

УДК 69.05

Ю. Н. Николаев, Ю. В. Гущина, Н. С. Амельченко, С. Д. Тулупова

Волгоградский государственный технический университет

ОЦЕНКА ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЬЮТЕРНЫХ ГЕНЕРАТОРОВ СЛУЧАЙНЫХ ЧИСЕЛ

Рассматривается подход к оценке организационно-технологической надежности строительного процесса на основе анализа выборок случайного показателя, используемого для моделирования строительного производства (производительность строительных машин и рабочих-строителей и/или затраты труда и машинного времени на единицу объема работ). Многолетние исследования авторов показали, что сформировать статистические выборки на основании данных строительных организаций становится зачастую невозможно вследствие отсутствия или ненадлежащего ведения строительной исполнительной документации, где должны поменно фиксироваться производственные показатели — фактически выполненные объемы и время работ, количество задействованных ресурсов и пр. В связи с этим в рамках настоящего исследования рассмотрены возможности использования методов генерации выборок случайных чисел и апробация их применения в рассматриваемом подходе к оценке уровня организационно-технологической надежности строительного производства и проектирования с заданным уровнем надежности.

К л ю ч е в ы е с л о в а: организационно-технологическая надежность, оценка надежности, методы генерации выборок случайных чисел, управление надежностью строительного производства.

Введение

Строительство относится к классу сверхсложных систем, в рамках которых взаимодействует огромное количество элементов. Цель этого взаимодействия — получение готовой строительством продукции в запланированный срок, с установленной ценой и заданным качеством [1, 2]. При этом огромное число факторов оказывают дестабилизирующее действие на строительную систему, отклоняя ее от запланированных результатов. Считается, что детерминировано описать результат такого влияния на результаты строительства весьма проблематично. Возможно рассмотрение лишь конечного результата — вероятности достижения строительной системой заданных параметров (к примеру, продолжительности) [3].

Материалы и методы

В рамках настоящего исследования рассматривается один из подходов к оценке организационно-технологической надежности строительного производства и проектирования строительных процессов с установленным уровнем надежности [4—6]. Особенностью этого подхода является разделение в статистической выборке значений организационно-технологических показателей, используемых для описания развития строительных процессов во времени (нормы времени на единицу объема работ и/или производительности), на две части — удовлетворяющих условию выполнения строительного процесса в запланированный срок и не удовлетворяющих. Это позволяет для принятого значения исходного для проектирования параметра вычислить вероятность того, что при выполнении строительного процесса норма времени

и/или производительность и вычисляемая на их основе продолжительность строительного процесса окажутся не более или не менее запланированных значений.

Проиллюстрируем суть подхода на примере. Допустим, мы имеем статистическую выборку значений фактической выработки строительной машины для определенного строительного процесса. Каждому значению соответствует определенное значение продолжительности работ (рис. 1).

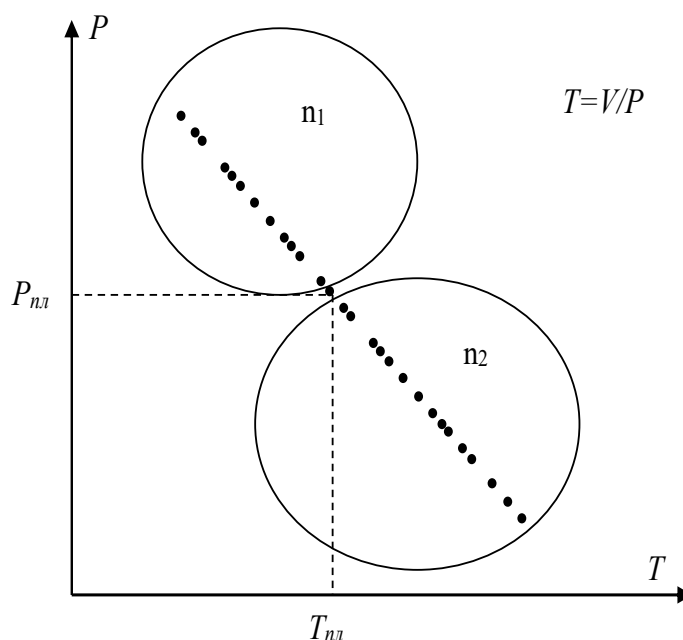


Рис. 1. Зависимость продолжительности строительства от значений вероятностной величины в выборке (для производительности)

