

УДК 625.1

Влияние надежности элементов строительного процесса на сроки строительства

Н. М. Панченко, Д. А. Басовский

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Российская Федерация, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

Для цитирования: Панченко Н. М., Басовский Д. А. Влияние надежности элементов строительного процесса на сроки строительства // Бюллетень результатов научных исследований. — 2025. — Вып. 3. — С. 167–175. DOI: 10.20295/2223-9987-2025-3-167-175

Аннотация

Цель: Оценить влияние, которое оказывает надежность рабочих и техники, принимающих участие в строительных процессах, на производительность этих процессов и, как следствие, на сроки строительства. Показать закономерности выявленного влияния на примере типовых комплектов строительной техники для возможности использования полученных результатов руководителями строительных организаций. **Методы:** Исследуемый строительный процесс был представлен в виде структурной модели, которая отражала количественные и качественные характеристики процесса. В качестве математического аппарата использовались формулы теории больших систем, теории массового обслуживания, теории надежности, теории вероятности. **Результаты:** Построена структурная модель строительного процесса, на основе которой произведены расчеты производительности и сроков выполнения работ с учетом надежности элементов данного строительного процесса. На основе расчетов построены графические зависимости производительности и сроков выполнения работ с учетом надежности для типовых экскаваторных комплектов строительной техники с наиболее часто используемыми объемами ковшей. При помощи графических зависимостей выявлено и оценено влияние надежности элементов строительного процесса на сроки строительных работ. **Практическая значимость:** Руководитель любой строительной организации заинтересован в том, чтобы строительные процессы, за которые он отвечает, выполнялись качественно и в срок. Современная нормативная документация не учитывает влияние, которое оказывает надежность элементов строительного процесса на его сроки выполнения. Представленные в статье расчеты сведены в таблицы, которыми удобно пользоваться. Графические зависимости дают наглядное представление о влиянии надежности элементов строительного процесса на его сроки выполнения. Комплекты, рассмотренные в исследовании, — типовые, а объем грунта, для разработки которого рассчитаны сроки выполнения работ, универсален для трансформации. Зная свой парк машин и фронт работ, воспользовавшись результатами исследования, руководитель строительной организации может оценить реальные сроки выполнения работ с учетом надежности и при необходимости скорректировать их.

Ключевые слова: Производительность, технологический процесс, вероятность безотказной работы, надежность, структурная модель, сроки производства работ.

Показателями качества любого строительного процесса являются: надежность функционирования данного процесса, высокая производительность и соблюдение расчетных сроков его завершения. В свою очередь, на представленные показатели оказывает огромное влияние применяемая технология производства работ. В зависимости от используемой технологии мы имеем определенную структуру строительного процесса [1]. Рассмотрим влияние надежности элементов строительного процесса на сроки строительства на примере экскаваторного комплекта,

который производит разработку грунта в карьере экскаватором с емкостью ковша $q = 1 \text{ м}^3$, $q = 1,25 \text{ м}^3$, $q = 1,5 \text{ м}^3$ и транспортировку разработанного грунта автосамосвалами грузоподъемностью 7 т при различных дальностях транспортирования грунта.

Используем системный подход и основы моделирования для исследования данного строительного процесса. Создадим структурную модель строительного процесса в общем виде [2]. На рис. 1 представлена структурная модель строительного процесса разработки грунта в карьере экскаватором и транспортирования его самосвалами к месту отсыпки в общем виде. Кружками в модели показаны рабочие, управляющие техникой, прямоугольниками — техника, линии, их соединяющие, — это структурные связи между элементами процесса (рабочими и техникой). В зависимости от расстояния и дальности возки грунта количество автосамосвалов и шоферов, ими управляющих, будет изменяться. Для качественного функционирования строительного процесса требуется знать оптимальное количество автосамосвалов. Оно рассчитывается с использованием формул математического аппарата теории массового обслуживания [3]. Каждому расстоянию возки грунта соответствует определенное количество автосамосвалов с учетом оптимального простоя техники во время ожидания очереди при транспортировке грунта и погрузочно-разгрузочных работах. Поэтому, для того чтобы не изображать n -ное количество аналогичных моделей для разных расстояний возки грунта, представим модель в общем виде и будем ею пользоваться с учетом изменяющегося в ней количества автосамосвалов и шоферов [4].

