

ОБЩЕТЕХНИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

УДК 624.152

Использование сценарного подхода при формировании комплектов строительной техники

В. С. Меркушева, Н. М. Панченко

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

Для цитирования: Меркушева В. С., Панченко Н. М. Использование сценарного подхода при формировании комплектов строительной техники // Бюллетень результатов научных исследований. — 2025. — Вып. 3. — С. 159–166. DOI: 10.20295/2223-9987-2025-3-159-166

Аннотация

Цель: Оценить состав строительной техники при строительстве на примере процесса возведения насыпи земляного полотна экскаваторным комплексом с учетом технических и экономических характеристик. Определить состав значимых показателей для формирования комплектов строительной техники для строительства. Оценить вариативность комплектов по основным значимым показателям. **Методы:** Теории массового обслуживания, методы сценарного подхода, оценка вероятности безотказной работы техники. **Результаты:** Сформированы сценарии составления комплектов строительной техники. По всем сформированным сценариям рассчитаны вероятности безотказной работы техники, математического ожидания производительности техники и определена их стоимость. **Практическая значимость:** Полученные сценарии упрощают и сокращают время на принятие управленческого решения о формировании комплектов строительной техники.

Ключевые слова: Вероятность безотказной работы, математического ожидания производительности, сценарный подход, средняя стоимость, надежность, строительный процесс, комплекты строительной техники.

При строительстве любых объектов всегда актуальны следующие условия: высокая производительность строительных процессов, оптимальные сроки ввода объекта в эксплуатацию и скорейшее получение прибыли от введенного в строй объекта. Все эти условия тесно взаимосвязаны между собой и напрямую зависят от надежности функционирования строительных процессов [1]. Надежность функционирования, в свою очередь, зависит от используемой технологии и надежности элементов данного процесса: рабочей силы и техники и, как правило, не учитывается при составлении нормативной документации, на основании которой рассчитываются производительность строительных процессов и сроки ввода объекта в эксплуатацию. Все эти характеристики влияют на принятие решения по формированию комплектов строительной техники [2].

Предлагаем провести исследование влияния технологий и надежности элементов на принятие решений по формированию комплектов строительной техники и функционированию строительного процесса — возведению насыпи земляного полотна экскаваторным комплексом. В комплект входят:

- экскаватор JCB $q = 1 \text{ м}^3$;
- самосвалы КАМАЗ-43255, $q = 7 \text{ т}$;
- бульдозер гусеничный Б-100;
- каток пневмоколесный Hitachi CP-210.

Условия функционирования процесса следующие: грунт разрабатывается экскаватором в карьере и доставляется самосвалами к месту отсыпки, где на разных захватках производится разравнивание грунта бульдозером и уплотнение пневмоколесным катком.

Графическая модель данного процесса, на основе которой будет производиться расчет, показана на рис. 1. Модель отображает структуру процесса, в которой представлены все элементы (рабочая сила и техника), а также их взаимодействие в технологическом процессе [3]. Количество техники в экскаваторном комплексе определено путем использования математического аппарата теории массового обслуживания и является оптимальным для расстояния дальности возки грунта, равного $L = 0,3\text{--}0,5 \text{ км}$ [4].

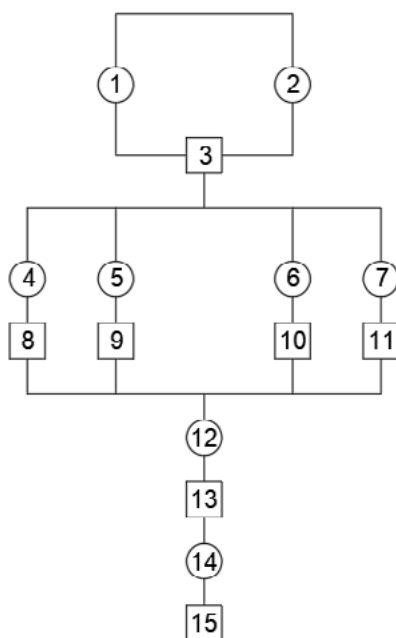


Рис. 1. Графическая модель процесса возведения насыпи земляного полотна экскаваторным комплексом:

- 1 — машинист экскаватора; 2 — помощник машиниста экскаватора;
 3 — экскаватор; 4–7 — шоферы автосамосвалов; 8–11 — автосамосвалы;
 12 — машинист бульдозера; 13 — бульдозер; 14 — машинист уплотняющей техники; 15 — уплотняющая техника

