.

Опытная эксплуатация описанной методики показала положительный результат при использовании ее для расчета временных резервов графиков сооружения АЭС в Египте. Значительный интерес представляет ее повсеместное внедрение в процедуры календарно-сетевого планирования на проектах сооружения объектов атомной энергетики.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Филимонова Т.П. Продвижение российской атомной энергетики на глобальный рынок: тенденции и новые возможности // Актуальные вопросы современной экономики. 2023. № 5. С. 559–568. DOI: 10.34755/IROK.2023.66.16.033. EDN ASGYUN.
2. Томашевская Е.С., Семенов Е.В. Зарубежный портфель проектов Госкорпорации «Росатом» // Синергия Наук. 2020. № 54. С. 488–506. EDN DGJRTE.
3. Островский Р.В. Сравнение длительностей сооружения АЭС по российским и зарубежным проектам // Научно-техническое развитие России

и мира : сб. ст. XV Междунар. науч.-практ. конф. 2023. С. 60–69.

4. Соловьева А.П., Харитонов В.В., Шмаков О.Г. Влияние задержек в строительстве АЭС на эффективность инвестиций // Известия высших учебных заведений. Ядерная энергетика. 2018. № 3. С. 52–62. DOI: 10.26583/npe.2018.3.05. EDN YYCGKT.

5. Сааков Э.С. Инжиниринг при вводе в эксплуатацию новых энергоблоков АЭС // АТОМЕКС-Северо-Запад : форум поставщиков атомной отрасли. АТОМЭКСПО 2012. 2012.

6. Назарова В.В., Морозова Е.В. Сценарный анализ рисков проекта строительства жилой недвижимости // Вестник НГУЭУ. 2014. № 2. С. 71–83. EDN SMFQGR.

7. Алексеева Н.С. Метод имитационного моделирования Монте-Карло при инвестировании в проекты «зеленого» строительства // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Экономика. Социология. Менеджмент. 2020. Т. 10. № 1. С. 241–252. EDN KNOOBS.

8. Адамюк И.А. Оценка риска (экономической привлекательности) инвестиционного проекта, на примере строительства жилых домов, методом Монте-Карло // Экономика и управление в XXI веке: тенденции развития. 2011. № 3. С. 150–156. EDN RKZHAP.

9. Никоноров С.В., Мельник А.А. Повышение организационно-технологической надежности строительства в современных условиях // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2019. Т. 19. № 3. С. 19–23. DOI: 10.14529/build190303. EDN JQRUNE.

10. Кучумова Ю.В., Букалова А.Ю. Постановка задачи исследования оценки организационно-технологических рисков в строительстве // Современные технологии в строительстве. Теория и практика. 2019. Т. 1. С. 160–165. EDN WJTPBE.

11. Гридус А.Ю., Боков И.И., Иванчук Е.В. Анализ программ для календарного планирования в строительстве // Академическая публицистика. 2017. № 10. С. 15–22. EDN ZSGMXP.

12. Шипулина А.С., Мозгова Я.Г. Обзор и анализ возможностей использования программ по управлению проектами для автоматизации календарного планирования в строительстве // Ползуновский альманах. 2020. № 2–1. С. 186–189. EDN RWTUWQ.

13. Малых Е.Б. Мировой опыт управления рисками инвестиционных проектов в области строительства многоквартирных домов по методу Монте-Карло с использованием приложения для Microsoft Excel Oracle Crystal Ball // Экономика и управление. 2018. № 11 (157). С. 92–97. EDN VVPDMF.

14. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022681527 РФ. Се-

тевая модель строительства с применением метода Монте-Карло «Monte Carlo Network» / Павлов А.С., Островский Р.В.; патентообл. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет; заявл. № 2022680826 от 03.11.2022, опублик. 15.11.2022. EDN CJHJBQ.

15. Павлов А.С., Островский Р.В. Анализ сроков выполнения работ при сооружении атомных электростанций // Промышленное и гражданское строительство. 2023. № 1. С. 75–80. DOI: 10.33622/0869-7019.2023.01.75-80. EDN TZYWUH.

16. Бондаренко Ю.В., Васильчикова Е.В. Математические методы поддержки сетевого анализа проекта и оценки риска планирования при нечеткой информации о продолжительностях работ // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Системный анализ и информационные технологии. 2023. № 2. С. 100–111. DOI: 10.17308/sait/1995-5499/2023/2/100-111. EDN ULOXXK.