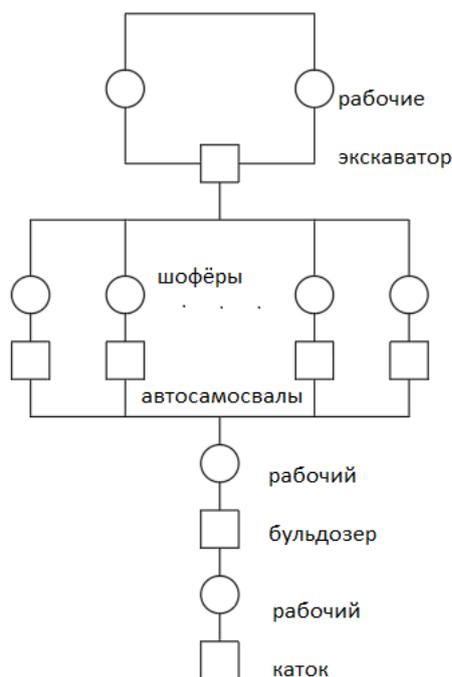


Рис. 1. Структурная модель строительного процесса разработки грунта в карьере экскаватором и транспортирования его автосамосвалами к месту отсыпки в общем виде

Каждый элемент строительного процесса имеет свою вероятность безотказной работы [5].

Рассчитаем производительность исследуемого процесса в долях условной единицы в диапазоне вероятностей безотказной работы элементов строительного процесса (рабочих и техники). Примем минимальной вероятность безотказной работы элементов строительного процесса (рабочих и техники) равной $P = 0,75$, так как при более низком показателе функционирование строительных процессов становится неэффективным в силу резкого снижения их производительности. Максимальной примем вероятность безотказной работы рабочих $P = 0,95$ и техники $P = 0,85$ согласно статистическим данным, собранным в строительной отрасли. Для расчетов воспользуемся математическим аппаратом решения больших систем академика А. Н. Колмогорова как наиболее достоверным для строительных систем [6]. Результаты расчета представлены в табл. 1.

ТАБЛИЦА 1. Производительность процесса разработки грунта в карьере экскаваторными комплектами $q = 1-1,5 \text{ м}^3$ при дальностях возки грунта $L = 0,3-2,0 \text{ км}$

$q, \text{ м}^3$	Дальность возки грунта, км									
	0,3		0,5		1,0		1,5		2,0	
	Производительность процесса при min и max вероятности безотказной работы элементов процесса									
	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
1,0	0,679	0,756	0,693	0,765	0,701	0,771	0,712	0,781	0,719	0,787
1,25	0,849	0,945	0,849	0,945	0,866	0,957	0,876	0,964	0,890	0,977
1,5	1,019	1,134	1,019	1,134	1,052	1,157	1,068	1,172	1,079	1,181

По полученным данным построим графические зависимости. На рис. 2 и 3 представлены графические зависимости производительности исследуемого строительного процесса в долях условной единицы от расстояния дальности возки грунта с учетом надежности элементов, задействованных в данном процессе.

Анализируя полученные графические зависимости, можно оценить влияние изменения вероятности безотказной работы, а именно надежности элементов, задействованных в строительном процессе, на производительность самого строительного процесса при использовании экскаваторов с различной емкостью ковша. Во-первых, кривые имеют нелинейный характер [7]. Во-вторых, можно заметить, что производительность процесса по разработке грунта экскаватором в карьере и транспортировке его к месту отвала при малых дальностях транспортировки грунта $L = 0,3-0,5 \text{ км}$ колеблется в пределах 10 % при изменении вероятности безотказной работы элементов процесса P от min к max, а при дальностях транспортировки грунта до $L = 2,0 \text{ км}$ — эти колебания в пределах 8 %.

