

Научная статья  
УДК 625.76.08  
DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2025-22-3-386-395>  
EDN: YUJKPM



## ИССЛЕДОВАНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОДНОКОВШОВЫХ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ЭКСКАВАТОРОВ

Р.Ф. Салихов, В.Н. Кузнецова, И.С. Кузнецов ✉

Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ),  
г. Омск, Россия

✉ ответственный автор  
[ilyxa\\_kyznetsov@vk.com](mailto:ilyxa_kyznetsov@vk.com)

### АННОТАЦИЯ

**Введение.** В статье приведены результаты исследования технических параметров, отражающих использование одноковшовых гидравлических экскаваторов по времени. Выполнен анализ зависимостей, приведенных в нормативных документах, необходимых для обработки полученных данных. Были проанализированы существующие системы сбора данных с бортового компьютера одноковшового экскаватора. В качестве исследуемой машины был выбран экскаватор производства фирмы «Хитачи» (Япония).

**Методы и материалы.** Для определения коэффициентов использования по времени (без учета холостого хода и перемещения внутри объекта), холостого хода была описана методика сбора данных. Для обработки полученной базы данных было использовано ПО Excel и Statistica. Было выполнено описание гистограмм, формируемых при помощи ПО бортового компьютера. Предложен ряд формул, позволяющих оценить эффективность работы экскаватора без учета потерь времени на холостой ход.

**Результаты.** Была выполнена обработка полученной выборки при помощи ПО Statistica. Коэффициент использования по времени одноковшового экскаватора описывается бета-распределением, коэффициент холостого хода распределением Вейбула. Также получены параметры законов распределения коэффициентов использования по времени, холостого хода (математическое ожидание, коэффициент Стьюдента). По предложенным авторами зависимостям получены числовые характеристики выборок данных. Было установлено, что средняя доля холостого хода составляет 21% в течение смены, а его продолжительность около 2 ч.

**Заключение.** Полученные значения коэффициентов, характеризующих интенсивность эксплуатации, могут быть использованы эксплуатационными предприятиями при планировании темпов строительства объектов. Был сделан вывод, что полученные данные отличаются от значений, описанных в нормативных документах, а их внедрение позволит лучше планировать процесс производства работ.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** интенсивность эксплуатации, коэффициент использования машины по времени, коэффициент использования машины по мощности, экскаватор, производительность экскаватора

Статья поступила в редакцию 28.03.2025; одобрена после рецензирования 22.04.2025; принята к публикации 16.06.2025.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах. Конфликт интересов отсутствует.

Для цитирования: Салихов Р.Ф., Кузнецова В.Н., Кузнецов И.С. Исследование интенсивности эксплуатации одноковшовых гидравлических экскаваторов // Вестник СибАДИ. 2025. Т. 22, №. 3 С. 386-395. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2025-22-3-386-395>

© Салихов Р.Ф., Кузнецова В.Н., Кузнецов И.С., 2025



Контент доступен под лицензией  
Creative Commons Attribution 4.0 License.

Original article

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2025-22-3-386-395>

EDN: YUJKPM

## RESEARCH INTO OPERATION EFFICIENCY OF SINGLE-BUCKET HYDRAULIC EXCAVATORS

Rinat F. Salikhov, Viktoria N. Kuznetsova, Ilya S. Kuznetsov ✉

The Siberian State Automobile and Highway University,  
Omsk, Russia

✉ corresponding author  
[ilyxa\\_kyznetsov@vk.com](mailto:ilyxa_kyznetsov@vk.com)

### ABSTRACT

**Introduction.** The article presents the results of research of technical parameters reflecting the use of single-bucket hydraulic excavators by time. The dependencies given in normative documents necessary for processing of the obtained data are analyzed. The existing systems of data collection from the on-board computer of single-bucket excavator were analyzed. The excavator manufactured by Hitachi (Japan) was chosen as the machine under study.

**Methods and materials.** To determine the utilization rates by time (excluding idling and movement within the object), idling, the data collection methodology was described. Excel and Statistica software was used to process the obtained database. The description of histograms formed with the help of on-board computer software was performed. A number of formulas allowing to estimate the efficiency of excavator operation without taking into account time losses for idling were proposed.

**Results.** The obtained sample was processed with the help of Statistica software. Time utilization factor of single-bucket excavator is described by beta-distribution, idling factor by Weibull distribution. The parameters of distribution laws of time utilization and idling coefficients (mathematical expectation, Student's coefficient) were also obtained. Numerical characteristics of the data samples were obtained according to the dependencies proposed by the authors. It was found that the average share of idling is 21% during the shift, and its duration is about 2 hours.

**Conclusion.** The obtained values of the coefficients characterizing the intensity of operation can be used by operating enterprises in planning the rate of construction of facilities. It was concluded that the obtained data differ from the values described in normative documents, and their implementation will allow better planning of the process of work production.