17. Kalugin Yu.B. Universal method for calculation of reliable completion times // Magazine of Civil Engineering. 2016. No. 7 (67). Pp. 70–80. DOI: 10.5862/MCE.67.7. EDN YFWGLB.

18. Ostrovskii R. Development of a Model for Managing the Terms of NPP Construction Projects Based on Production Control // Lecture Notes in Civil Engineering. 2022. Vol. 231. Pp. 405–413. DOI: 10.1007/978-3-030-96206-7_42. EDN BKBVPB.

19. Voronkov I., Ostrovskii R. Structure of realised risks of projects for construction nuclear power plant by Rosatom State Corporation in 2010-2020 // E3S Web of Conferences. 2021. Vol. 258. P. 09081. DOI: 10.1051/e3sconf/202125809081

20. Демидов Л.П. Исследования по применению метода экспертных оценок при анализе потенциала строительной площадки // Технология и организация строительного производства. 2014. № 1. С. 51–53. EDN SASIRN.

21. Кузьмин К.А., Грыжов Е.В. Приложение метода экспертных оценок при обработке анкет эффективности ведения строительно-монтажных работ // Естественные и математические науки в современном мире. 2014. № 16. С. 73–79. EDN RWVQXP.

Поступила в редакцию 20 мая 2024 г.

Принята в доработанном виде 27 мая 2024 г.

Одобрена для публикации 30 июня 2024 г.

ОБ АВТОРАХ: **Александр Сергеевич Павлов** — доктор технических наук, профессор, профессор кафедры строительства объектов тепловой и атомной энергетики; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; SPIN-код: 5456-5717, РИНЦ ID: 79850, Scopus: 57212719485, ResearcherID: AAN-4585-2021, ORCID: 0000-0001-6638-5554; building2020@inbox.ru;

Роман Вадимович Островский — главный специалист управления мониторинга и контроля сроков; **Атомстройэкспорт (АСЭ)**; 127434, г. Москва, Дмитровское ш., д. 2; SPIN-код: 3023-6358, РИНЦ ID: 920855, Scopus: 57221052924, ORCID: 0000-0001-7886-4659; rchkp@rambler.ru.

Вклад авторов:

Павлов А.С. — научное руководство, концепция исследования, развитие методологии, научное редактирование текста, итоговые выводы.

Островский Р.В. — написание исходного текста, доработка текста, итоговые выводы.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

