

## **ФОРМИРОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТНО-ОРИЕНТИРОВАННОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН СТРОИТЕЛЬСТВА**

*Репин С.В., Чечуев В.Е., Зызыкин А.В., Евтюков С.А., Евтюков С.С., Таланова И.Н.*  
*Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет,*  
*Санкт-Петербург*

**Ключевые слова:** эффективность, надёжность, работоспособность, производительность, строительные машины, техническая эксплуатация, производственная эксплуатация, коммерческая эксплуатация, математическая модель.

**Аннотация.** В статье показано, что эффективность применения транспортно-технологических машин строительства определяется влиянием отдельных видов эксплуатации – технической, коммерческой и производственной. Несмотря на большой объем исследований в данной области, показатели раздельного влияния этих видов эксплуатации не установлены. Наилучшие показатели служб эксплуатации техники могут быть получены на основе применения надёжностно-ориентированного метода организации работы, базирующегося на комплексных показателях надёжности.

В статье предложен также метод оценки влияния отдельных видов эксплуатации на основании информации, имеющейся у предприятия. При этом каждая служба эксплуатации оценивается одним показателем. Разработаны математические модели расчета показателей, приведены их численные значения, на которые следует ориентироваться.

## **FORMATION OF INDICATORS OF RELIABILITY-ORIENTED OPERATION OF TRANSPORT-TECHNOLOGICAL CONSTRUCTION MACHINES**

*Repin S.V., Chechuev V.E., Zazykin A.V., Evtjukov S.A., Evtjukov S.S., Talanova I.N.*  
*Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Saint-Petersburg*

**Keywords:** efficiency, reliability, performance, productivity, construction machines, technical operation, production operation, commercial operation, mathematical model.

**Abstract.** The article shows that the effectiveness of the use of transport and technological construction machines is determined by the influence of certain types of operation - technical, commercial and industrial. Despite the large amount of research in this area, indicators of the separate impact of these types of exploitation have not been established. The best indicators of equipment operation services can be obtained through the use of a reliability-oriented method of organizing work, based on complex reliability indicators.

The article also proposes a method for assessing the impact of certain types of exploitation based on the information available to the enterprise. Moreover, each operation service is evaluated by one indicator. Mathematical models for calculating indicators are developed, their numerical values are given, which should be guided by.

### **Введение**

Эффективность использования транспортно-технологических машин (ТТМ) строительства (экскаваторов, кранов, самосвалов и др.), как и любой другой техники, обеспечивается следующими главными факторами: уровнем организации эксплуатации, надёжностью машин, условиями их применения. На крупных строительных предприятиях, владеющих собственным парком техники, структурно выделяют техническую (ТЭ), коммерческую (КЭ) и производственную (ПЭ) эксплуатацию. Главная задача технической эксплуатации – обеспечение работоспособности машин и доставка их на объекты. Коммерческая эксплуатация занимается формированием парков машин и обеспечением их занятости. Сфера деятельности производственной эксплуатации – организация работы машин на объектах.

Наиболее прогрессивным методом организации эксплуатации машин является надёжно-ориентированный, при котором все процессы эксплуатации построены по принципу достижения заданного уровня надёжности для конкретных условий применения техники [1-3]. Наиболее подробно разработаны методы организации процессов технической эксплуатации, причем изданы даже нормативные документы по формированию надёжно-ориентированного обслуживания [4-7]. А вот вопросы влияния коммерческой и производственной эксплуатации на надёжность парков машин изучены недостаточно. Кроме того, даже отсутствуют системы показателей оценки вклада того или иного вида эксплуатации в общую эффективность применения парка машин.

Разработка показателей работы служб эксплуатации важна также и с организационной точки зрения – показатели должны стимулировать применение наиболее эффективных методов работы. Поэтому показатели должны удовлетворять следующим требованиям: наглядность, вычисляемость на основании имеющейся у предприятий информации, их количество должно быть минимальным.

Цель настоящей статьи – разработка системы показателей влияния различных видов эксплуатации на общую эффективность применения ТТМ.

### Материалы и методы исследований

Наиболее наглядным критерием эффективности применения ТТМ может служить показатель доли времени работы машин на объектах по отношению к расчетному календарному времени использования машин на конкретном предприятии, определяемому согласно МДС 12-13.2003 [8]. Анализ структуры временных состояний машин по данным эксплуатации удобно проводить с помощью графа возможных состояний машины (рис. 1) [9].