**KEYWORDS:** operating efficiency, machine time efficiency, machine capacity efficiency, excavator, excavator performance

**The article was submitted: March, 28, 2025; approved after reviewing: April, 22, 2025; accepted for publication: June, 16, 2025.**

**All authors have read and approved the final manuscript.**

**Financial transparency: the authors have no financial interest in the presented materials or methods. There is no conflict of interest.**

**For citation.** Salikhov R.F., Kuznetsova V.N., Kuznetsov I.S. Research into operation efficiency of single-bucket hydraulic excavators. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2025; 22. (3): 386-395. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2025-22-3-386-395>

© Salikhov R.F., Kuznetsova V.N., Kuznetsov I.S., 2025



Content is available under the license  
Creative Commons Attribution 4.0 License.

## ВВЕДЕНИЕ

Обеспечение качества и своевременной сдачи автомобильных дорог является приоритетным направлением в российской экономике. Строительство новых автомобильных дорог не обходится без применения строительной техники. Своевременная сдача в срок объектов строительства повышает требования к планированию проведения механизированных работ. Строительство и ввод объектов в срок зависит от разных факторов: природно-климатических, организационных, экономических, технических<sup>1</sup> [1, 2, 3, 4]. Данные факторы требуют учета, и их влияние отражено в нормативных документах, в частности в МДС 12-13.2003 – «Механизация строительства. Годовые режимы работы строительных машин».

Данный нормативный документ дает рекомендации по учету различных факторов в течение года. Для учета использования техники во время рабочей смены применяется коэффициент внутрисменного использования

$$K_e = \frac{t_{cm}^{\phi}}{t_{cm}}, \quad (1)$$

где  $t_{cm}^{\phi}$  – фактическое время работы машины за смену;  $t_{cm}$  – продолжительность рабочей смены.

Коэффициент использования внутрисменного времени определяется на основании данных систематических наблюдений о внутрисменных потерях рабочего времени.

В СП 12-134-2001 приведен коэффициент использования по времени, который является аналогом коэффициента внутрисменного использования и составляет  $K_e = 0,86$  и  $0,90$  для экскаваторов 1-2 и 3-4 типоразмерной групп соответственно.

Однако, как показали дальнейшие исследования, рекомендуемая величина завышена и требует корректировки с учетом местных условий. Одной из причин завышения данного коэффициента является повышение доли холостого хода в течение смены [1]

$$K_e = K_n \cdot K_n^x, \quad (2)$$

где  $K_n$  – коэффициент перехода от продолжительности рабочего времени в машино-часах к наработке двигателя в моточасах, моточас/машино-час;  $K_n^x$  – коэффициент, учитывающий потери полезного времени из-за работы двигателя на холостых оборотах, машино-час/моточас.

В процессе эксплуатации строительных, дорожных машин коэффициент  $K_n$  снижается с  $0,82$  до  $0,60$  на интервале  $0 \dots 6\,000$  моточасов [1].

Интерес для авторов представляет доля холостого хода в рабочей смене одноковшовых гидравлических экскаваторов.

Поэтому одной из задач исследования является определение параметров случайной величины закона распределения продолжительности холостого хода.

Для проведения данных исследований на производстве, как правило, создается комиссия, которая отслеживает хронометраж продолжительности рабочего времени, холостого хода, потерь времени по организационным, техническим, технологическим и климатическим причинам. Т.е. работа достаточно трудоемкая и требующая значительных трудозатрат для обеспечения процесса хронометрирования<sup>2</sup>.

Развитие современных средств автоматического учета различных параметров применяется в хронометраже работы строительной и дорожной техники, и, в первую очередь, на технике, осуществляющей транспортные операции по перевозке, например, строительных материалов. Современные системы позволяют учитывать продолжительность холостого хода, продолжительность работы при перевозке грузов автосамосвалов. В последнее время нашли широкое применение бортовые системы измерения производительности строительных машин (например, путем измерения давления в гидроцилиндрах подъема ковша фронтального погрузчика), в связи с чем ряд работ направлен на фактическое измерение данного параметра, что позволяет оперативно отслеживать причины его изменения в процессе эксплуатации [5, 6, 7, 8].

<sup>1</sup> Технологические машины и комплексы в дорожном строительстве (производственная и техническая эксплуатация): учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки бакалавров и магистров «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» и специалистов по профилю «Подъемно-транспортные, строительные и дорожные машины и оборудование» / В.Б. Пермяков, В.И. Иванов, С.В. Мельник [и др.]. М.: Издательский дом «БАСТЕТ», 2014. 752 с. (Высшее профессиональное образование – бакалавриат и магистратура). ISBN 978-5-903178-37-7.

<sup>2</sup> Кузнецов И.С., Бондаренко А.В. Системы измерения наработки дорожно-строительной техники // Фундаментальные и прикладные исследования молодых учёных: сборник материалов VIII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных, приуроченной к празднованию 300-летия Российской академии наук, Омск, 25–26 апреля 2024 года. Омск: Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), 2024. С. 12–15.