REFERENCES

1. Filimonova T.P. Promotion of Russian nuclear energy to the global market: trends and new opportunities. *Actual Issues of the Modern Economy*. 2023; 5:559-568. DOI: 10.34755/IROK.2023.66.16.033. EDN ASGYUN. (rus.).
2. Tomashevskaya E.S., Semenov E.V. Foreign portfolio of projects of Rosatom state corporation. *Synergy of Sciences*. 2020; 54:488-506. EDN DGJRTE. (rus.).
3. Ostrovskiy R.V. Comparison of NPP construction durations by Russian and foreign projects. *Scientific and Technical Development of Russia and the World : collection of articles of XV International Scientific and Practical Conference*. 2023; 60-69. (rus.).
4. Soloveva A.P., Kharitonov V.V., Shmakov O.G. Effect of delays in NPP construction on investment efficiency. *Izvestiya vuzov. Yadernaya Energetika*. 2018; 3:52-62. DOI: 10.26583/npe.208.3.05. EDN YYCGKT. (rus.).
5. Saakov E.S. Engineering at commissioning of new NPP power units. *ATOMEX-North-West: Forum of Nuclear Industry Suppliers*. ATOMEXPO 2012. 2012. (rus.).
6. Nazarova V.V., Morozova E.V. Scenario analysis of risks of residential property construction project. *Vestnik NSUEM*. 2014; 2:71-83. EDN SMFQGR. (rus.).
7. Alekseeva N.S. The Monte Carlo method for investing in green building projects. *Proceedings of the Southwest State University. Series: Economics, Sociology and Management*. 2020; 10(1):241-252. EDN KNOOBS. (rus.).
8. Adamyuk I.A. Risk assessment (economic attractiveness) of the investment project, by the example of residential building construction, by Monte Carlo method. *Economics and Management in the XXI century: development trends*. 2011; 3:150-156. EDN RKZHAP. (rus.).
9. Nikonorov S.V., Melnik A.A. Improvement of organizational and technological reliability of construction in modern conditions. *Bulletin of SUSU. Series "Construction Engineering and Architecture"*. 2019; 19(3):19-23. DOI: 10.14529/build190303. EDN JQRUNE. (rus.).
10. Kuchumova Y.V., Bukalova A.Y. Formulation of the research task of assessing organizational and technological risks in construction. *Modern Technologies in Construction. Theory and Practice*. 2019; 1:160-165. EDN WJTPBE.
11. Gridus A.Yu., Bokov I.I., Ivanchuk E.V. Analysis of the programs for calendar planning in construction. *Academic Publishing*. 2017; 10:15-22. EDN ZSGMXP. (rus.).
12. Shipulina A.S., Mozgova Ya.G. Review and analysis of the possibilities of using the project management programs for the automation of calendar planning in construction. *Polzunov Almanac*. 2020; 2-1:186-189. EDN RWTUWQ. (rus.).
13. Malykh E.B. International experience in the risk management of investment projects in the field of multi-family housing using the Monte Carlo method and the Oracle Crystal Ball application for Microsoft Excel. *Economics and Management*. 2018; 11(157):92-97. EDN VVPDMF.
14. Certificate of state registration of computer program No. 2022681527 RF. *Network model of construction using the Monte Carlo method "Monte Carlo Network"* / Pavlov A.S., Ostrovsky R.V.; patent pending National Research Moscow State University of Civil Engineering; appl. No. 2022680826 dated 03.11.2022, publ. 15.11.2022. EDN CJHJBQ.
15. Pavlov A.S., Ostrovskii R.V. Analysis of terms of work performance during nuclear power plant construction. *Industrial and Civil Engineering*. 2023; 1:75-80. DOI: 10.33622/0869-7019.2023.01.75-80. EDN TZYWUH. (rus.).
16. Bondarenko Yu.V., Vasilchikova E.V. Mathematical methods of supporting network analysis of the project and assessment of planning risk in case of fuzzy information on work duration. *Proceedings of Voronezh State University. Series: Systems Analysis and Information Technologies*. 2023; 2:100-111. DOI: 10.17308/sait/1995-5499/2023/2/100-111. EDN ULOXXK. (rus.).
17. Kalugin Yu.B. Universal method for calculation of reliable completion times. *Magazine of Civil Engineering*. 2016; 7(67):70-80. DOI: 10.5862/MCE.67.7. EDN YFWGLB.
18. Ostrovskii R. Development of a Model for Managing the Terms of NPP Construction Projects Based on Production Control. *Lecture Notes in Civil Engineering*. 2022; 231:405-413. DOI: 10.1007/978-3-030-96206-7_42. EDN BKBVPB.
19. Voronkov I., Ostrovskii R. Structure of realised risks of projects for construction nuclear power plant by Rosatom State Corporation in 2010-2020. *E3S Web of Conferences*. 2021; 258:09081. DOI: 10.1051/e3sconf/202125809081

20. Demidov L.P. Research on the application of expert assessments when analyzing potential of construction site. *Technology and Organization of Construction Production*. 2014; 1:51-53. EDN SASIRN. (rus.).

21. Kuzmin K.A., Gryzhov E.V. Applying the method of expert estimations in processing questionnaires of building and construction works effectiveness. *Natural and Mathematical Sciences in the Modern World*. 2014; 16:73-79. EDN RWVQXP. (rus.).

Received May 20, 2024.

Adopted in revised form on May 27, 2024.

Approved for publication on June 30, 2024.

B I O N O T E S: **Alexander S. Pavlov** — Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Construction of Thermal and Nuclear Power Facilities; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; SPIN-code: 5456-5717, ID RSCI: 79850, Scopus: 57212719485, ResearcherID: AAH-4585-2021, ORCID: 0000-0001-6638-5554; building2020@inbox.ru;

Roman V. Ostrovskii — Chief Specialist of the Department of Monitoring and Control of Deadlines; **Atomstroyexport (ASE)**; 2 Dmitrovskoe shosse, Moscow, 127434, Russian Federation; SPIN-code: 3023-6358, ID RSCI: 920855, Scopus: 57221052924, ORCID: 0000-0001-7886-4659; rchkp@rambler.ru.

Contribution of the authors:

Alexander S. Pavlov — scientific guidance, research concept, methodological development, scientific editing of the text, final conclusions.

Roman V. Ostrovskii — writing the source text, revising the text, final conclusions.

The authors declare that there is no conflict of interest.