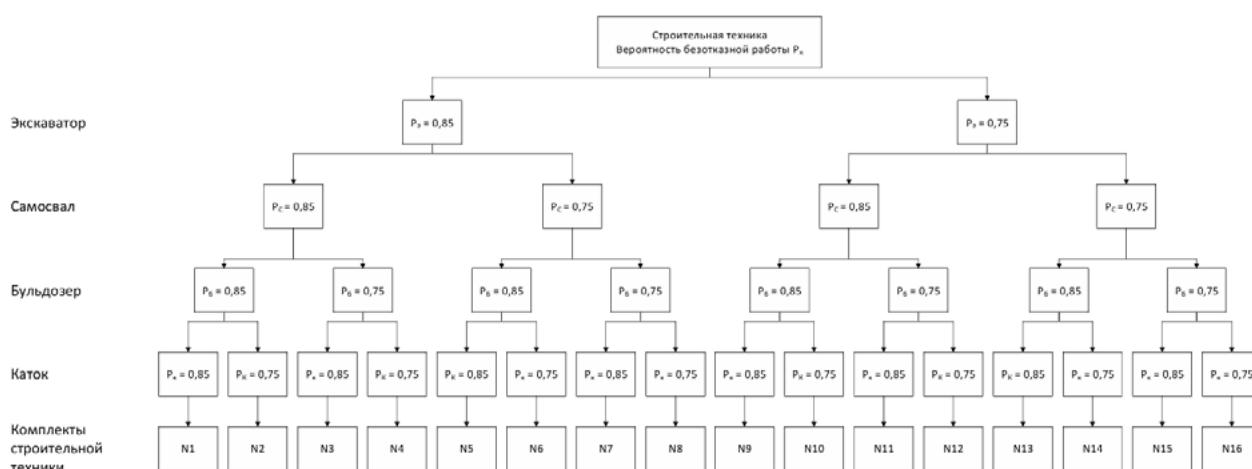


Рис. 2. Математическая модель функционирования процесса возведения насыпи земляного полотна экскаваторным комплексом

Техника, входящая в экскаваторный комплекс, может быть как абсолютно новая, так и многократно использованная для данного вида работ, а следовательно, вероятность безотказной работы у нее также будет разная. По статистическим данным, собранным для строительной отрасли, вероятность безотказной работы новой техники составляет $P = 0,85$, а вероятность безотказной работы рабочих в возрасте до 30 лет составляет $P = 0,95$.

Определим вероятность безотказной работы комплекса строительной техники, состоящей из экскаватора, самосвала, бульдозера и катка [5]. Кроме того, определим, как влияет вероятность безотказной работы той или иной конкретной машины на производительность данного строительного процесса в целом. Для этого создадим модель функционирования данного процесса методом «сценариев», которая представлена на рис. 2. Данная модель дает представление о 16 сценариях функционирования строительного процесса [6]. Каждый сценарий включает комбинацию новой техники и техники с износом (далее — старой техники).

Используя сценарный подход к составлению комплекта строительной техники, рассчитаем вероятность безотказной работы по каждому варианту. Результаты расчета приведены в табл. 1.

Строительные процессы в целом обладают невысокой вероятностью безотказной работы за счет своих структурных связей, в которых преобладают последовательные соединения технологических операций [7]. Поэтому в проведенных расчетах значения вероятностей безотказной работы невысокие. Например, комплект № 1, состоящий только из новой техники, на 40,4 % превосходит по вероятности безотказной работы комплект № 16, целиком состоящий из подержанной техники. В зависимости от компоновки комплектов техникой этот процент уменьшается до 7,7 % (комплект № 5). В результате рассмотрения 16 сценариев комплектности строительной техники разброс вероятностей безотказной работы получился достаточно большой — от 7,7 % до 40,4 %.

ТАБЛИЦА 1. Вероятности безотказной работы комплектов строительной техники согласно математической модели функционирования производственного процесса

Номер комплекта	Вероятность безотказной работы	Номер комплекта	Вероятность безотказной работы
№ 1	0,52	№ 9	0,46
№ 2	0,46	№ 10	0,41
№ 3	0,46	№ 11	0,41
№ 4	0,41	№ 12	0,36
№ 5	0,48	№ 13	0,41
№ 6	0,41	№ 14	0,36
№ 7	0,47	№ 15	0,31
№ 8	0,36	№ 16	0,31

ТАБЛИЦА 2. Математическое ожидание производительности комплектов строительной техники согласно математической модели функционирования производственного процесса

Номер комплекта	Математическое ожидание производительности, %	Номер комплекта	Математическое ожидание производительности, %
№ 1	61	№ 9	56,8
№ 2	58,4	№ 10	54,3
№ 3	58,4	№ 11	54,3
№ 4	56	№ 12	52
№ 5	59,4	№ 13	57
№ 6	59,1	№ 14	54,9
№ 7	59,1	№ 15	54,9
№ 8	57	№ 16	52,9

Было определено, что вероятность безотказной работы техники влияет на производительность строительных работ для выбранных 16 сценариев компоновки техники с результатами, приведенными в табл. 2.