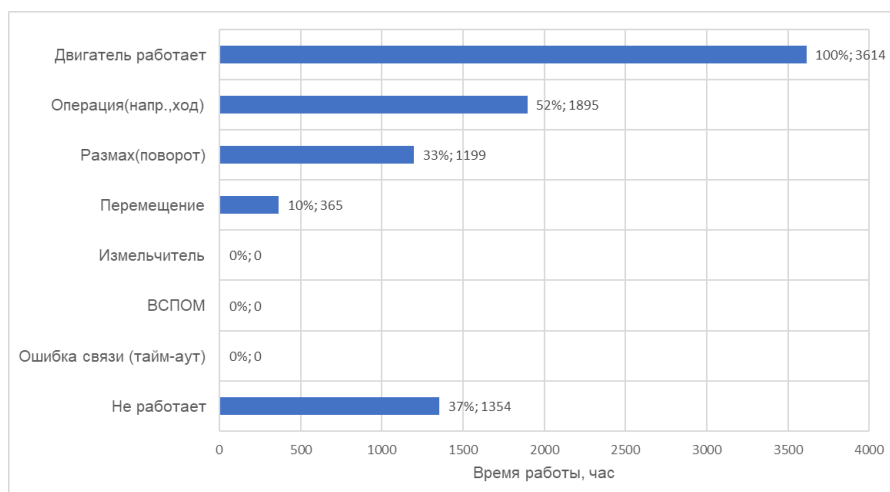


Рисунок 1 – Диаграмма учета продолжительности работы экскаватора при различных технологических операциях, отсутствии работы, общей наработке двигателя внутреннего сгорания  
Источник: составлено авторами.

Figure 1 – Diagram of accounting for different scenarios of excavator operation: different purposes, inoperable mode, internal combustion engine operation time  
Source: compiled by the authors.

Например, на сегодняшний день ряд компаний предлагает устанавливать комплекс датчиков, позволяющий учитывать следующие параметры и выполнять такие функции: измерение расхода топлива, обеспечение защиты от угона, определение местонахождения в режиме онлайн, скорости перемещения, степени загрузки, величину наработки в смену посредством электронных счетчиков моточасов [9, 10, 11]. Спутниковая система слежения за мобильными объектами «VOYAGER 2 ГЛОНАСС» с версией прошивки 07.502.141 и стандартом GSM 900/1800 МГц позволяет учитывать продолжительность работы технологического оборудования, а также транспортный режим техники [12].

Японская фирма «Хитачи» предложила свою систему учета работы одноковшовых экскаваторов (ЭО) в режимах холостого хода, отсутствия фронта работ и при выполнении технологических операций (рисунок 1). Данную систему авторы исследовали более подробно. Как видно из рисунка 1, доля работы механизма передвижения вычисляется при помощи программно-диагностического комплекса MIC Dataviewer и составляет в среднем 10% от общей наработки машины. Информация в программно-диагностический комплекс поступает с датчиков давления (контуры вращения поворотной части, механизма передвижения), движения рукояти к стреле, подъема стрелы. Датчики давления размещены в гидрораспределителе системы управления ЭО [13, 14].

Целью предлагаемой статьи является исследование коэффициента использования чистого времени на примере одноковшового гидравлического экскаватора, определенного путем обработки информации, полученной с помощью бортовых автоматизированных систем учета времени. Для достижения поставленной цели была произведена оценка продолжительности организационных простоев, работы на холостом ходу, выполнения технологических операций.

## МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

Для получения информации по продолжительности организационных простоев, работы на холостом ходу, выполнения технологических операций был проведен сбор данных с системы встроенной бортовой диагностики, позволяющей осуществлять мониторинг этих параметров ЭО. Считываемая информация может накапливаться на протяжении нескольких тысяч моточасов. В исследуемом случае информация была накоплена на протяжении трех лет на двух экскаваторах.

Для получения результатов измерения параметров применялся фирменный диагностический сканер, представляющий собой считывающее устройство (диагностическую колодку с кабелем, подключаемым к переносному компьютеру с программным обеспечением или программно-диагностическим комплексом MICDataviewer) [15, 16].

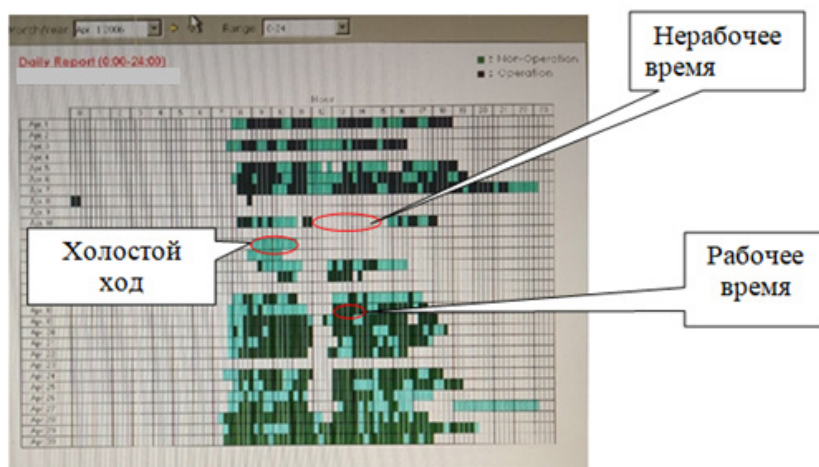


Рисунок 2 – Гистограмма распределения времени работы одноковшового экскаватора  
Источник: составлено авторами.

Figure 2 – Histogram of single-bucket excavator operating time distribution  
Source: compiled by the authors.

Программное обеспечение сканера исследуемой модели ЭО позволяет не только выводить параметры в режиме онлайн, но и скачивать их в виде файла для последующей обработки в среде MS Excel, Statistika и других программах.

Величины параметров выдаются в виде гистограммы с долевым распределением по времени (рисунок 2).

Как видно из рисунка 3, программное обеспечение ЭО автоматически вычисляет время отсутствия фронта работ у машины, однако не учитывает моменты начала и окончания рабочей смены. Для устранения данного недостатка необходимо доработать программное обеспечение, которое бы позволяло, например, вводить моменты начала и окончания рабочей смены с учетом утвержденного режима работы на эксплуатационном предприятии. Также отсутствует автоматизированный учет продолжительности работы ДВС на холостом ходу. В качестве достоинств программного обеспечения необходимо отметить возможность автоматизированного расчета продолжительности перемещения ЭО, выполнения рабочих операций [17, 18, 19].

Для существующей разработанной автоматизированной системы учета продолжительности работы авторы предложили ряд формул, с помощью которых можно рассчитать коэффициент использования «чистого» времени экскаваторов, т.е. без учета потерь времени на холостой ход. Для расчета коэффициента

использования экскаватора по времени полученная зависимость (3)

$$K_e = t_p - ((t_p + t_{xx}) \cdot K_{\text{перем}}) / (t_p + t_{\text{нр}} + t_{xx}), \quad (3)$$

где  $t_p$  – продолжительность работы машины, моточасы;  $t_{xx}$  – продолжительность холостого хода, моточасы;  $t_{\text{нр}}$  – продолжительность отсутствия фронта работ, часы;  $K_{\text{перем}}$  – коэффициент, отражающий долю потерь времени на перемещение ЭО внутри объекта.

Коэффициент  $K_{\text{перем}}$  рассчитывается по зависимости (4)

$$K_{\text{перем}} = t_{\text{перем}} / (t_p + t_{xx}), \quad (4)$$

где  $t_{\text{перем}}$  – продолжительность потерь времени на перемещение ЭО внутри объекта, моточасы.

Продолжительность холостого хода отдельно оценивается автоматизированной системой учета времени. Для того чтобы определить коэффициент учета холостого хода на базе автоматизированной системы, можно использовать зависимость (5)

$$K_{xx} = t_{xx} / (t_p + t_{xx}). \quad (5)$$

С использованием представленных зависимостей были обработаны выборки данных, собранные автоматизированной системой учета продолжительности работы экскаватора.

Гистограмма производительности экскаватора ZX330 по месяцам

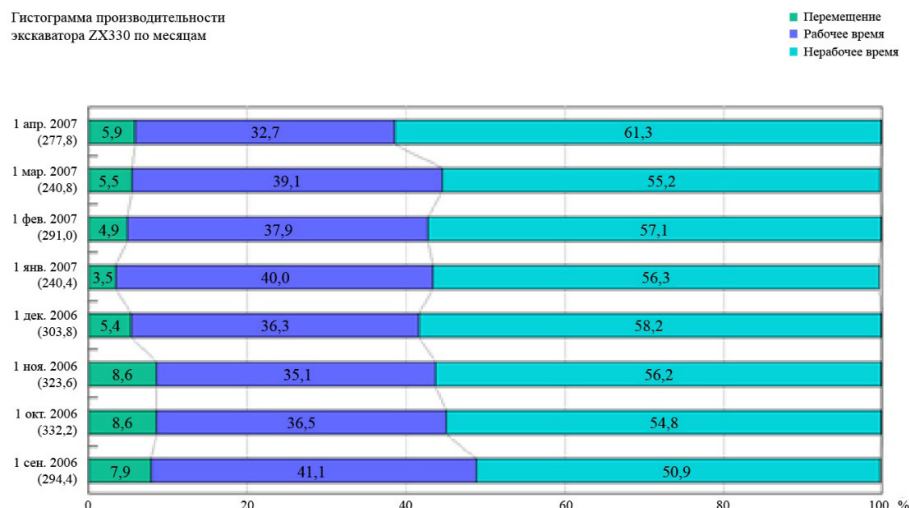


Рисунок 3 – Гистограмма распределения времени работы по месяцам одноковшового экскаватора  
Источник: составлено авторами.

Figure 3 – Histogram of the distribution of operating time of a single-bucket excavator by month  
Source: compiled by the authors.

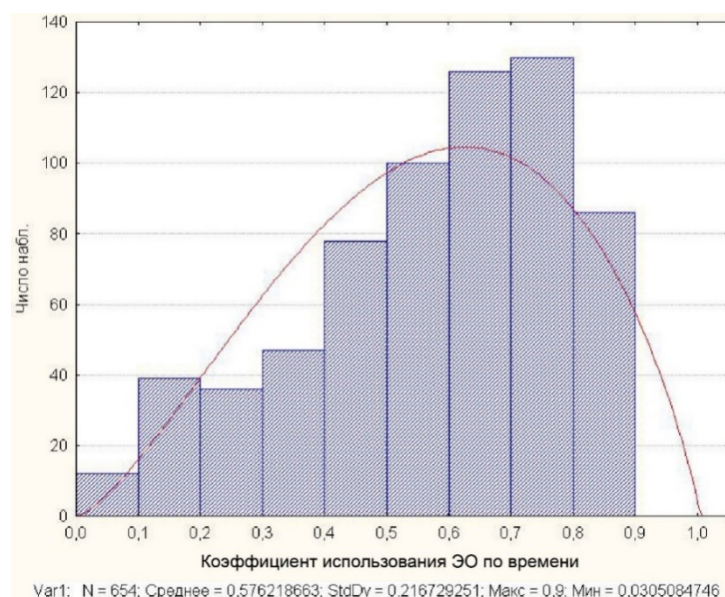


Рисунок 4 – Экспериментальные значения частот и аппроксимирующая кривая после их статистической обработки коэффициента чистого использования времени  
Источник: составлено авторами.

Figure 4 – Experimental values of frequencies and approximating curve after statistical processing of operation factor  
Source: compiled by the authors.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

В результате обработки выборки данных (654 наблюдения) и расчета по зависимости (3) был построен график эмпирических и теоретических частот коэффициента чистого использования времени экскаватора модели ZX

330, описываемый законом бэта-распределения (рисунок 4).

Аналогичные исследования были проведены по параметру продолжительности холостого хода ЭО и коэффициенту холостого хода (рисунки 5, 6). Расчеты были выполнены с использованием зависимостей (4, 5).

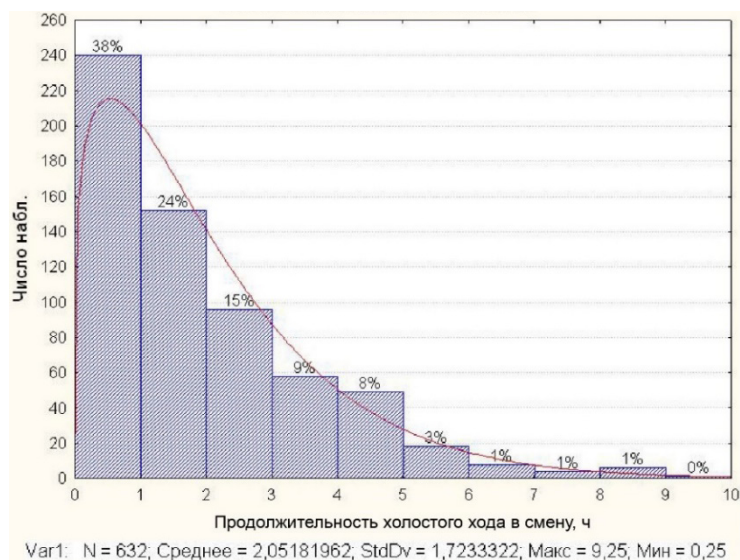


Рисунок 5 – Экспериментальные значения частот и аппроксимирующая кривая после их статистической обработки продолжительности холостого хода экскаватора  
Источник: составлено авторами.

Figure 5 – Experimental values of frequencies and approximating curve after statistical processing the excavator idling mode time  
Source: compiled by the authors.

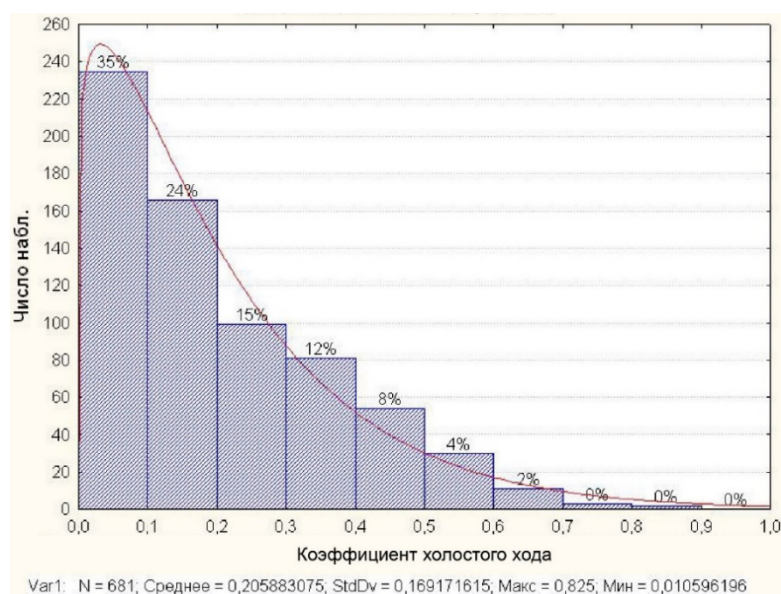


Рисунок 6 – Экспериментальные значения частот и аппроксимирующая кривая после их статистической обработки коэффициента холостого хода экскаватора  
Источник: составлено авторами.

Figure 6 – Experimental values of frequencies and approximating curve after statistical processing the excavator idle speed coefficient  
Source: compiled by the authors.

Таблица  
Числовые характеристики выборок данных  
Источник: составлено авторами.

Table  
Numerical characteristics of data samples  
Source: compiled by the authors.

|                                 | Коэффициент чистого использования времени | Продолжительность холостого хода экскаватора, ч | Коэффициент холостого хода экскаватора |
|---------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------|
| Среднее значение                | 0,576                                     | 2,05                                            | 0,206                                  |
| Среднеквадратическое отклонение | 0,22                                      | 1,72                                            | 0,17                                   |
| Минимальное значение            | 0,03                                      | 0,25                                            | 0,011                                  |
| Максимальное значение           | 0,9                                       | 9,25                                            | 0,825                                  |
| t-критерий Стьюдента            | 0,447                                     | ≈0                                              | 0,07                                   |

Для каждой выборки были вычислены её числовые характеристики, представленные в таблице <sup>3,4,5,6</sup>.

При анализе данных видно, что средняя доля холостого хода составляет 21% или  $K_{xx} = 0,21$  в течение смены, а его продолжительность составляет около 2 ч. На основе полученных выборок были установлены средние значения параметров коэффициента использования экскаватора по времени, продолжительность холостого хода и коэффициента холостого хода, позволяющие оптимизировать рабочий процесс экскаватора для повышения эффективности работы техники.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований был получен коэффициент использования ЭО по времени, продолжительность и коэффициент холостого хода на основе применения современных средств автоматизации учета продолжительности работы машин. Полученные данные отличаются от рекомендуемых значений существующих нормативных документов и представлены к внедрению.

## ДАЛЬНЕЙШЕЕ НАПРАВЛЕНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ

В дальнейшем авторы планируют использовать полученные результаты для прогнозирования динамики производительности одноковшовых экскаваторов других моделей при

выполнении разных типов задач. Приведенные зависимости могут быть использованы при совершенствовании программного обеспечения существующих автоматизированных систем учета времени работы строительных машин.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Максименко А.Н., Кутузов В.В., Сидоров А.Н. Влияние сезона и наработки с начала эксплуатации на производительность строительных и дорожных машин и себестоимость механизированных работ // Грузовик &. 2010. № 2. С. 16–21.
2. Salikhov R.F., Permyakov V.B., Filippov Y.O., Grusnev M.G. A study of dynamics of the operational performance of a single-bucket excavator, taking into account the operating time during construction of transport infrastructure of oil and gas facilities // Journal of Physics: Conference Series. 2021. 1901(1).0120981313
3. Dyorina N.V., Velikanov V.S., Rabina E.I., Polyakova L.S. About the influence degree of ergonomic properties on the generalized ergonomic indicator of an excavator using a set of methods // Journal of Physics: Conference Series. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1399/4/044086>
4. Монгуш С.Ч., Чооду О.А., Евтюков С.А. Моделирование процессов влияния климатических факторов и рельефа местности на производительность наземных транспортно-технологических машин // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. 2019. № 3 (47). С. 108–111.
5. Максименко А.Н., Кутузов В.В., Тимофеев Г.С., Васильев В.В. Учет и оценка эффективности использования каждой машины парка в строительстве // Вестник Белорусско-Российского университета. 2010. № 4. С. 21–28.

<sup>3</sup> Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика: учебное пособие. М.: Высшая школа, 1997. 479 с.

<sup>4</sup> Гмурман В.Е. Руководство к решению задач по теории вероятностей и математической статистике: учебное пособие для студентов вузов. Изд. 4-е, стер. М.: Высш. Шк., 1998. 400 с.: ил.

<sup>5</sup> Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике. М.: Наука, 1986. 559 с.

<sup>6</sup> Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика. М.: Высшая школа, 1998. 479 с.

6. Репин С.В. Концепция эффективности эксплуатации строительных машин // Строительные и дорожные машины. 2009. № 2. С. 27–31; № 4. С. 21–25.
7. Permyakov V.B., Salikhov R.F., Musagitova G., Levin N. Yu. Designing optimal structure of road construction machines kits // *Journal of Physics: Conference Series*. 2019. DOI 10.1088/1742-6596/1260/8/082004
8. Монгуш С.Ч., Монгуш С.В. Критериальные параметры, предлагаемые для описания путей оптимизации эксплуатации наземных транспортно-технологических машин в республике Тыва // Вестник Тувинского государственного университета. Технические и физико-математические науки. 2019. № 2(46). Выпуск 3. С. 42–50.
9. Максименко А.Н., Кравченко С.Е., Макацария Д.Ю., Кутузов В.В., Тимофеев Г.С., Васильев В.В. Использование информационных технологий при планировании технической эксплуатации строительных и дорожных машин // Грузовик & 2006. № 5. С. 20–22.
10. Грушецкий С.М., Евтюков С.А., Репин С.В., Кузнецов А.А. Определение технической и эксплуатационной производительностей дорожных машин на основе анализа объемов работ // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2021. № 1. С. 38–52. DOI: <https://doi.org/10.22281/2413-9920-2021-07-01-38-52>
11. Rashidi A., Rashidi Nejad H., Maghiar M. Productivity Estimation of Bulldozers using Generalized Linear Mixed Models // *Journal of Civil Engineering*. 2014. DOI 10.1007/s12205-014-0354-0
12. Завьялов А.М., Завьялов М.А., Кузнецова В.Н., Мещеряков В.А. Математическое моделирование рабочих процессов дорожных и строительных машин: имитационные и адаптивные модели. Омск: Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), 2012. 408 с. ISBN 978-5-93204-615-9.
13. Кузнецова В.Н., Савинкин В.В. К вопросу повышения энергоэффективности гидропривода машин // Вестник СибАДИ. 2013. № 5(33). С. 22–25.
14. Грушецкий С.М., Евтюков С.А., Репин С.В., Карро Г.А. Производительность как качественный критерий оценки эффективности всех этапов системы жизненного цикла дорожных машин // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). 2020. № 4 (63). С. 36–42.
15. Салихов Р.Ф., Попков В.И. Методика расчета изменения производительности одноковшового экскаватора в процессе эксплуатации // Механизация строительства. 2018. № 1. С. 2–7.
16. Ларин П.Г., Ерофеев М.Н., Кравченко И.Н., Жуков Л.В. Методика определения оптимальных сроков службы машин с применением автоматизированной системы управления // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 1. URL: <https://s.science-education.ru/pdf/2014/1/266.pdf> (дата обращения: 27.03.2025)
17. Репин С.В., Скакун С.А. Разработка информационной автоматизированной системы управления техническим обслуживанием и ремонтом строительных машин // Строительные и дорожные машины. 2009. № 11. С. 35–39.
18. Бердников И.Е., Озорнин С.П. Математические модели определения количества отказов транспортно-технологических машин в зависимости от факторов условий эксплуатации // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2017. № 2 (54). С. 134–141.
19. Чечуев В.Е. Методика расчета коэффициента сохранения эффективности строительных машин по данным эксплуатации // Строительные и дорожные машины. 2021. № 5. С. 15–20.

## REFERENCES

1. Maksimenko A.N., Kutuzov V.V., Sidorov A.N. Influence season and operating time from the operation beginning on productivity of construction equipment and the cost price of the mechanized works. *Truck*. 2010; 2: 16-21. (in Russ.)
2. Salikhov R.F., Permyakov V.B., Filippov Y.O., Grusnev M.G. A study of dynamics of the operational performance of a single-bucket excavator, taking into account the operating time during construction of transport infrastructure of oil and gas facilities. *Journal of Physics: Conference Series* *this link is disabled*. 2021. 1901(1).0120981313
3. Dyorina N.V., Velikanov V.S., Rabina E.I., Polyakova L.S. About the influence degree of ergonomic properties on the generalized ergonomic indicator of an excavator using a set of methods. *Journal of Physics: Conference Series* *this link is disabled*. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1399/4/044086>
4. Mongush S.Ch., Choodu O.A., Evtyukov S.A. Modeling the influence of climatic factors and terrain on the performance of ground transport and technological machines. *Polytechnical Bulletin. Series: Engineering Studies*. 2019; 47: 108–111. (in Russ.)
5. Maksimenko A.N., Kutuzov V.V., Timofeev G.S., Vasiliev V.V. The account and estimation of use efficiency of each car in the park in building. *Bulletin of the Belarusian-Russian University*. 2010; 4: 21–28. (in Russ.)
6. Repin S.V. Concept of the efficiency of operation of construction machines. *Construction and road machines*. 2009; 2: 27–31. (in Russ.)
7. Permyakov V.B., Salikhov R.F., Musagitova G., Levin N. Yu. Designing optimal structure of road construction machines kits. *Journal of Physics: Conference Series*. 2019. DOI 10.1088/1742-6596/1260/8/082004
8. Mongush S.Ch., Mongush S.V. Criterial parameters proposed for describing the optimization ways to operate ground transport technological machines in the republic of Tyva. *Vestnik of Tuvan State University. Technical Sciences. Technical and physical-mathematical sciences*. 2019; 2: 42-50. (in Russ.)
9. Maksimenko A.N., Kravchenko S.E., Makatsaria D.Yu., Kutuzov V.V., Timofeev G.S., Vasiliev V.V. Use of information technologies in planning the technical operation of construction and road machines. *Truck &*. 2006; 5: 20–22. (in Russ.)
10. Grushetsky S.M., Evtyukov S.A., Repin S.V., Kuznetsov A.A. Determination of technical and operating performance of road machines based on analysis

of the scope of work. *Nauchno-tekhnicheskiy vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2021; 1: 38–52. (in Russ.) DOI: <https://doi.org/10.22281/2413-9920-2021-07-01-38-52>

11. Rashidi A., Rashidi Nejad H., Maghiar M. Productivity Estimation of Bulldozers using Generalized Linear Mixed Models. *Journal of Civil Engineering*. 2014. DOI 10.1007/s12205-014-0354-0

12. Zavyalov A.M., Zavyalov M.A., Kuznetsova V.N., Meshcheryakov V.A. *Mathematical modeling of work processes of road and construction machines: simulation and adaptive models*. Omsk: Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), 2012: 408. (in Russ.)