На рисунке 1 видно, что плановому значению производительности ($P_{пл}$) соответствует определенное значение длительности строительства ($T_{пл}$), при этом вероятность достижения в результате реализации строительного процесса длительности не более запланированной составит (ρ):

$$\rho = \frac{n_1}{n_1 + n_2}, \quad (1)$$

где n_1 , n_2 — количество значений производительности в статистической выборке «не меньше» заданного уровня, что обеспечивает достижение продолжительности не более намеченной.

Если в качестве исходного показателя рассматривать норму времени строительной машины или рабочего, то получится, что для обеспечения продолжительности процесса не более запланированной величины, норма времени должна также оказаться не выше принятого для планирования значения (рис. 2).

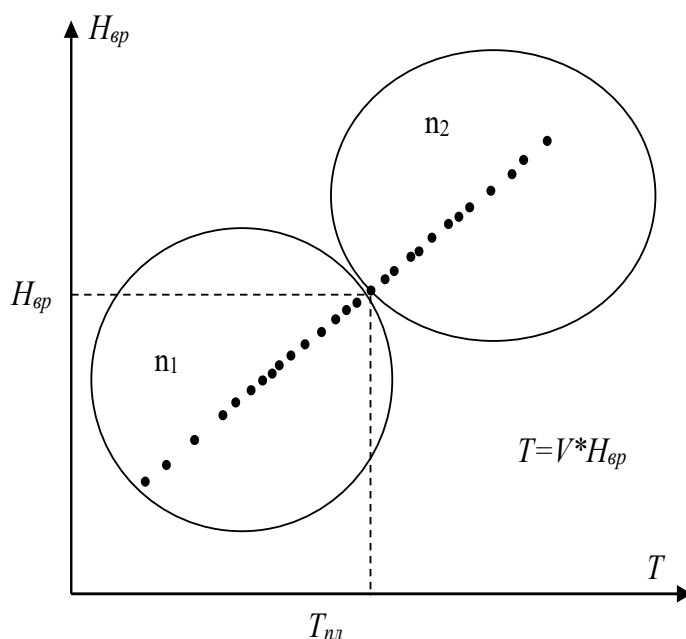


Рис. 2. Зависимость продолжительности строительства от значений вероятностной величины в выборке (нормы времени)

В этом случае вероятность достижения продолжительности «не более» запланированной составит (ρ):

$$\rho = \frac{n_1}{n_1 + n_2}, \quad (2)$$

n_1, n_2 — варианты, для которых значение нормы времени «не более» установленного уровня, что обеспечивает достижение продолжительности не более запланированной.

Результаты

Основным методом формирования статистических выборок для вероятностного проектирования выступает анализ отчетной строительной документации, в которой фиксируется объем выполненных работ за определенное время (рабочую смену) неким количеством строительных машин и рабочих [7—9]. Используя эти данные можно сформировать выборку значений производительности или единичных норм времени. Такая выборка характеризует конкретные условия производства работ конкретной строительной организацией и позволяет осуществить расчет вероятностных параметров строительных процессов [10—12]. При этом, как продемонстрировала практика работы со строительными организациями, большая часть строительных организаций не ведет соответствующую исполнительскую документацию или заполняет ее уже после завершения выполнения работ с приблизительным распределением по сменам выполненных объемов работ, что не позволяет получить реальную выборку для вероятностных расчетов.

Это делает актуальным рассмотрение возможностей использования компьютерных технологий генерации выборок вероятностных чисел в рамках рассматриваемого подхода к оценке уровня организационно-технологической надежности при отсутствии возможностей формирования реальных статистических выборок [13—15]. Для этого существуют специальные прикладные пакеты программ, наподобие Mathcad, а также расширенные функции в рамках популярных офисных программ, в частности, в среде Excel. В настоящей работе рассматривается применение специальных расширенных функций анализа данных в среде Excel для оценки организационно-технологической надежности строительных процессов.