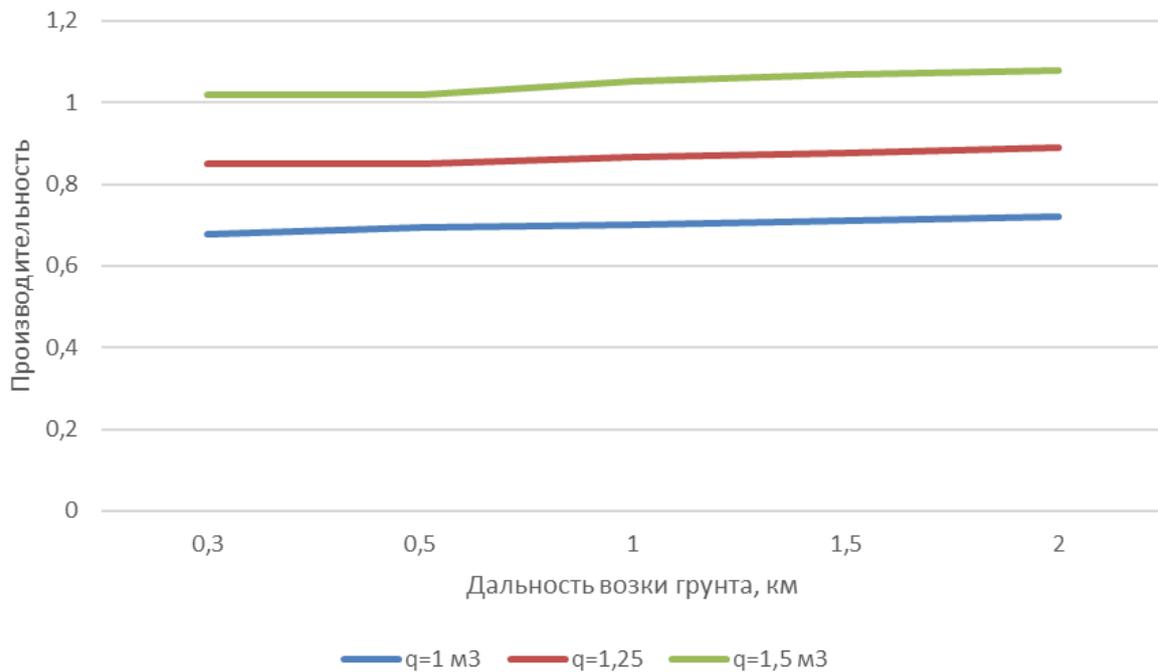


Рис. 2. Зависимость производительности процесса разработки грунта в карьере экскаваторным комплектом от расстояния дальности возки грунта с учетом минимальной вероятности безотказной работы техники и рабочих $P = 0,75$ для экскаваторов с емкостью ковша $q = 1 \text{ м}^3$, $q = 1,25 \text{ м}^3$, $q = 1,5 \text{ м}^3$