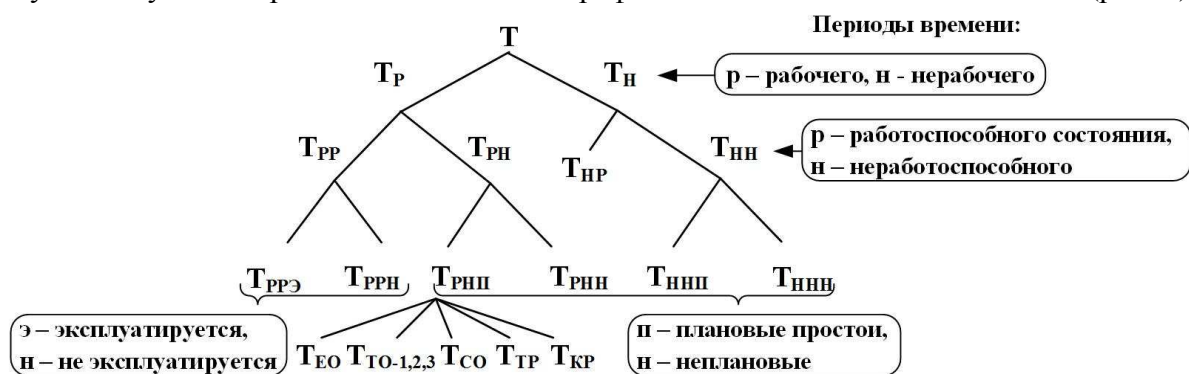


Рис. 1. Граф возможных состояний машины в процессе ее эксплуатации:  $T$  – календарное время, час;  $T_p$  – рабочее время машины (планируемый фонд рабочего времени машины), час;  $T_n$  – не рабочее время машины (планируемое межсменное время), час;  $EО$  – ежесменное обслуживание,  $TO-1,2,3$  – номерные технические обслуживания,  $TP$  – текущий ремонт,  $KP$  – капитальный ремонт

Время  $T_{ppэ}$ , в течение которого машина эксплуатируется на объекте, также может быть разделено на две составляющих:  $T_{ppэр}$  – время выполнения рабочих операций машиной на объекте (операционное время);  $T_{ppэн}$  – время, в течение которого машина не выполняет рабочих операция на объекте (время простоя). Именно за время  $T_{ppэр}$  машина производит полезную продукцию и приносит прибыль. Поэтому задача предприятия, использующего технику, добиться максимальной величины этого времени.

### Результаты

#### Формирование показателей эффективности служб эксплуатации техники

Согласно выполненным исследованиям [9] по мере увеличения срока эксплуатации  $t$  машин возрастает время простоя в неплановых ремонтах  $T_{nnн}$ , затрачиваемое на восстановления работоспособности после внезапных отказов. Поэтому возрастают и эксплуатационные затраты. Указанные изменения хорошо описываются экспоненциальными зависимостями (рис. 2).