Для расчета организационно-технологической надежности примем нормативное значение выработки строительных машин и норм времени рабочих строителей (на основании ЕНиР) и, используя пакет «Анализ данных» в среде Excel, на основе нормального распределения сгенерируем выборку значений случайных чисел¹. Далее определим значение производительности строительной машины и нормы затрат рабочего времени, обеспечивающие исполнение строительного процесса в запланированный срок с вероятностью $p = 0,7$.

Исходные данные:

технологический процесс — укладка бетонной смеси в ленточный фундамент шириной до 600 мм бадьей, подаваемой краном;

$C_{\text{чел-ч}} = 300$ руб.;

$C_{\text{маш-ч}} = 700$ руб.;

объем работ (V) = 22000 м³.

Данные по затратам труда и машинного времени²:

производительность машины составляет 6,67 м³/ч;

затраты труда рабочих строителей — 0,3_{чел-ч} на 1 м³ бетонной смеси.

Состав звена:

бетонщик 2 разряда — 1;

бетонщик 4 разряда — 1.

Сгенерируем выборку значений производительности машины, используя пакет «Анализ данных», функцию «Генерация случайных чисел». В качестве базового значения принимается:

нормативное значение производительности машины — 6,67 м³/ч;

тип распределения — нормальное;

стандартное отклонение — 1,5.

Сформированная Excel выборка значений приведена в табл. 1.

Определим значение производительности машины с вероятностью выполнения строительного процесса по условию «не менее» намеченного, равной 0,7.

¹ ГОСТ Р 50779.21—2004. Статистические способы. Правила определения и методы расчета статистических характеристик по частичным данным. Ч. 1. Нормальное распределение. М. : Госстандарт России, 2004. 47 с.

² ЕНиР Е4-1-49. Укладка бетонной смеси в конструкции. Указание по применению норм. URL: <https://studfile.net/preview/6350823/page:37>.

Т а б л и ц а 1

Результаты генерации случайных чисел для производительности крана

№ п/п	P_M	№ п/п	P_M	№ п/п	P_M	№ п/п	P_M	№ п/п	P_M
1	3,20	21	5,67	41	6,47	61	7,25	81	8,04
2	3,39	22	5,73	42	6,54	62	7,25	82	8,09
3	3,71	23	5,75	43	6,55	63	7,28	83	8,09
4	3,82	24	5,76	44	6,59	64	7,35	84	8,12
5	4,00	25	5,79	45	6,59	65	7,51	85	8,16
6	4,12	26	5,87	46	6,63	66	7,69	86	8,23
7	4,28	27	5,93	47	6,65	67	7,70	87	8,26
8	4,50	28	5,95	48	6,66	68	7,76	88	8,31
9	4,54	29	5,99	49	6,71	69	7,76	89	8,32
10	4,72	30	6,07	50	6,76	70	7,77	90	8,38
11	4,75	31	6,16	51	6,87	71	7,78	91	8,48
12	4,75	32	6,17	52	6,88	72	7,78	92	8,63
13	5,03	33	6,22	53	6,89	73	7,78	93	8,67
14	5,13	34	6,25	54	6,97	74	7,79	94	8,86
15	5,39	35	6,25	55	7,01	75	7,84	95	8,88
16	5,40	36	6,33	56	7,05	76	7,84	96	9,14
17	5,40	37	6,35	57	7,05	77	7,86	97	9,47
18	5,58	38	6,40	58	7,14	78	7,89	98	9,48
19	5,62	39	6,45	59	7,16	79	7,97	99	9,86
20	5,64	40	6,47	60	7,19	80	8,03	100	10,12

По выборке значений производительности машины определяем минимальное и максимальное значения:

$$P_{\min} = 3,20,$$

$$P_{\max} = 10,12.$$

Определяем размер интервала при количестве промежутков равном 10:

$$\Delta P = \frac{(10,12 - 3,2)}{10} = 0,69.$$

Расчет числа значений производительности, попавших в каждый интервал, накопленных частот по условию «не менее» для границ промежутков и вероятности выполнения строительного процесса по условию «не менее» значений границ промежутков выполним в табличной форме (табл. 2).