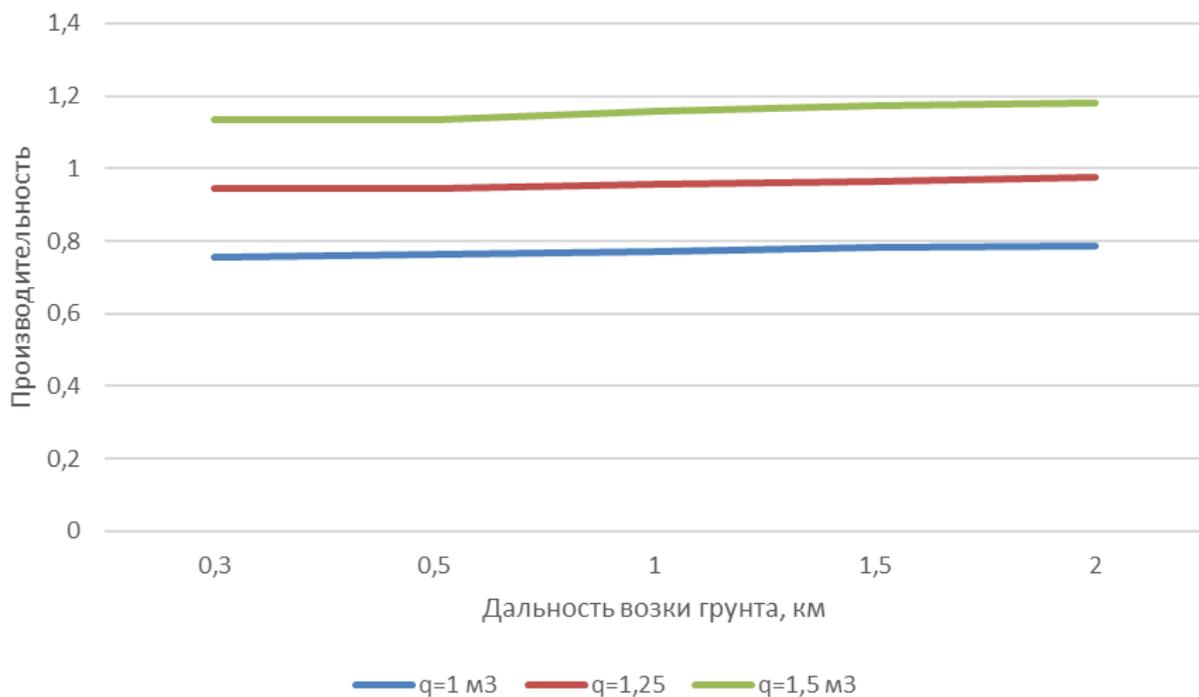


Рис. 3. Зависимость производительности процесса разработки грунта в карьере экскаваторным комплектом от расстояния дальности возки грунта с учетом максимальной вероятности безотказной работы техники $P = 0,85$ и рабочих $P = 0,95$ для экскаваторов с емкостью ковша $q = 1 \text{ м}^3$, $q = 1,25 \text{ м}^3$, $q = 1,5 \text{ м}^3$

Очевидно, что сроки производства работ напрямую зависят от производительности строительного процесса. Поэтому, зная производительность, определим сроки производства работ для исследуемого строительного процесса с заданной техникой в зависимости от вероятности безотказной работы элементов этого процесса [8]. Расчет сроков выполним для разработки грунта экскаваторными комплектами объемом $10\,000\text{ м}^3$. Результаты расчета представлены в табл. 2.

ТАБЛИЦА 2. Сроки производства работ при разработке грунта в карьере экскаваторными комплектами $q = 1\text{--}1,5\text{ м}^3$ при дальностях возки грунта $L = 0,3\text{--}2,0\text{ км}$

$q, \text{ м}^3$	Дальность возки грунта, км									
	0,3		0,5		1,0		1,5		2,0	
	Сроки производства работ при min и max вероятности безотказной работы элементов процесса									
	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
1,0	14	11	14	11	14	11	13	11	13	11
1,25	11	9	11	9	11	9	11	9	10	9
1,5	9	7	9	7	9	7	9	7	8	7

Построим по полученным данным графические зависимости. На рис. 4 и 5 приведены зависимости сроков производства работ анализируемого процесса с учетом влияния надежности элементов, задействованных в данном процессе.