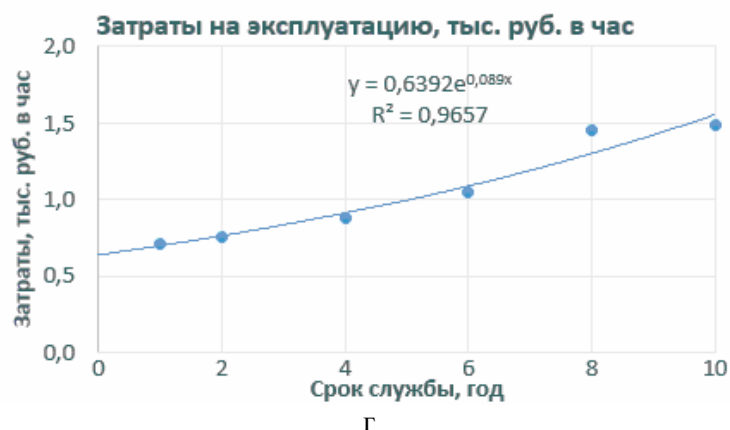
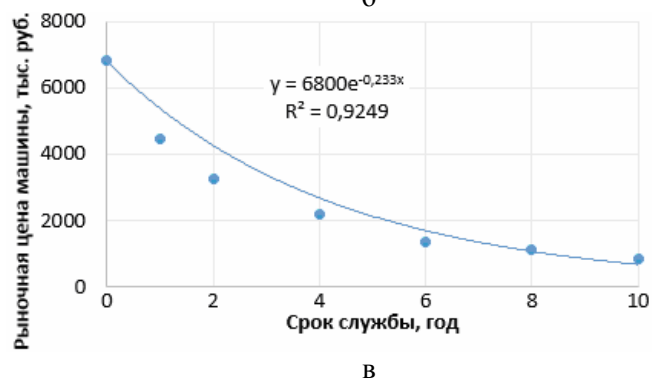
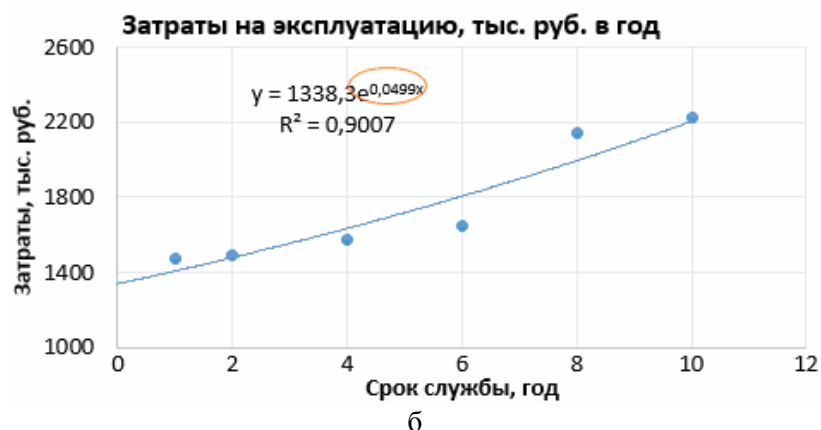
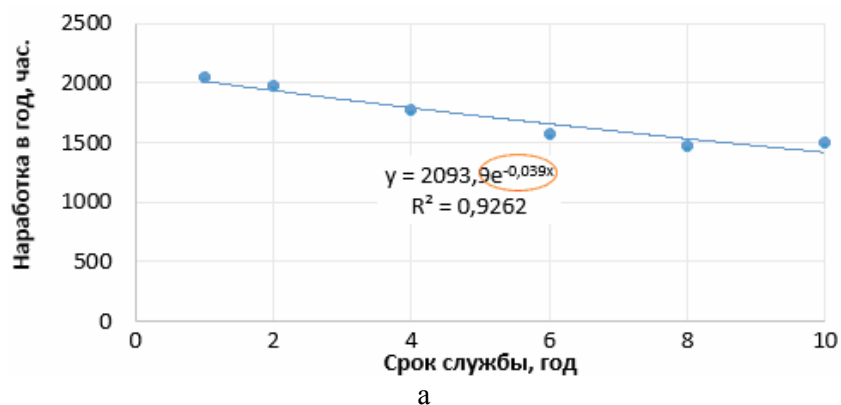


Рис. 2. Изменение эксплуатационных показателей в зависимости от срока службы экскаватора ЭК-270

На рисунке 2,а овалом обведен коэффициент готовности « $\exp(-0,039x)$ », где  $x = t$  – срок эксплуатации машины, « $-0,039$ » – показатель снижения годовой наработки машины (показатель старения по наработке). На графике затрат на эксплуатацию (рис. 2,б) коэффициент при экспоненте « $0,0499$ » представляет собой показатель старения по

эксплуатационным затратам, на графике динамики рыночной цены машины от срока ее эксплуатации (рис. 2в) «-0,233» – показатель снижения рыночной цены машины.

Тогда значение времени пребывания машины в работоспособном состоянии будет описываться уравнением

$$T_{pp}(t) = T_{pp}(1) \cdot \exp(-\beta \cdot t) = T_{pp}(1) \cdot K_T(t), \quad (1)$$

где  $T_{pp}(1)$  – время пребывания машины в работоспособном состоянии в первый год эксплуатации, час (на рисунке 2,а равно 2093,9 час);  $\beta$  – коэффициент старения машины по наработке, 1/год (на рисунке 2,а равен 0,039);  $K_T(t)$  – коэффициент готовности.

Таким образом, представленный на рисунке 1 граф возможных состояний машины позволяет рассчитывать комплексные показатели надежности по данным эксплуатации. Время  $T_{ppЭР}$  формируется при участии всех видов эксплуатации (рис. 3, табл. 1).