Значение производительности крана, соответствующее уровню надежности (по условию задачи) $p = 0,7$, определяем с помощью способа интерполяции, поскольку заданный уровень надежности и искомое значение производительности машины находятся между границ промежутка:

$$P_{p=0,7} = 5,96 - 0,69 \cdot \frac{0,72 - 0,7}{0,72 - 0,53} = 5,81 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Сгенерируем выборку случайных значений нормы затрат рабочего времени, применяя функцию «Генерация случайных чисел» пакета «Анализ данных» в среде Excel. Сформированная Excel подборка значений приведена в табл. 3.

Таблица 2

Вычисление вероятности осуществления процесса с производительностью, не менее значения производительности в границах каждого интервала

№ инт.	Границы интервалов	Кол-во значений в интервале	Кол-во значений, удовлетворяющих условию «не менее»	Вероятность p_i
1	3,20...3,89	4	100	1
2	3,89...4,58	5	96	0,96
3	4,58...5,27	5	91	0,91
4	5,27...5,96	14	86	0,86
5	5,96...6,65	19	72	0,72
6	6,65...7,34	16	53	0,53
7	7,34...8,03	17	37	0,37
8	8,03...8,72	13	20	0,2
9	8,72...9,41	3	7	0,07
10	9,41...10,10	4	4 0	0,04 0

Таблица 3

Результаты генерации случайных чисел для нормы времени

№ п/п	$H_{вр}$	№ п/п	$H_{вр}$	№ п/п	$H_{вр}$	№ п/п	$H_{вр}$	№ п/п	$H_{вр}$
1	0,076	21	0,229	41	0,277	61	0,340	81	0,417
2	0,080	22	0,231	42	0,279	62	0,346	82	0,418
3	0,126	23	0,232	43	0,280	63	0,348	83	0,421
4	0,135	24	0,241	44	0,285	64	0,349	84	0,422
5	0,136	25	0,245	45	0,289	65	0,354	85	0,424
6	0,146	26	0,247	46	0,294	66	0,358	86	0,426
7	0,162	27	0,247	47	0,298	67	0,364	87	0,427
8	0,167	28	0,248	48	0,300	68	0,371	88	0,429
9	0,169	29	0,248	49	0,300	69	0,376	89	0,429
10	0,175	30	0,251	50	0,310	70	0,381	90	0,433
11	0,176	31	0,254	51	0,313	71	0,391	91	0,434
12	0,177	32	0,255	52	0,313	72	0,394	92	0,435
13	0,185	33	0,255	53	0,313	73	0,396	93	0,440
14	0,190	34	0,257	54	0,317	74	0,400	94	0,454
15	0,192	35	0,259	55	0,317	75	0,400	95	0,456
16	0,194	36	0,261	56	0,327	76	0,400	96	0,468
17	0,195	37	0,266	57	0,327	77	0,401	97	0,469
18	0,209	38	0,266	58	0,331	78	0,401	98	0,476
19	0,223	39	0,270	59	0,336	79	0,405	99	0,491
20	0,223	40	0,277	60	0,339	80	0,408	100	0,508

Определим значение нормы времени, отвечающее вероятности выполнения строительного процесса со значением «не более» намеченного, равной 0,7. По выборке значений нормы времени определяем минимальное и максимальное значения:

$$H_{\text{врmin}} = 0,076,$$

$$H_{\text{врmax}} = 0,508.$$

Определяем размер интервала при количестве промежутков равном 10:

$$\Delta P = \frac{(0,508 - 0,076)}{10} = 0,043.$$

Расчет числа значений нормы времени, попавших в каждый интервал накопленных частот по условию «не более» для границ промежутков, и вероятности выполнения строительного процесса с условием «не более» значений границ промежутков выполним в табличной форме (табл. 4).