Математическое ожидание производительности комплекта по сценарию № 1 (полностью новая техника) составляет 61 % от максимально возможного. Такой невысокий показатель вызван большим количеством последовательно связанных между собой операций и малым количеством параллельных [8], что снижает надежность процессов и, следовательно, их производительность. Как показывает таблица, математическое ожидание производительности комплекта № 16 (с изношенной техникой) на 8,1 % ниже показателя комплекта № 1.

Полученные результаты расчетов показывают реальную ситуацию по ожиданию производительности экскаваторных комплектов с учетом надежности конкретных машин и их расположения в структуре технологического процесса. Результаты расчетов дают возможность оценить ожидание производительности экскаваторных комплексов, а при известных объемах работ заказчик может оценить и реальные сроки их выполнения.

ТАБЛИЦА 3. Стоимости новой и изношенной строительной техники

Экскаватор		Самосвал		Бульдозер		Каток	
Стоимость, руб.							
с износом	новая	с износом	новая	с износом	новая	с износом	новая
7 млн	16,5 млн	5,7 млн	16 млн	4 млн	70 млн	11,5 млн	60 млн

ТАБЛИЦА 4. Стоимость комплектов строительной техники согласно математической модели функционирования производственного процесса

Номер комплекта	Стоимость, млн руб.	Номер комплекта	Стоимость, млн руб.
№ 1	162,5	№ 9	153
№ 2	114	№ 10	104,5
№ 3	96,5	№ 11	87
№ 4	48	№ 12	38,5
№ 5	152,2	№ 13	142,7
№ 6	103,7	№ 14	94,2
№ 7	86,2	№ 15	76,7
№ 8	37,7	№ 16	28,2

Принятие решений при расчете вероятности безотказной работы комплекса строительной техники в целом является важной составной частью строительного процесса, но также необходимо руководствоваться не только техническими характеристиками, но и экономическими [9]. В современных условиях нужно исходить не только из надежности строительной техники, но и учитывать экономические характеристики, например — инвестиции в строительную технику. На базе сценарного подхода [10] для определения вероятности безотказной работы строительной техники нами была определена также экономическая составляющая принятия решения по использованию комплекта строительной техники, а именно — стоимость комплектов. В табл. 3 представлены расчетные данные: стоимости новой и бывшей в употреблении техники с учетом износа.

В табл. 4 представлены результаты определения стоимости 16 сценариев комплектов строительной техники.

В результате расчетов мы получили среднюю стоимость для всех 16 сценариев компоновки комплектов техники. Так, например, для комплекта № 1 (полностью новой техники) средняя стоимость будет соответствовать 162,5 млн руб. при средней вероятности безотказной работы $P = 0,85$, а средняя стоимость техники для комплекта № 16 (старой техники) составляет 28,20 млн руб. при средней вероятности безотказной работы $P = 0,75$.

При принятии управленческого решения о формировании комплектов строительной техники для строительных работ необходимо учитывать не только технические характеристики, но также и ценовые показатели применяемой техники.

Выводы

Полученные результаты будут полезны строительным организациям, особенно небольшим, которым сложно содержать большой парк техники и создавать резервные фонды для ее дублирования. Опираясь на знание фактического состояния своей техники, руководитель строительной организации легко может найти из предложенных шестнадцати сценариев формирования комплектов техники тот, который наиболее приближен к его конкретной ситуации. На основе предложенного подхода к учету надежности, производительности и стоимости техники руководитель способен принимать обоснованные решения при формировании строительных комплектов.