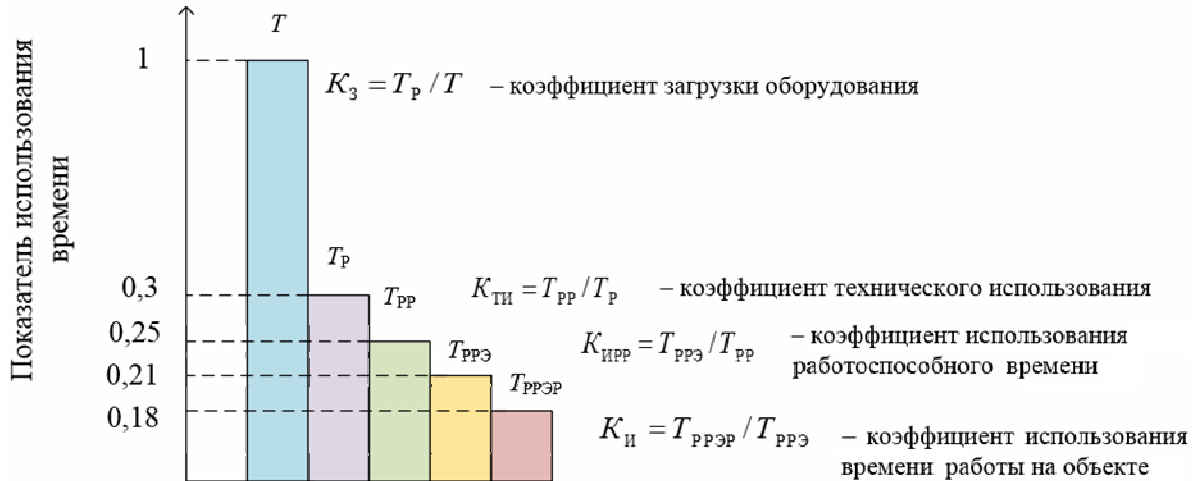


Рис. 3. Ступени наработки:  $T_{ppЭР}$  – время выполнения рабочих операций машиной на объекте (операционное время)

Табл. 1. Виды эксплуатации машин и их показатели

Вид эксплуатации	Показатель	Формула
Техническая	Коэффициент технического использования	$K_{ти}(t) = \frac{T_{pp}(t)}{T_p}$
Коммерческая	Коэффициент использования работоспособных машин	$K_{ирп}(t) = \frac{T_{ppЭ}(t)}{T_{pp}(t)}$
Производственная	Коэффициент использования времени работы на объекте	$K_{и}(t) = \frac{T_{ppЭР}(t)}{T_{ppЭ}(t)}$

Буква  $t$  в скобках обозначает срок эксплуатации машины, в зависимости от которого изменяется описываемый параметр [9].

Коэффициент загрузки оборудования по времени показывает, какая часть календарного времени  $T$  является рабочим временем  $T_p$  и характеризует режим работы предприятия:

$$K_з = T_p / T. \quad (2)$$

Коэффициент технического использования уменьшает время  $T_p$  на величину продолжительности простоя в плановых  $T_{pнп}$  и неплановых  $T_{pнн}$  мероприятиях технического обслуживания и ремонта ( $T_{pp} = T_p - T_{pнп} - T_{pнн}$ ), характеризует работу службы технической эксплуатации и служит для расчета времени пребывания машины в работоспособном состоянии  $T_{pp}$ :

$$K_{ти}(t) = \frac{T_{pp}(t)}{T_p} = \frac{T_{pp}(t)}{T_{pp}(t) + T_{pнп}(t) + T_{pнн}(t)}. \quad (3)$$

Понятно, что если качественно выполняются плановые мероприятия технического обслуживания и ремонта, то время простоя в неплановых ремонтах  $T_{PHH}$  будет минимальным, а коэффициент готовности максимальным

$$K_{\Gamma}(t) = \frac{T_{PP}(t)}{T_{PP}(t) + T_{PHH}(t)}, \quad (4)$$

т.е. будет стремиться к «1». Таким образом, эффективность службы ТЭ может быть оценена величиной коэффициента готовности, изменяющегося в пределах от «1» до некоторого минимального значения, определяемого соображениями технико-экономическими (рентабельность), безопасности и пр. [9].

Коэффициент использования работоспособного времени машины характеризует работу службы коммерческой эксплуатации и служит для расчета времени работы машины на объекте  $T_{PPЭ}$  (индекс «Э» означает – эксплуатируется):

$$K_{ИРР}(t) = \frac{T_{PPЭ}(t)}{T_{PP}(t)}. \quad (5)$$

Максимальное значение этого коэффициента для машин собственного парка предприятия составит «1», но с учетом использования арендованной техники, когда для реализации сформированного объема работ наличного парка машин будет недостаточно, может быть и более «1». Минимальное значение  $K_{ИРР}$  определяется точкой безубыточности предприятия [9], что соответствует величине коэффициента порядка 0,5...0,7. Если же устойчиво наблюдается низкий показатель использования техники, то следует подумать о сокращении парка машин или поиске внереализационных доходов (сдача в аренду производственных и административных площадей, оборудования и пр.).

Коэффициент использования времени работы на объекте характеризует уровень работы службы производственной эксплуатации и служит для расчета времени  $T_{PPЭР}$  выполнения рабочих операций машиной на объекте (операционное время):

$$K_{И}(t) = \frac{T_{PPЭР}(t)}{T_{PPЭ}(t)}. \quad (6)$$

В общем случае  $K_{И}$  может рассматриваться как коэффициент использования потенциала машины (рабочего времени  $K_{ИВ}$ , мощности  $K_{ИН}$ , грузоподъемности  $K_{ИГ}$  и т. п.):

$$K_{И} = K_{ИВ} K_{ИГ} K_{ИН}. \quad (7)$$

Тогда формула для расчета выручки для случая сдачи машин в количестве  $i$  в аренду по цене машино-часа  $Ц_{м-ч}$ , примет вид (рис. 4):

$$B(t) = \sum B_i(t) = \sum T_{iPPЭ}(t) \cdot Ц_{м-ч}, \quad (8)$$

где  $\sum T_{iPPЭ}(t) = \sum T \cdot K_{iЗ} \cdot K_{iТИ}(t) \cdot K_{ИРР}$ .

$$B(t) = \sum B_i(t) = \underbrace{\sum T \cdot K_{iЗ}}_{\sum T_{iP}} \cdot \underbrace{K_{iТИ}(t)}_{\sum T_{iPP}(t)} \cdot K_{ИРР} \cdot Ц_{м-ч}.$$

$\underbrace{\hspace{10em}}_{\sum T_{iPPЭ}(t)}$  - режим работы предприятия  
 $\underbrace{\hspace{10em}}_{\sum T_{iPP}(t)}$  - техническая эксплуатация  
 $\underbrace{\hspace{10em}}_{\sum T_{iPPЭ}(t)}$  - коммерческая эксплуатация

Рис. 4. Схема формирования времени работы машины на объекте

Выручка, рассчитанная по формуле (8) для арендодателя, составит величину затрат  $З(t)$  на машины для арендополучателя. Причем вполне возможно, что машины с меньшим сроком эксплуатации будут сдаваться в аренду по большей цене, определяемой арендодателем по зависимости  $З(t)$ .

Если предприятие само подражается на производство строительных работ, его выручка будет связана с производительностью машины  $Q_i(t)$ , ценой единицы продукции  $c_i$  и наработкой  $T_{iPPЭP}(t)$  (рис. 5):

$$B(t) = \sum Q_i(t) \cdot c_i \cdot T_{iPPЭP}(t), \quad (9)$$

$$B(t) = \sum Q_i(t) \cdot c_i \cdot \underbrace{T \cdot K_{i3}}_{\sum T_{iP}} \cdot \underbrace{K_{iM}(t)}_{\sum T_{iPP}(t)} \cdot K_{iPP} \cdot K_{iИ},$$

$\underbrace{\sum T_{iPPЭ}(t)}_{\sum T_{iPPЭP}(t)}$  - режим работы предприятия  
 - техническая эксплуатация  
 - коммерческая эксплуатация  
 - производственная эксплуатация

Рис. 5. Схема формирования времени выполнения рабочих операций машиной на объекте (операционного времени)

Если предприятие использует арендованные машины, то его выручка  $B$  и прибыль  $\Pi$  соответственно составят

$$B(t) = \sum Q_i(t) \cdot c_i \cdot T_{iA} \cdot K_{iИ}, \quad \Pi(t) = B(t) - \sum 3_i(t) \cdot T_{iA}, \quad (10)$$

где  $T_{iA}$  – время аренды  $i$ -той машины.