Т а б л и ц а 4

Вычисление вероятности претворения в жизнь процесса с нормой времени, не более значения нормы времени в границах всего интервала

№ инт.	Границы интервалов	Кол-во значений в интервале	Кол-во значений, удовлетворяющих условию «не более»	Вероятность p_i
1	0,076...0,119	2	0 2	0 0,02
2	0,076...0,162	5	7	0,07
3	0,162...0,205	10	17	0,17
4	0,205...0,248	12	29	0,29
5	0,248...0,291	16	45	0,45
6	0,291...0,334	13	58	0,58
7	0,334...0,377	11	69	0,69
8	0,377...0,42	9	78	0,78
9	0,42...0,463	17	95	0,95
10	0,463...0,506	5	100	1,00

Значение нормы времени рабочих, соответствующее уровню надежности (по условию задачи) $p = 0,7$, определяем с помощью метода интерполяции, т. к. заданный уровень надежности и соответственно искомое значение нормы времени находятся между границ интервала:

$$H_{\text{вр}p=0,7} = 0,377 + 0,043 \cdot \frac{0,7 - 0,69}{0,78 - 0,69} = 0,339 \text{ чел-ч/1 м}^3.$$

Определим срок и стоимость производства работ с вероятностью достижения их запланированного уровня, равной $p = 0,7$:

$$T = \frac{IH_{\text{вр}}}{N} = \frac{22000 \cdot 0,339}{2} = 3729 \text{ ч}, \quad (3)$$

$$C = T(C_{\text{чел-ч}}N + C_{\text{маш-ч}}) = 3729 \cdot (300 \cdot 2 + 700) = 4\,847\,700 \text{ руб.} \quad (4)$$

Таким образом, при принятых параметрах (значениях нормы расходов рабочего времени и производительности машины, соответствующих уровню надежности 0,7) строительный процесс будет выполнен с продолжительностью не более 3729 ч (с вероятностью 0,7) и стоимостью не более 4 847 700 руб. (с вероятностью 0,7).

Обсуждение

Вопросы формирования и использования статистических выборок для расчета показателей организационно-технологической надежности строительных технологических процессов рассматриваются в ряде работ [3, 7, 8]. При этом авторы исходят из возможности формирования таких данных по результатам надлежащего заполнения исполнительской документации подрядными организациями в ходе производства строительных работ и достоверности представленных в такой документации данных. Как показал анализ документации строительных организаций, это не всегда соответствует реальности, данные не всегда можно использовать для решения практических задач оценки надежности строительного производства в реальных условиях. Это и явилось побуждающим фактором к началу исследований возможности использования данных генерации случайных чисел в условиях отсутствия или недостоверности статистических данных.

Выводы

Использована методика количественной оценки уровня надежности строительного процесса при применении не реальной выборки значений случайного параметра, а сгенерированных выборок случайных чисел, для чего использованы функции пакета «Анализ данных» в среде Excel. Апробация показала возможность применения этого подхода. Как нам представляется, наиболее целесообразной областью применения функций генерации случайных чисел являются случаи, когда отсутствует возможность формирования реальной статистической выборки (исполнительская документация строительной организацией надлежащим образом не ведется, вызывает сомнение достоверность данных отчетных документов строительной организации и т. п.).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гусаков А. А., Богомолов Ю. М., Брехман А. И. Системотехника возведения: энциклопедический словарь. М. : Изд-во АСВ, 2004. 320 с.
2. Олейник П. П. Организация строительного производства. М. : Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2010. 276 с.
3. Гусаков А. А., Веремеенко С. А., Гинзбург А. В. Организационно-научно-техническая надежность строительного производства. М. : SVR-Аргус, 1994. 472 с.
4. Николаев Ю. Н., Прокопов С. В., Ларин К. В., Чурсинов Д. А. Совершенствование алгоритма автоматизированного формирования решений по производству строительных работ // Инженерный вестник Дона. 2021. № 5. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n5y2021/698.
5. Nikolaev Y. N., Torgashina S. N., Ovsepyan O. S., Mazin S. A. Algorithm for the automated formation of organizational and technological solutions for construction work with a trial design basis // Journal of Critical Reviews. 2020. Vol. 7. Iss. 8. Pp. 3245—3259.
6. Nikolaev Y. N. Aspects of assessment of organizational and technical reliability and design of construction processes with target reliability level using computer-aided technologies // 2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing. 2016. DOI: 10.1109/ICIEAM.2016.7911665.
7. Меняйлова Р. А., Чебанова С. А., Кравченко Д. Н. Информационно-технологическое обеспечение проектирования в строительстве // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2023. Вып. 1(90). С. 326—335.