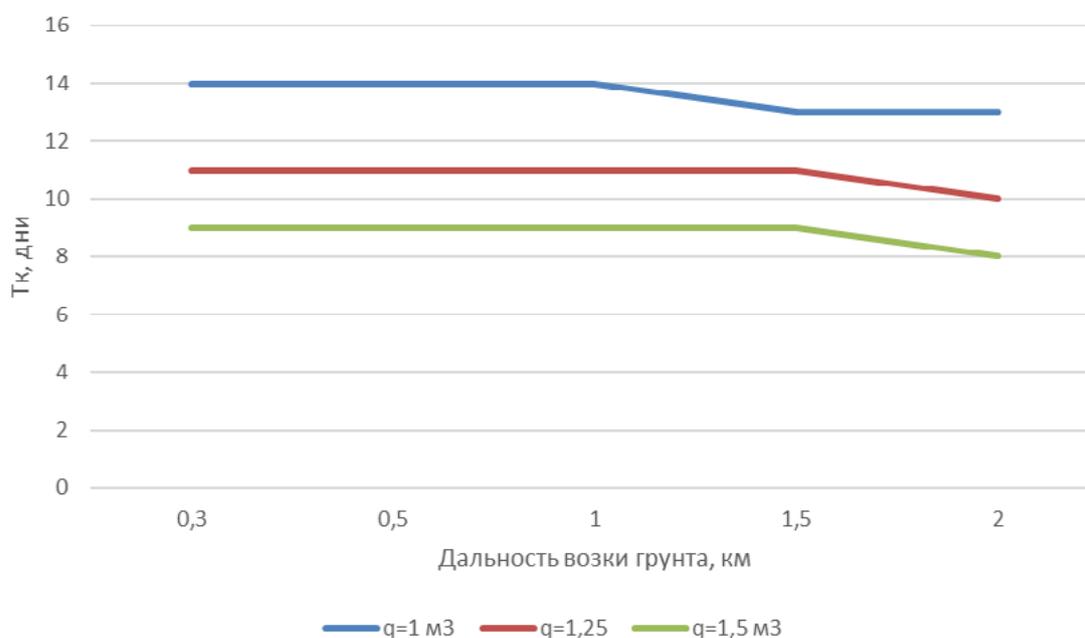


Рис. 4. Зависимость сроков производства работ процесса разработки грунта в карьере экскаваторным комплектом с учетом минимальной вероятности безотказной работы техники и рабочих $P = 0,75$ для экскаваторов с емкостью ковша $q = 1\text{ м}^3$, $q = 1,25\text{ м}^3$, $q = 1,5\text{ м}^3$ (на $V = 10\,000\text{ м}^3$)

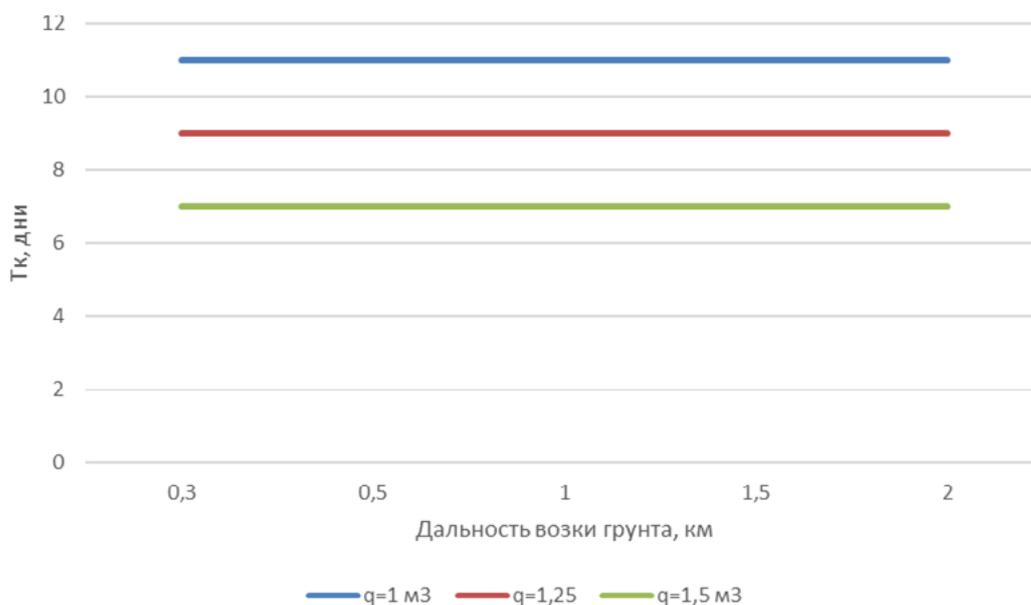


Рис. 5. Зависимость сроков производства работ процесса разработки грунта в карьере экскаваторным комплектом с учетом максимальной вероятности безотказной работы техники $P = 0,85$ и рабочих $P = 0,95$ для экскаваторов с емкостью ковша $q = 1 \text{ м}^3$, $q = 1,25 \text{ м}^3$, $q = 1,5 \text{ м}^3$ (на $V = 10\,000 \text{ м}^3$)

При минимальной вероятности безотказной работы людей и техники построенные зависимости имеют нелинейный характер, и с увеличением дальности возки грунта с 0,3 до 2,0 км можно наблюдать изменение, а именно снижение сроков производства работ на 7,1 %, 9 % и 11 % для экскаваторов с емкостью ковша $q = 1 \text{ м}^3$, $q = 1,25 \text{ м}^3$, $q = 1,5 \text{ м}^3$ соответственно. Это объясняется увеличением надежности самого процесса за счет резервирования самосвалов при увеличении дальности возки грунта [9].

При максимальной вероятности безотказной работы людей и техники построенные зависимости получились не только линейными, но еще и сроки постоянны по своим значениям [10]. Это свидетельствует о том, что при максимальной вероятности безотказной работы элементов строительного процесса резервирование техники не оказывает влияние на изменение сроков производства работ.

Вывод: все строительные процессы носят вероятностный характер, обладают свойствами и признаками больших систем и подчиняются закономерностям теории вероятности. К сожалению, нормативная документация, применяемая в строительстве, не учитывает вероятностный характер строительных процессов. Отсюда возникают сбои в процессах и несоответствие расчетных сроков строительства фактическим. Проведенное исследование на примере представленных графических зависимостей наглядно показывает, какое влияние оказывает изменение надежности элементов строительного процесса на производительность этого процесса и сроки производства работ. Расчеты выполнены для линейки типовой строительной техники и стандартного строительного процесса, который

применим при возведении любого объекта, где требуется выполнение земляных работ. Полученные результаты могут иметь практическую значимость для руководителей строительных организаций. Любой руководитель строительной организации, зная состав и состояние технической базы и персонала, сможет легко оценить производительность и сроки выполнения конкретных работ с учетом надежности при использовании представленных графических зависимостей.

Список источников

1. Губинский А. И. Надежность и качество функционирования эргатических систем / А. И. Губинский. — Л.: Наука, 1982. — 262 с.
2. Гусаков А. А. Моделирование организационно-технологической надежности строительства / А. А. Гусаков, Ю. Б. Монфред, Б. В. Прыкин. — М.: SVR-Аргус, 1994. — 472 с.
3. Соболев В. И. Экономико-математическое моделирование организации строительных работ / В. И. Соболев, В. В. Соболев // Научная мысль Кавказа: сб. тр. / Сев.-Кавк. науч. центр высш. шк. — Ростов-на-Дону, 2002. — С. 85–90.
4. Панченко Н. М. К вопросу выбора наиболее рационального сочетания землеройной и транспортной техники при производстве земляных работ / Н. М. Панченко, Д. А. Басовский // Бюллетень результатов научных исследований. — 2023. — № 1. — С. 19–25.
5. Половко А. М. Основы теории надежности / А. М. Половко, С. В. Гуров. — СПб.: БХВ-Петербург, 2008. — 704 с.
6. Гусаков А. А. Организационно-технологическая надежность строительства / А. А. Гусаков, А. В. Гинзбург, С. А. Веремеенко. — М.: А/О «Внешторгиздат», 1994. — 472 с.
7. Спиридонов Э. С. Научные основы оптимизации организации и управления комплексом работ по переустройству транспортных объектов / Э. С. Спиридонов, А. В. Максимов. — М.: Известия, 1998. — 290 с.
8. Соболев В. И. Совершенствование организационно-технологического проектирования строительного производства: монография / В. И. Соболев; Юж.-Рос. гос. техн. ун-т. — Новочеркасск, 2001. — С. 86–96.
9. Панченко Н. М. К вопросу оценки качества функционирования технологических процессов в строительстве через их производительность и сроки выполнения работ / Н. М. Панченко // Тенденции развития науки и образования: рец. науч. журн. — Самара, 2021. — № 78, ч. 2. — С. 90–93.
10. Панченко Н. М. Выбор рационального сочетания землеройной и транспортной техники при производстве земляных работ / Н. М. Панченко // Тенденции развития науки и образования: рец. науч. журн. — Самара, 2022. — № 87, ч. 3. — С. 70–74.

Дата поступления: 06.06.2025

Решение о публикации: 12.07.2025

Контактная информация:

ПАНЧЕНКО Наталия Михайловна — канд. техн. наук, доц.; panchnat@rambler.ru

БАСОВСКИЙ Дмитрий Аркадьевич — канд. техн. наук, доц.; basovskiy76@mail.ru

The Influence of the Reliability of the Construction Process Components on the Construction Time

N. M. Panchenko, D. A. Basovskiy

Emperor Alexander I Petersburg State Transport University, 9, Moskovsky pr., Saint Petersburg, 190031, Russian Federation

For citation: Panchenko N. M., Basovskiy D. A. The Influence of the Reliability of Construction Process Components on the Construction Time. *Bulletin of scientific research results*, 2025, iss. 3, pp. 167–175. (In Russian) DOI: 10.20295/2223-9987-2025-3-167-175

Summary

Purpose: To assess how the reliability of workers and equipment involved in construction processes influences the productivity of these processes and, consequently, construction time. To identify and demonstrate the identified patterns of influence using standard sets of construction equipment. This will enable construction organization managers to use the results obtained. **Methods:** The construction process under study was presented in the form of a structural model that reflected the quantitative and qualitative characteristics of the process. Formulas from the theory of large systems, queuing theory, reliability theory, and probability theory were utilized as mathematical instruments. **Results:** A structural model of the construction process was developed, providing a foundation for calculations that assessed productivity and the timeframe for completing construction work. These calculations incorporated a reliability assessment of the components involved in the construction process. A series of calculations was conducted to establish graphical dependencies between productivity and work completion time. These calculations were made based on the reliability of typical construction excavator units with the most commonly used bucket sizes. The present study employs graphical dependencies to identify and assess the influence of the reliability of construction process elements on the timing of construction work. **Practical significance:** The construction manager's primary objective is to execute construction processes with optimal quality and on schedule. The present regulatory documentation does not take into account the impact of construction component reliability on project completion time. The calculations presented in the article are conveniently summarized in tables. The utilization of graphic dependencies provides a clear visual representation of the influence of the reliability of the construction project components on its completion time. The components under consideration are considered to be standard, and the soil excavation volume is completed within a standard timeframe and is universally applicable for transformation. Given the construction manager's expertise in his machine fleet and the project's scope, the study's findings can be utilized to accurately predict the project's completion deadlines, ensuring reliability. Should further modifications be required, they can be made.

Keywords: Productivity/performance, technological process, probability of failure-free operation, reliability, structural model, construction work timeframe.

References

1. Gubinskiy A. I. *Nadezhnost' i kachestvo funktsionirovaniya ergaticheskikh sistem* [Reliability and quality of functioning of ergonomic systems]. Leningrad: Nauka Publ., 1982, 262 p. (In Russian)
2. Gusakov A. A., Monfred Yu. B., Prykin B. V. *Modelirovanie organizatsionno-tekhnologicheskoy nadezhnosti stroitel'stva* [Modeling of organizational and technological reliability of construction]. Moscow: SVR-Argus Publ., 1994, 472 p. (In Russian)
3. Sobolev V. I., Sobolev V. V. *Ekonomiko-matematicheskoe modelirovanie organizatsii stroitel'nykh rabot* [Economic and mathematical modeling of construction organization]. *Nauchnaya mysl'*

Kavkaza: sb. tr. [Scientific thought of the Caucasus: collection of works]. Rostov-on-Don: Sev.-Kavk. nauch. tsentr vyssh. shk. Publ., 2002, pp. 85–90. (In Russian)

4. Panchenko N. M., Basovskiy D. A. K voprosu vybora naibolee ratsional'nogo sochetaniya zemleroynoy i transportnoy tekhniki pri proizvodstve zemlyanykh rabot [On the issue of choosing the most rational combination of earthmoving and transport equipment in earthworks]. *Byulleten' rezul'tatov nauchnykh issledovaniy* [Bulletin of research results]. 2023, Iss. 1, pp. 19–25. (In Russian)

5. Polovko A. M., Gurov S. V. *Osnovy teorii nadezhnosti* [Fundamentals of reliability theory]. Saint Petersburg: BHV-Peterburg Publ., 2008, 704 p. (In Russian)

6. Gusakov A. A., Ginzburg A. V., Veremeenko S. A. *Organizatsionno-tekhnologicheskaya nadezhnost' stroitel'stva* [Organizational and technological reliability of construction]. Moscow: AO "Vneshtorgizdat" Publ., 1994, 472 p. (In Russian)

7. Spiridonov E. S., Maksimov A. V. *Nauchnye osnovy optimizatsii organizatsii i upravleniya kompleksom rabot po pereustroystvu transportnykh ob'ektov* [Scientific foundations for optimizing the organization and management of a complex of works on the reconstruction of transport facilities]. Moscow: Izvestiya Publ., 1998, 290 p. (In Russian)

8. Sobolev V. I. *Sovershenstvovanie organizatsionno-tekhnologicheskogo proektirovaniya stroitel'nogo proizvodstva: monografiya* [Improving organizational and technological design of construction production: monograph]. Novocherkassk: Yuzh.-Ros. gos. tekhn. un-t, 2001, pp. 86–96. (In Russian)

9. Panchenko N. M. K voprosu otsenki kachestva funktsionirovaniya tekhnologicheskikh protsessov v stroitel'stve cherez ikh proizvoditel'nost' i sroki vypolneniya rabot [On the issue of assessing the quality of functioning of technological processes in construction through their productivity and deadlines for work performance]. *Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya: rets. nauch. zhurn.* [Trends in the development of science and education: reviewed scientific journal]. Samara, 2021, Iss. 78, part 2, pp. 90–93. (In Russian)

10. Panchenko N. M. Vychor ratsional'nogo sochetaniya zemleroynoy i transportnoy tekhniki pri proizvodstve zemlyanykh rabot [Selection of a rational combination of earthmoving and transport equipment in earthworks]. *Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya: rets. nauch. zhurn.* [Trends in the development of science and education: reviewed scientific journal]. Samara, 2022, Iss. 87, part 3, pp. 70–74. (In Russian)

Received: June 06, 2025

Accepted: July 12, 2025

Author's information:

Nataliya M. PANCHENKO — PhD in Engineering, Associate Professor; panchnat@rambler.ru

Dmitriy A. BASOVSKIY — PhD in Engineering, Associate Professor; basovskiy76@mail.ru