Максимальное значение  $K_{iИ}$  составляет «1», минимальное определяется допустимым уровнем рентабельности использования техники и договорной ценой выполняемых работ. При выполнении некоторых видов работ применение  $K_{iИ}$  для оценки работы службы производственной эксплуатации вообще нецелесообразно. Например, при ремонте инженерных коммуникаций экскаватор отрывает подземный трубопровод за полчаса, а затем простаивает полдня пока починят трубу. Но стоимость работ такова, что аренда экскаватора будет с лихвой перекрыта. Иными словами, подход к использованию коэффициентов должен быть гибким и способствовать стимулированию работы всех служб предприятия.

*Надежностно-ориентированные методы (НОМ) работы служб эксплуатации техники*

В рамках данной статьи ограничимся лишь перечислением некоторых возможных НОМ для служб эксплуатации, причем для каждого конкретно варианта применения машин будет целесообразным применение определенных известных или разработка новых методов. Так, в ТЭ в зависимости от возраста машин следует вводить корректировку количества, периодичности и состава ремонтных воздействий. Для обеспечения работоспособности машин на объектах рассчитывать оптимальное количество передвижных средств ремонта и средств транспортировки машин, использовать методы ремонтного и страхового резервирования. КЭ при формировании парка машин должна использовать показатели цены-качества машин, целесообразности покупки машин и продажи своей техники со сроком эксплуатации и другие, причем функционально связанные с показателями надежности. ПЭ должна планировать использование машин с учетом возможного ущерба от внезапных отказов машин, величина которого зависит от характера выполняемых работ [9].

**Выводы**

1. Предложенные в статье показатели эффективности работы служб эксплуатации техники строительных предприятий базируются на комплексных показателях надежности машин с учетом их срока службы.
2. Показатели вычисляются на основании информации, имеющейся у предприятия.
3. Каждая служба эксплуатации оценивается одним показателем.

## **Заключение**

Разработанный в статье метод оценки влияния различных видов эксплуатации на общую эффективность применения ТТМ основан на четком разделении функций этих служб и может служить не только для совершенствования производственных процессов предприятия, но и для морального и материального стимулирования работников в зависимости от достигнутых значений показателей.

## **Финансирование**

Статья написана при финансовой поддержке выполнения научно-исследовательских работ научно-педагогическими работниками управлением научной работы СПбГАСУ в 2023 году.

## **Список литературы**

1. Ефремов Л.В. Проблемы управления надежно-ориентированной технической эксплуатацией машин. – СПб.: Арт-Хпресс, 2015. – 206 с.
2. Грифф М.И. Качество, эффективность и основы сертификации машин и услуг. Монография. – М.: АСВ, 2004. – 488 с.
3. Зорин В.А. Основы работоспособности технических систем: Учебник для вузов. – М.: Магистр-Пресс, 2005. – 536 с.
4. ГОСТ 57330-2016/EN 15341:2007 Системы промышленной автоматизации и интеграции. Системы технического обслуживания и ремонта. Ключевые показатели эффективности.
5. ГОСТ Р 27.606-2013. Надежность в технике Управление надежностью Техническое обслуживание, ориентированное на безотказность.
6. ГОСТ Р 27.601-2011 Надежность в технике. Управление надежностью. Техническое обслуживание и его обеспечение.
7. МДС 12-12.2002. Методические указания по разработке и внедрению системы управления качеством эксплуатации строительных машин.
8. МДС 12-13.2003. Механизация строительства. Годовые режимы работы строительных машин.
9. Репин С.В., Евтюков С.А., Зазыкин А.В., Рулис К.В. Надежность и эффективность эксплуатации транспортно-технологических машин. – СПб.: Изд. дом «Петрополис», 2017. – 404 с.
10. Канторер С.Е. Строительные машины и экономика их применения. Учебник для вузов. – М.: Высшая школа, 1973. – 528 с.
11. Волков Д.П., Николаев С.Н. Надежность строительных машин и оборудования. Учебное пособие для студентов вузов. – М.: Высшая школа, 1979. – 400с.
12. Максименко А.Н. Эксплуатация строительных и дорожных машин: Учеб. пособие. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 400 с
13. Максимов С.Е. Надежность дорожно-строительных машин: формирование и реализация. // Вестник гражданских инженеров. – 2012. – № 3(32). – С. 218-222.
14. Соломонов Ю.С., Шахтарин Ф.К. Большие системы: гарантийный надзор и эффективность. – М.: Машиностроение, 2003. – 368 с.
15. Максимов С.Е., Репин С.В., Зазыкин А.В., Чечуев В.Е. Анализ рынка дорожно-строительных машин в России и эволюция потребительских качеств этих машин // Строительные и дорожные машины. – 2019. – №7. – С. 3-12.
16. ГОСТ 27.002-2015. Надежность в технике. Термины и определения.