8. Абрамян С. Г., Бурлаченко О. В., Оганесян О. В., Бурлаченко А. О. Роль цифровых технологий при строительстве и повышении остаточного ресурса промышленной и строительной продукции // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2020. Вып. 4(81). С. 429—438.
9. Гончарук В. С., Атаманов Ю. С., Гордеев С. Н. Методы генерации случайных чисел // Молодой ученый. 2017. С. 20—23.
10. Katzgraber H. G. Random Numbers in Scientific Computing. 2010. 20 p. URL: <https://arxiv.org/pdf/1005.4117.pdf>.
11. Lapidus A. A., Makarov A. N. Fuzzy sets on planning of experiment for organization and management of construction processes // 5th International Scientific Conference Integration, Partnership and Innovation in Construction Science and Education. 2016. Pp. 05003. DOI: 10.1051/mateconf/20168605003.
12. Oleinik P., Kuzmina T., Zenov V. Intensification of the investment process of construction // MATEC Web of Conferences. 2016. Pp. 05019. DOI: 10.1051/mateconf/20168605019.
13. Volkov A., Chulkov V., Kazaryan R. Innovative representation normative support in high-rise construction // Procedia Engineering. 2014. Vol. 91. Pp. 368—372. DOI: 10.1016/j.proeng.2014.12.077.
14. Rausand M., Barros A., Hoyland A. System Reliability Theory: Models, Statistical Methods, and Applications. London : Wiley, 2020. 864 p.
15. Voronkov I. Evaluation and improvement of the reliability of organizational structures of ICP by the method of hierarchy analysis // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 365. Iss. 6. Pp. 062035. DOI: 10.1088/1757—899X/365/6/062035.

© Николаев Ю. Н., Гущина Ю. В., Амельченко Н. С., Тулупова С. Д., 2024

Поступила в редакцию
в марте 2024 г.

Ссылка для цитирования:

Николаев Ю. Н., Гущина Ю. В., Амельченко Н. С., Тулупова С. Д. Оценка организационно-технологической надежности строительного производства с использованием компьютерных генераторов случайных чисел // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2024. Вып. 2(95). С. 269—278. DOI: 10.35211/18154360_2024_2_269.

Об авторах:

Николаев Юрий Николаевич — канд. техн. наук, доц. каф. технологий строительного производства, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; yuri.nikolaev@yandex.ru

Гущина Юлия Валерьевна — канд. экон. наук, доц. каф. технологий строительного производства, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1

Амельченко Николай Сергеевич — магистрант, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1

Тулупова Софья Дмитриевна — магистрант, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1

Yurii N. Nikolaev, Julia V. Gushchina, Nikolai S. Amelchenko, Sofia D. Tulupova

Volgograd State Technical University

ASSESSMENT OF THE ORGANIZATIONAL AND TECHNOLOGICAL RELIABILITY OF CONSTRUCTION PRODUCTION USING COMPUTER RANDOM NUMBER GENERATORS

The article considers an approach to assessing the organizational and technological reliability of the construction process based on the analysis of samples of a random indicator used to model construction production (productivity of construction machines and construction workers and/or labor and machine time costs per unit amount of work). At the same time, long-term research by the authors

has shown that it often becomes impossible to form statistical samples based on data from construction organizations as a result of the absence or improper maintenance of construction performance documentation, where production indicators should be recorded in shifts — the actual volumes and time of work performed, the number of resources involved, etc. In this regard, within the framework of this study, the possibilities of using methods for generating random number samples and testing their application within the framework of the considered approach to assessing the level of organizational and technological reliability of construction production and design with a given level of reliability are considered.

Key words: organizational and technological reliability, reliability assessment, methods for generating random number samples, reliability management of construction production.

For citation:

Nikolaev Yu. N., Gushchina J. V., Amelchenko N. S., Tulupova S. D. [Assessment of the organizational and technological reliability of construction production using computer random number generators]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2024, iss. 2, pp. 269—278. DOI: 10.35211/18154360_2024_2_269.

About authors:

Yurii N. Nikolaev — Candidate of Engineering Sciences, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; yuri.nikolaev@yandex.ru

Julia V. Gushchina — Candidate of Economics, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation

Nikolai S. Amelchenko — Master's Degree student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation

Sofia D. Tulupova — Master's Degree student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation