

## МЕТОД ПЛАНИРОВАНИЯ РЕМОНТОВ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН СТРОИТЕЛЬСТВА С УЧЕТОМ УРОВНЯ НАДЕЖНОСТИ

*Репин С.В.<sup>1</sup>, Зазыкин А.В.<sup>1</sup>, Евтюков С.А.<sup>1</sup>, Ховалыг Н.-Д.К.<sup>2</sup>, Максимов С.Е.<sup>3</sup>,  
Дружинин П.В.<sup>4</sup>*

<sup>1</sup>*Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет;*

<sup>2</sup>*Крыловский государственный научный центр, Санкт-Петербург;*

<sup>3</sup>*Инжиниринговая компания «НЕОТЕК МАРИН», Санкт-Петербург;*

<sup>4</sup>*Военная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулёва» Министерства обороны Российской Федерации, Санкт-Петербург*

**Ключевые слова:** транспортно-технологические машины, эксплуатация, надежность, наработка, отказы, техническое обслуживание и ремонт.

**Аннотация.** Работоспособность транспортно-технологических машин (ТТМ) строительства (экскаваторов, кранов других), как и всех технических объектов, обеспечивается посредством проведения мероприятий технического обслуживания и ремонта (ТОиР). В статье показано, что существующая нормативная документация по планированию мероприятий ТОиР не предусматривает корректировку ремонтных воздействий в зависимости от возраста техники. Хотя общеизвестно, что надежность машин снижается с возрастом, растет количество внезапных отказов, для устранения последствий которых приходится проводить неплановые ремонты. Поэтому ремонтная служба не справляется с потоком заявок на ремонт, машины простаивают в ожидании ремонта, снижаются объемы выполненных строительных работ. Наиболее передовым методом построения системы ТОиР является надежно ориентированное обслуживание. *Цель исследования:* разработка рекомендаций по совершенствованию положений нормативной документации по ТОиР для достижения требуемого уровня надежности машин. *Методы:* на основе теоретических и экспериментальных исследований в области эксплуатации ТТМ авторы устанавливают зависимость количества неплановых ремонтов от возраста машин и разрабатывают рекомендации по корректировке количества и периодичности мероприятий ТОиР. *Методы:* статистической обработки экспериментальных данных по наработке и отказам машин; регрессионного анализа; компьютерного программирования в математической среде Excel. *Результаты:* новый метод планирования количества и периодичности мероприятий ТОиР с учетом изменения надежности машин в зависимости от срока эксплуатации, реализованный в программной среде Excel.

## METHOD FOR ADJUSTING THE FREQUENCY OF REPAIRS OF TRANSPORT AND TECHNOLOGICAL CONSTRUCTION MACHINES, TAKING INTO ACCOUNT THE LEVEL OF RELIABILITY

*Repin S.V.<sup>1</sup>, Zazikin A.V.<sup>1</sup>, Evtyukov S.A.<sup>1</sup>, Khovalyg N.-D.K.<sup>2</sup>, Maksimov S.E.<sup>3</sup>, Druzhinin P.V.<sup>4</sup>*

<sup>1</sup>*Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering;*

<sup>2</sup>*Krylov State Scientific Center, Saint-Petersburg;*

<sup>3</sup>*Engineering Company "NEOTEK MARINE", Saint-Petersburg;*

<sup>4</sup>*Military Academy of Logistics and Technical Support named after Army General A.V. Khrulev of the Ministry of Defense of the Russian Federation, Saint-Petersburg*

**Keywords:** transport and technological machines, operation, reliability, operating time, failures, maintenance and repair.

**Abstract.** The performance of transport and technological machines (TTM) for construction (excavators, cranes, etc.), like all technical objects, is ensured through maintenance and repair (MRO) activities. The article shows that the existing regulatory documentation for planning maintenance and repair activities does not provide for the adjustment of repair effects depending on the age of the equipment. Although it is well known that the reliability of machines decreases with age, the number of sudden failures is increasing, the consequences of which require unscheduled repairs. Therefore, the repair service cannot cope with the flow of requests for repairs, machines are idle awaiting repairs, and the volume of construction work performed is reduced. The most advanced method of building a maintenance and repair system is reliability-oriented maintenance. *Purpose of research:* to develop recommendations for improving the provisions of regulatory documentation for maintenance and repair to achieve the required level of machine reliability. *Methods:* based on theoretical and experimental research in the field of TTM operation, the authors establish the dependence of the

number of unscheduled repairs on the age of the machines and develop recommendations for adjusting the number and frequency of maintenance and repair activities. Methods: statistical processing of experimental data on the operating time and failures of machines; regression analysis; computer programming in the mathematical environment Excel. Results: a new method for planning the number and frequency of maintenance and repair activities, taking into account changes in the reliability of machines depending on their service life, implemented in the Excel software environment.