Список источников

1. Гусаков А. А. Организационно-технологическая надежность строительства / А. А. Гусаков, А. В. Гинзбург, С. А. Веремеенко. — М.: А/О «Внешторгиздат», 1994. — 472 с.
2. Половко А. М. Основы теории надежности / А. М. Половко, С. В. Гуров. — СПб.: БХВ-Петербург, 2008. — 704 с.
3. 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. — 2021. — № 78, ч. 2. — С. 90–93.
4. Панченко Н. М. Выбор рационального сочетания землеройной и транспортной техники при производстве земляных работ / Н. М. Панченко // Тенденции развития науки и образования. — 2022. — № 87, ч. 3. — С. 70–74.
5. Дроздова Н. В. Экономико-математическое моделирование / Н. В. Дроздова. — Ярославль: ЯрГУ, 2010. — 246 с.
6. Катарыгин Н. В. Экономико-математическое моделирование / Н. В. Катарыгин. — СПб.: Лань, 2022. — 256 с.
7. Мошков М. Ю. Деревья решений. Теория и приложения / М. Ю. Мошков. — Нижний Новгород, 1994. — 176 с.
8. Интрилигатор М. Математические методы оптимизации и экономическая теория / М. Интрилигатор. — М.: Айрис-Пресс, 2002. — 576 с.
9. Глухов В. В. Математические методы и модели для менеджмента / В. В. Глухов, М. Д. Медников, С. Б. Коробко. — СПб.: Лань, 2000. — 528 с.
10. Акулич И. Л. Математическое программирование в примерах и задачах / И. Л. Акулич. — СПб.: Лань, 2011. — 352 с.

Дата поступления: 06.06.2025

Решение о публикации: 12.07.2025

Контактная информация:

МЕРКУШЕВА Виктория Сергеевна — канд. экон. наук, доц.; vika.merkusheva@bk.ru

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

A Scenario Approach to Construction Equipment Selection

V. S. Merkusheva, N. M. Panchenko

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

For citation: Merkusheva V. S., Panchenko N. M. A Scenario Approach to Construction Equipment Selection. *Bulletin of scientific research results*, 2025, iss. 3, pp. 159–166. (In Russian) DOI: 10.20295/2223-9987-2025-3-159-166

Summary

Purpose: To evaluate the type of construction equipment used in the construction of a railway track embankment with excavator units, taking into account their technical and economic characteristics. To ascertain the key indicators for the construction equipment selection. To evaluate the variability of the construction equipment components according to the key indicators. **Methods:** Queuing theory, scenario approach methods, estimation of probability of the equipment failure-free operation. **Results:** The formulation of scenarios for the construction of equipment has been completed. For all scenarios that were generated, the probabilities of failure-free operation of the equipment, the mathematical expectations of the equipment's performance and the equipment's cost have been calculated. **Practical significance:** The scenarios obtained will serve to simplify and reduce the time required to make a management decision on the selection of the construction equipment.

Keywords: Probability of failure-free operation, mathematical expectation of performance, scenario approach, average cost, reliability, construction process, construction equipment sets.

References

1. 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)
2. Polovko A. M., Gurov S. V. *Osnovy teorii nadezhnosti* [Fundamentals of reliability theory]. Saint Petersburg: BHV-Peterburg Publ., 2008, 704 p. (In Russian)
3. 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* [Trends in the development of science and education]. 2021, Iss. 78, part 2, pp. 90–93. (In Russian)
4. Panchenko N. M. Vybór ratsional'nogo sochetaniya zemleroy noy i transportnoy tekhniki pri proizvodstve zemlyanykh rabot [Selection of a rational combination of earthmoving and transport equipment in earthworks]. *Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya* [Trends in the development of science and education]. 2022, Iss. 87, part 3, pp. 70–74. (In Russian)
5. Drozdova N. V. *Ekonomiko-matematicheskoe modelirovaniye* [Economic and mathematical modeling]. Yaroslavl': YarGU Publ., 2010, 246 p. (In Russian)
6. Katarygin N. V. *Ekonomiko-matematicheskoe modelirovaniye* [Economic and mathematical modeling]. Saint Petersburg: Lan' Publ., 2022, 256 p. (In Russian)

7. Moshkov M. Yu. *Derev'ya resheniy. Teoriya i prilozheniya* [Decision trees. Theory and applications]. Nizhny Novgorod, 1994, 176 p. (In Russian)
8. Intriligator M. *Matematicheskie metody optimizatsii i ekonomicheskaya teoriya* [Mathematical methods of optimization and economic theory]. Moscow: Ayriss-Press Publ., 2002, 576 p. (In Russian)
9. Glukhov V. V., Mednikov M. D., Korobko S. B. *Matematicheskie metody i modeli dlya menedzhmenta* [Mathematical methods and models for management]. Saint Petersburg: Lan' Publ., 2000, 528 p. (In Russian)
10. Akulich I. L. *Matematicheskoe programmirovaniye v primerakh i zadachakh* [Mathematical programming in examples and problems]. Saint Petersburg: Lan' Publ., 2011, 352 p. (In Russian)

Received: June 06, 2025

Accepted: July 12, 2025

Author's information:

Victoria S. MERKUSHEVA — PhD in Economics, Associate Professor; vika.merkusheva@bk.ru

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