13. Kuznetsova V.N., Savinkin V.V. On the issue of increasing the energy efficiency of the hydraulic drive of machines. *Vestnik SibADI*. 2013; 5 (33): 22–25. (in Russ.)

14. Grushetsky S. M., Evtyukov S. A., Repin S. V., Karro G. A. Productivity as a quality criterion for evaluating the efficiency of all stages of the life cycle system of road machines. *Vestnik Moskovskogo avtomobil'no-dorozhnogo instituta (gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta)*. 2020; (63): 36–42. (in Russ.)

15. Salikhov R.F., Popkov V.I. Methodology for calculation of change of productivity of the odnokovshovy excavator in the course of an operating time. *Mechanization of construction*. 2018; 1: 2–7. (in Russ.)

16. Larin P.G., Erofeev M.N., Kravchenko I.N., Zhukov L.V. Methodology for Determining Optimal Service Life of Machines Using an Automated Control System. *Methodology of determination of optimal terms of service life of machines with application of the automated information control system*. 2014; 1. Available at: <https://s.science-education.ru/pdf/2014/1/266.pdf> (accessed 27.03.2025) (in Russ.)

17. Repin S.V., Skakun S.A. Development of an Information Automated Control System for Technical 9 Maintenance and Repair of Construction Machines. *Construction and Road Machines*. 2009; 11: 35–39 (in Russ.)

18. Berdnikov I.E., Ozornin S.P. Mathematical models for determining the transport-technological machines failure rate depending on the factors of operating conditions. *Modern Technologies. System analysis. Modeling*. 2017; 2 (54): 134–141. (in Russ.)

19. Chechuev V.E. Methodology for calculating the coefficient of maintaining the efficiency of construction machines according to operation data. *Construction and road machines*. 2021; 5: 15–20. (in Russ.)

## ЗАЯВЛЕННЫЙ ВКЛАД СОАВТОРОВ

Салихов Р.Ф. Обзор и анализ публикаций по заявленной тематике. Формулирование проблемы, направления и темы исследования. Постановка задач исследования. Написание статьи (40%).

Кузнецова В.Н. Руководство процессом разработки темы. Выбор методологии и методов исследования. Написание статьи. Формулировка результатов и выводов (30%).

Кузнецов И.С. Обработка результатов эксперимента. Статистическая обработка данных (30%).

## COAUTHORS' CONTRIBUTION

R.F. Salikhov Analysis and review of publications on the problem under study. Identifying the problem, defining the research area and objectives. Writing the manuscript (40%).

V.N. Kuznetsova Guiding the process of topic research, choosing methodology and research methods, writing the manuscript. Formulation of results and conclusions (30%).

I.S. Kuznetsov Processing experimental results. Statistical processing of data (30%).

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Салихов Ринат Фокилевич – канд. техн. наук, доц., доц. кафедры «Эксплуатация нефтегазовой и строительной техники» Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета (СибАДИ) (644050, г. Омск, пр. Мира, 5).

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9619-7789>,

SPIN-код: 3196-9174,

e-mail: [salikhorinat@yandex.ru](mailto:salikhorinat@yandex.ru)

Кузнецова Виктория Николаевна – д-р техн. наук, проф., проф. кафедры «Эксплуатация нефтегазовой и строительной техники» Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета (СибАДИ) (644050, г. Омск, пр. Мира, д. 5).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3546-0894>,

SPIN-код: 1039-7546,

e-mail: [dissoovetsibadi@bk.ru](mailto:dissoovetsibadi@bk.ru)

Кузнецов Илья Сергеевич – ст. преп. кафедры «Эксплуатация нефтегазовой и строительной техники» Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета (СибАДИ) (644050, г. Омск, пр. Мира, д. 5).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6524-4976>,

SPIN-код: 6890-3069,

e-mail: [ilyxa\\_kyznetsov@vk.com](mailto:ilyxa_kyznetsov@vk.com)

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Rinat F. Salikhov – Cand. of Sci. (Eng.), Associate Professor, Maintenance and operation of transport and technological machines and complexes in construction Department, Siberian State Automobile and Highway University (SibADI) (Mira street, 5, Omsk, 644050).

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9619-7789>,

SPIN code: 3196-9174,

e-mail: [salikhorinat@yandex.ru](mailto:salikhorinat@yandex.ru)

Victoria N. Kuznetsova – Dr. of Sci. (Eng.), Professor, Professor of the Department of “Operation of Oil and Gas and Construction Equipment”, Siberian State Automobile and Road University (SibADI) (644050, Omsk, ave. Mira, 5).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3546-0894>,

SPIN code: 1039-7546,

e-mail: [dissoovetsibadi@bk.ru](mailto:dissoovetsibadi@bk.ru)

Ilya S. Kuznetsov – Senior Lecturer of the Department “Operation of Oil and Gas and Construction Equipment”, Siberian State Automobile and Road University (SibADI) (644050, Omsk, ave. Mira, 5).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6524-4976>,

SPIN code: 6890-3069,

e-mail: [ilyxa\\_kyznetsov@vk.com](mailto:ilyxa_kyznetsov@vk.com)