## **References**

1. Efremov L.V. Problems of control of reliability-oriented technical operation of machines. – SPb.: Art-Xpress, 2015. – 206 p.
2. Griff M.I. Quality, efficiency and basis for certification of machines and services. Monograph. – M.: ASV, 2004. – 488 p.
3. Zorin V.A. Fundamentals of the performance of technical systems: A textbook for universities. – M.: Master-Press, 2005. – 536 p.
4. GOST 57330-2016/EN 15341:2007 Industrial automation and integration systems. Maintenance and repair systems. Key performance indicators.
5. GOST R 27.606-2013. Reliability in engineering Reliability management Reliability-oriented maintenance.
6. GOST R 27.601-2011 Reliability in engineering. Reliability management. Maintenance and its provision.
7. MDS 12-12.2002. Guidelines for the development and implementation of a quality management system for the operation of construction machines.
8. MDS 12-13.2003. Construction mechanization. Annual modes of operation of construction machines.
9. Repin S.V., Evtyukov S.A., Zazykin A.V., Rulis K.V. Reliability and efficiency of operation of transport and technological machines. – SPb.: Petropolis Publ. house, 2017. – 404 p.

10. Kantorer S.E. Construction machines and the economics of their use. Textbook for high schools. – M.: Higher school, 1973. – 528 p.
11. Volkov D.P., Nikolaev S.N. Reliability of construction machines and equipment. Textbook for university students. – M.: Higher school, 1979. – 400 p.
12. Maksimenko A.N. Operation of construction and road machines: Proc. allowance. – SPb.: BHV-Petersburg, 2006. – 400 p.
13. Maksimov S.E. Reliability of road construction machines: formation and implementation // Bulletin of civil engineers. 2012, no. 3(32), pp. 218 -222.
14. Solomonov Yu.S., Shakhtarin F.K. Large Systems: Warranty Supervision and Efficiency. – M.: Mechanical Engineering, 2003. – 368 p.
15. Maksimov S.E., Repin S.V., Zazykin A.V., Chechuev V.E. Analysis of the market for road construction machines in Russia and the evolution of consumer qualities of these machines // Construction and road machines. 2019, no. 7, pp. 3-12.
16. GOST 27.002-2015. Reliability in technology. Terms and Definitions.

*Сведения об авторах:*

*Information about authors:*

<b>Репин Сергей Васильевич</b> – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры наземных транспортно-технологических машин	<b>Repin Sergei Vasilievich</b> – doctor of technical sciences, professor, professor of the Department of ground transport and technological machines
<b>Чечуев Василий Евгеньевич</b> – кандидат технических наук, ассистент кафедры строительной механики	<b>Chechuev Vasilij Evgenevich</b> – candidate of technical sciences, assistant of the Department of structural mechanics
<b>Зазыкин Андрей Вячеславович</b> – кандидат технических наук, доцент, декан автомобильно-дорожного факультета	<b>Zazykin Andrey Vyacheslavovich</b> – candidate of technical sciences, associate professor, dean of the automobile and road Faculty
<b>Евтюков Сергей Аркадьевич</b> – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой наземных транспортно-технологических машин	<b>Evtjukov Sergei Arkadievich</b> – doctor of technical sciences, professor, head of the Department of ground transport and technological machines
<b>Евтюков Станислав Сергеевич</b> – доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой транспортных систем	<b>Evtjukov Stanislav Sergeevich</b> – doctor of technical sciences, associate professor, head of the Department of transport systems
<b>Таланова Ирина Николаевна</b> – специалист Управления научной работы	<b>Talanova Irina Nikolaevna</b> – specialist of the department of scientific work
repinserge@mail.ru	

Получена 27.04.2023