

## К вопросу выбора наиболее рационального сочетания землеройной и транспортной техники при производстве земляных работ

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. К вопросу выбора наиболее рационального сочетания землеройной и транспортной техники при производстве земляных работ // Бюллетень результатов научных исследований. — 2023. — Вып. 1. — С. 19–25. DOI: 10.20295/2223-9987-2023-1-19-25

### Аннотация

**Цель:** Анализ проблемы выбора оптимального комплекта машин при возведении объектов транспортного строительства. Проблема выбора рационального сочетания техники в землеройных комплектах всегда является актуальной. Производительность строительного процесса, сроки строительства, трудозатраты, себестоимость продукции и многие другие показатели эффективности строительства зависят от того, насколько рационально подобрана техника в строительных комплектах машин. **Методы:** Инструментом для исследования и анализа проблемы выбора оптимального комплекта машин при возведении объектов транспортного строительства являются расчетные формулы теории надежности, теории больших систем и теории массового обслуживания. Так как строительные процессы, рассматриваемые автором, обладают всеми признаками больших систем, они динамичны и могут быть вероятностно прогнозируемы. **Результаты:** В статье предложены варианты рационального сочетания землеройной и транспортной техники для систем «экскаватор — самосвалы» применительно к комплектам техники с машинами, имеющими различные технические параметры, и для различной дальности транспортирования грунта. Представленные варианты получены путем расчета с использованием математического аппарата теорий надежности и массового обслуживания. **Практическая значимость:** Представленные авторами результаты предложены в удобной для использования табличной форме и имеют практическую значимость, так как в случае применения их строительными организациями способны повысить производительность строительного процесса и сократить сроки строительства объектов.

**Ключевые слова:** Теория массового обслуживания, землеройная и транспортирующая техника, теория вероятности, рациональное сочетание строительной техники, производительность строительного процесса, земляные работы.

При проектировании и последующем возведении строительных объектов особенно важным является, чтобы эти объекты были выстроены и запущены в намеченные планом сроки, чтобы их качественные характеристики соответствовали действующим стандартам качества и требованиям потребителя. Кроме этого, необходимо учитывать и такие аспекты, как при наименьших затратах рабочего времени людей и машин, человеческих, технических, энергетических ресурсов, материалов получить максимальную прибыль. Создание принципиально новых производительных машин является процессом достаточно длительным и весьма затратным. Доказано, что чем больше в любую продукцию (будь то машина,

конструкция, объект) вложено интеллекта, тем эта продукция будет дороже [1]. Да и не всегда применение наиболее производительной машины дает при строительстве объектов желаемый результат. Обычно такое применение влечет за собой изменение технологии или смену парка машин, что увеличивает затраты на строительство данного объекта. Строитель заинтересован в снижении затрат, поэтому решением данной проблемы может послужить применение таких комплектов строительной техники, которые обеспечивали бы максимальную производительность работ и при этом, в процессе своего функционирования, имели бы минимальные простои рабочего времени. Такие комплекты обозначим как комплекты с наиболее рациональным сочетанием техники.

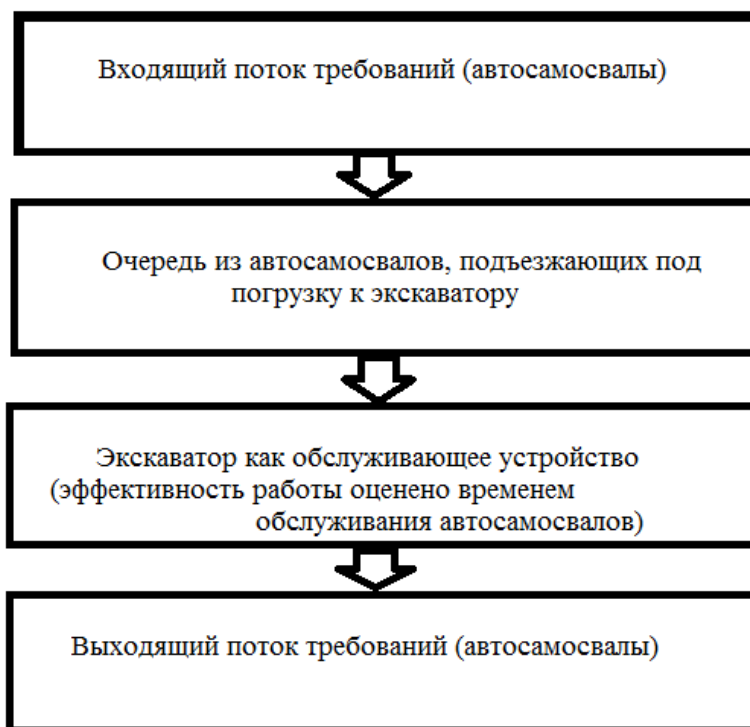
Распространенными объектами транспортной инфраструктуры являются: земляное полотно автомобильных и железных дорог, металлические и железобетонные трубы, мосты. Для возведения подобных объектов обычно применяют самый универсальный комплект техники, в состав которого входит строительный экскаватор и автосамосвалы. От того, насколько ритмично будут выполняться работы, какой процент простоев от времени рабочей смены той или иной техники, зависят эффективность функционирования строительного процесса и сроки введения объекта в эксплуатацию. Поэтому решение проблемы выбора комплекта машин с наиболее рациональным сочетанием техники представлено на примере процесса производства земляных работ для комплекта техники «экскаватор — самосвалы».

Доказано, что любой строительный процесс состоит из элементов (рабочих и техники), в процессе функционирования элементы взаимодействуют между собой, образуя прямые и обратные связи, сочетаются и образуют микросистемы, которые, в свою очередь, объединяются в макросистемы — возведение объекта в целом [2]. Данные системы функционируют, подчиняясь законам теории вероятностей, так как на них оказывают свое влияние множество факторов, имеющих вероятностный характер, например:

- поломки машин и механизмов;
- низкое качество материалов и конструкций;
- незапланированные изменения в проекте строительства, произошедшие в момент проведения строительных работ;
- устранение возникшего в процессе строительства брака;
- факторы климатические, социальные и др.

Взаимодействие между элементами процесса в микросистеме также имеет вероятностный характер [3]. Например, при возведении участка земляного полотна самосвалы (вспомогательные машины строительного процесса) маневрируют по строительной площадке и встают под погрузку к экскаватору (ведущей машине строительного процесса), образуя очередь. Чтобы обеспечить данной системе бесперебойное функционирование, нужно оптимизировать простои машин, на

которые влияет множество факторов: от технического состояния и количества машин, атмосферных явлений, качества дорог до расстояния, на которое требуется перемещаться самосвалу. Все факторы учесть невозможно, но добиться оптимизации простоя машин за счет наиболее рационального сочетания техники в комплекте можно, воспользовавшись математическим аппаратом теории массового обслуживания [4]. Структура анализируемой системы массового обслуживания представлена на рисунке.



Структура системы массового обслуживания «экскаватор — автосамосвалы»

В качестве примера определим наиболее рациональное сочетание единиц техники для комплекта, состоящего из строительного экскаватора JCB с емкостью ковша:  $q = 0,9 \text{ м}^3$ ,  $q = 1,19 \text{ м}^3$ ,  $q = 1,2 \text{ м}^3$ ,  $q = 1,85 \text{ м}^3$  и автосамосвалов КАМАЗ-43255 грузоподъемностью 7 т и КАМАЗ-43118-46 грузоподъемностью 10 т, при различной дальности транспортировки грунта. Входящим потоком требований в данной системе массового обслуживания являются автосамосвалы, подъезжающие под погрузку к экскаватору. Такой поток требований подчиняется закону распределения Пуассона, поэтому является простейшим. На обработку и обслуживание каждого требования необходимо время, поэтому возможно образование очереди, возникает простой техники при наличии очереди, простой автосамосвалов, при отсутствии очереди — экскаватора. Возникают вопросы, насколько загружена система массового обслуживания и каков процент простоя техники от времени рабочей смены [5].

ТАБЛИЦА

Комплект техники	Рациональные параметры работы техники	Дальность транспортировки грунта, км					
		0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0
экскаватор JCB $q = 0,9 \text{ м}^3$ , автосамосвалы КАМАЗ-43255, $q = 7 \text{ т}$	простой экскаватора $P_0$ , %	7,9	9,6	9,5	10,3	9,1	8,7
	простой каждого самосвала в комплекте $T_a$ , %	30,2	28,0	26,0	24,1	23,8	21,5
	количество самосвалов $N$ , шт.	5	6	8	9	11	14
экскаватор JCB $q = 1,19 \text{ м}^3$ , автосамосвалы КАМАЗ-43255, $q = 7 \text{ т}$	простой экскаватора $P_0$ , %	12,9	10,7	8,2	8,0	9,8	10,7
	простой каждого самосвала в комплекте $T_a$ , %	23,5	26,7	29,2	28,3	24,5	22,5
	количество самосвалов $N$ , шт.	4	5	6	8	9	11
экскаватор JCB $q = 1,85 \text{ м}^3$ , автосамосвалы КАМАЗ-43255, $q = 7 \text{ т}$	простой экскаватора $P_0$ , %	15,3	12,5	14,3	8,4	11,5	9,5
	простой каждого самосвала в комплекте $T_a$ , %	21,6	25,0	20,3	26,5	21,2	22,0
	количество самосвалов $N$ , шт.	4	5	7	9	10	13
экскаватор JCB $q = 1,85 \text{ м}^3$ , автосамосвалы КАМАЗ-43118-46, $q = 10 \text{ т}$	простой экскаватора $P_0$ , %	10,2	14,8	8,5	14,4	8,3	12,7
	простой каждого самосвала в комплекте $T_a$ , %	26,0	22,3	29,4	24,7	27,9	22,6
	количество самосвалов $N$ , шт.	4	5	6	6	8	9

В качестве обслуживающего устройства принимаем экскаватор и оцениваем его работу согласно тому времени, которое он затрачивает на обслуживание одного требования, поступление более одного требования на обслуживание в течение малого промежутка времени исключается [6]. Под выходящим потоком будем понимать автосамосвалы, загруженные и перемещающиеся к месту отсыпки грунта.

Количество входящих и выходящих требований, время их поступления и обслуживания — все это случайные величины, которые подвержены влиянию случайных факторов. Следовательно, выше описанная система массового обслуживания будет считаться вероятностной или стохастической системой [7, 8].

Методика для расчета наиболее рационального сочетания техники в экскаваторном комплекте подробно представлена в работах [9, 10]. Применение данной методики в качестве математического аппарата для расчетов выбранной нами строительной системы дали результаты, которые представлены в таблице.

Расчет был произведен с использованием конкретных марок машин с наиболее часто применяемыми в строительстве техническими параметрами (емкость ковша и грузоподъемность) и для определенных дальностей транспортирования грунта к месту его отсыпки — от 0,5 км до 5,0 км с шагом, кратным 1 км.

В представленной таблице четко просматриваются рациональные параметры работы техники для соответствующего экскаваторного комплекта: какое количество автосамосвалов при определенном расстоянии дальности возки грунта будет

являться оптимальным и какой процент от времени рабочей смены будет при этом простаивать каждая из машин.

Полученными результатами расчета, сведенными в таблицу, удобно пользоваться.

Вывод: любой строительный процесс следует рассматривать с точки зрения вероятностной (стохастической) системы, для определения рационального сочетания техники в экскаваторных комплектах использование математического аппарата теории массового обслуживания дает возможность получения результатов с высокой степенью достоверности для любой системы «экскаватор — автосамосвалы» с заданными техническими параметрами данной техники и расстоянием транспортировки грунта. Использование полученных результатов позволит строительным организациям — производителям земляных работ наилучшим образом организовать строительный процесс с наименьшими простоями техники, а следовательно, сократить сроки строительства и повысить эффективность строительного процесса.

## Библиографический список

1. Неснов В. И. Бизнес и политика в теории эргатических систем / В. И. Неснов. — СПб., 2000. — 142 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. Губинский А. И. Надежность и качество функционирования эргатических систем / А. И. Губинский. — Л.: Наука, 1982. — 262 с.
4. Панченко Н. М. К вопросу выбора комплекта строительной техники при производстве земляных работ / Н. М. Панченко // Вопросы образования и науки: сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции, 30 июня 2020 г. — Тамбов, 2020. — Ч. 1. — С. 85–87.
5. 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.
6. Половко А. М. Основы теории надежности / А. М. Половко, С. В. Гуров. — СПб.: БХВ-Петербург, 2008. — 704 с.
7. Соболев В. И. Совершенствование организационно-технологического проектирования строительного производства: монография / В. И. Соболев. — Новочеркасск: Юж.-Рос. гос. техн. ун-т, 2001. — С. 86–96.
8. Соболев В. И. Экономико-математическое моделирование организации строительных работ / В. И. Соболев, В. В. Соболев // Научная мысль Кавказа: сборник трудов. — Ростов-на-Дону: Северо-Кавказский научный центр высшей школы Южного федерального университета, 2002. — С. 85–90.
9. Панченко Н. М. Выбор рационального сочетания землеройной и транспортной техники при производстве земляных работ / Н. М. Панченко // Тенденции развития науки и образования. Рецензируемый научный журнал. — 2022. — № 87. — Ч. 3. — С. 70–74.

10. 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. Рецензируемый научный журнал. — 2021. — № 78. — Ч. 2. — С. 90–93.

Дата поступления: 23.12.2022

Решение о публикации: 07.02.2023

#### **Контактная информация:**

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

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

## **On the Issue of Choice of the Most Rational Combination of Earth-Moving and Transport Equipment in Earthwork Production**

**N. M. Panchenko, D. A. Basovskiy**

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

**For citation:** Panchenko N. M., Basovskiy D. A. On the Issue of Choice of the Most Rational Combination of Earth-Moving and Transport Equipment in Earthwork Production. *Bulletin of scientific research results*, 2023, iss. 1, pp. 19–25. (In Russian) DOI: 10.20295/2223-9987-2023-1-19-25

#### **Summary**

**Purpose:** Analysis of the problem of choosing the optimal set of machines in the building of transport construction facilities. The problem of choosing equipment rational combination choice in earthmoving sets is always relevant. Construction process productivity, construction time, labor costs, production costs and many other indicators of construction efficiency depend on how rationally equipment is chosen in machine construction sets. **Methods:** The calculation formulas of reliability theory, the theory of large systems and mass service theory are the tool for the research and analysis of the issue of machine optimal set choice at transport facility construction. Since construction processes, being considered by the author, possess all the features of large systems, they are dynamic and can be probabilistically predictable. **Results:** The article proposes options for rational combination of earth-moving and transport equipment for “excavator — dump trucks” systems in relation to sets of equipment with machines having different technical parameters and for different ranges of soil transportation. The presented variants are obtained by calculation using mathematical apparatus of reliability and mass service theories. **Practical significance:** The results, presented by the authors, are proposed in easy-to-use tabular form and have practical significance, since if used by construction organizations, they are capable to increase construction process productivity and to reduce facility construction time.

**Keywords:** Mass service theory, earth-moving and transporting equipment, probability theory, rational combination of construction equipment, construction process productivity, earthworks.

#### **References**

1. Nesnov V. I. *Biznes i politika v teorii ergaticheskikh sistem* [Business and politics in the theory of ergatic systems]. St. Petersburg, 2000, 142 p. (In Russian)

2. Gusakov A. A., Monfred Yu. B., Prykin B. V. *Modelirovanie organizatsionno-tehnologicheskoy nadezhnosti stroitel'stva* [Modeling of organizational and technological reliability of construction]. Moscow: SVR-Argus Publ., 1994, 472 p. (In Russian)
3. Gubinsky A. I. *Nadezhnost' i kachestvo funktsionirovaniya ergaticheskikh sistem* [Reliability and quality of functioning of ergatic systems]. L.: Science Publ., 1982, 262 p. (In Russian)
4. Panchenko N. M. *K voprosu vybora komplekta stroitel'noy tekhniki pri proizvodstve zemlyanykh rabot. Voprosy obrazovaniya i nauki: sbornik nauchnykh trudov po materialam Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, 30 iyunya 2020 g.* [On the issue of choosing a set of construction equipment in the production of earthworks. Questions of education and science. Collection of scientific papers based on the materials of the international scientific and practical conference June 30, 2020]. Tambov, 2020, part 1, pp. 85–87. (In Russian)
5. Spiridonov E. S., Maksimov A. V. *Nauchnye osnovy optimizatsii organizatsii i upravleniya kompleksom rabot po pereustroystvu transportnykh ob'ektov* [Scientific basis for optimizing the organization and management of a set of works on the reconstruction of transport facilities]. Moscow: Izvestia Publ., 1998, 290 p. (In Russian)
6. Polovko A. M., Gurov S. V. *Osnovy teorii nadezhnosti* [Fundamentals of the theory of reliability]. St. Petersburg: BHV-Petersburg Publ., 2008, 704 p. (In Russian)
7. Sobolev V. I. *Sovershenstvovanie organizatsionno-tehnologicheskogo proektirovaniya stroitel'nogo proizvodstva: monografiya* [Improvement of organizational and technological design of building production: monograph]. Novocherkassk: Yuzh.-Ros. gos. tekhn. un-t Publ., 2001, pp. 86–96. (In Russian)
8. Sobolev V. I., Sobolev V. V. *Ekonomiko-matematicheskoe modelirovanie organizatsii stroitel'nykh rabot* [Economic and mathematical modeling of the organization of construction works]. *Nauchnaya mysl' Kavkaza: sbornik trudov* [Scientific thought of the Caucasus: a collection of works]. Rostov-on-Don: Severo-Kavkazskiy nauchnyy tsentr vysshey shkoly Yuzhnogo federal'nogo universiteta Publ., 2002, pp. 85–90. (In Russian)
9. Panchenko N. M. *Vybor ratsional'nogo sochetaniya zemleroynoy i transportnoy tekhniki pri proizvodstve zemlyanykh rabot* [The choice of a rational combination of earth-moving and transport equipment in the production of earthworks]. *Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya. Retsenziruemyy nauchnyy zhurnal* [Trends in the development of science and education. Peer-reviewed scientific journal]. 2022, Iss. 87, part 3, pp. 70–74. (In Russian)
10. 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 the functioning of technological processes in construction through their productivity and terms of work]. *Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya. Retsenziruemyy nauchnyy zhurnal* [Trends in the development of science and education. Peer-reviewed scientific journal]. 2021, Iss. 78, part 2, pp. 90–93. (In Russian)

Received: December 23, 2022

Accepted: February 07, 2023

#### **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