## **Введение**

Эффективность и безопасность применения техники, в том числе транспортно-технологических машин (ТТМ) для строительства (экскаваторы, бульдозеры, краны другие), определяется уровнем их надежности [1]. Поэтому современная концепция управления техническим состоянием машин предусматривает достижение максимального уровня надёжности на всех стадиях жизненного цикла [2-4]. Особенно актуально обеспечение надёжности на стадии эксплуатации машин, так как на данном этапе жизненного цикла машина реализует своё прямое назначение.

Обеспечение надёжности на стадии эксплуатации производится посредством системы технических обслуживаний и ремонтов (ТОиР). Новейший принцип построения системы ТОиР – надёжно-ориентированный. Надёжно-ориентированная система ТОиР предназначена для планирования мероприятий технического обслуживания и ремонта с учётом начального уровня надежности машин, условий применения, изменения технического состояния с возрастом машины. При этом критериями технического состояния машин выступают комплексные показатели надёжности [5, 6].

Известны методы управления надёжностью сложных технических систем средствами технической эксплуатации, разработанные в авиации [7], на автотранспорте [8-11] и других сферах [12, 13].

Имеются серьезные труды российских ученых по эксплуатации техники в Северных условиях [14-16]. Но часть исследований, основанная на планово-предупредительной системе ремонтов [16] уже потеряла свою актуальность вследствие развития науки о надежности машин, другая – существует лишь в виде отдельных теоретических положений [13, 17].

Однако, несмотря на указанные недостатки, приведенные выше исследования создают солидную информационно-теоретическую базу для решения новых научно-практических задач, связанных с обеспечением работоспособности ТТМ на современном научном уровне. В основу метода планирования количества и периодичности мероприятий ТОиР, описанного в данной статье, положены исследования авторов и других ученых в направлении обеспечения надежности машин в эксплуатации [18-22].

*Цель исследования* – разработка рекомендаций по совершенствованию положений нормативной документации по ТОиР для достижения требуемого уровня надежности машин, определяемого спецификой применения машин [21]. Необходимость исследования вызвана тем, что существующая нормативная документация по планированию мероприятий ТОиР не предусматривает корректировку ремонтных воздействий в зависимости от возраста техники. Хотя общеизвестно, что надежность машин снижается с возрастом, растет количество внезапных отказов, для устранения последствий которых приходится проводить неплановые ремонты. Поэтому ремонтная служба не справляется с потоком заявок на ремонт, машины простаивают в ожидании ремонта, снижаются объемы выполненных строительных работ.

*Результаты:* новый метод планирования количества и периодичности мероприятий ТОиР учитывает изменения надежности машин в зависимости от срока эксплуатации, сокращает время простоя машин в ремонтах. Метод удобен в использовании, т.к. реализован в общедоступной программной среде Excel. Особую ценность представляют исследования для районов Арктики РФ и Сибири, в которых вследствие территориального разброса строительных объектов и неразвитости сети дорог с усовершенствованным дорожным покрытием проведение неплановых ремонтов затруднено [22-25].

В статье развиваются положения формирования надёжно-ориентированной системы эксплуатации транспортно-технологических машин строительства, опубликованные авторами в настоящем журнале ранее [26].

Внедрение результатов исследований предполагается на предприятиях по эксплуатации транспортно-технологических машин, в учебном процессе вузов в дисциплинах, связанных с эксплуатацией техники.

*Материалы и методы исследований*

Оценка снижения надежности машин с возрастом проводилась на основе анализа структуры временных состояний машин по данным эксплуатации и научных положениях, разработанных авторами [26].

Эксплуатационная информация по наработке машин в зависимости от срока их службы собиралась в дорожно-строительных предприятиях г. Санкт-Петербурга. На основе теоретических и экспериментальных исследований в области эксплуатации ТТМ авторами установлена зависимость количества unplanned repairs от возраста машин [21] и разработаны рекомендации по корректировке количества и периодичности мероприятий ТОиР, изложенные в настоящей статье. При написании статьи применялись методы статистической обработки экспериментальных данных по наработке и отказам машин, регрессионного анализа, компьютерного программирования в математической среде Excel.

**Результаты**

Строительные организации разрабатывают годовой план и месячные планы-графики технического обслуживания и ремонта машин согласно действующему нормативному документу «МДС 12.8-2007» [27]. Главным недостатком данного документа является отсутствие учета возрастных изменений машин, проявляющихся в увеличении количества отказов и, следовательно, возрастающими простоями в ремонтах. Отсюда – ремонтная служба не справляется с потоком заявок на ремонт, машины простаивают в ожидании ремонта, снижаются объемы выполненных строительных работ.

Следует отметить, что «МДС 12-8.2007» используется в случае отсутствия документации по планированию и проведению мероприятий ТОиР от заводов изготовителей машин. Но рекомендации заводов также не предусматривают корректировку режимов ТОиР по возрасту машин.

По данным исследователей в области эксплуатации автомобильного транспорта [8, 9, 11] и строительной техники [1] увеличение времени пребывания в ремонтах вызвано, главным образом, постепенным возрастанием количества внезапных отказов с возрастом машин, устранение последствий которых производится посредством unplanned repairs (рис. 1).

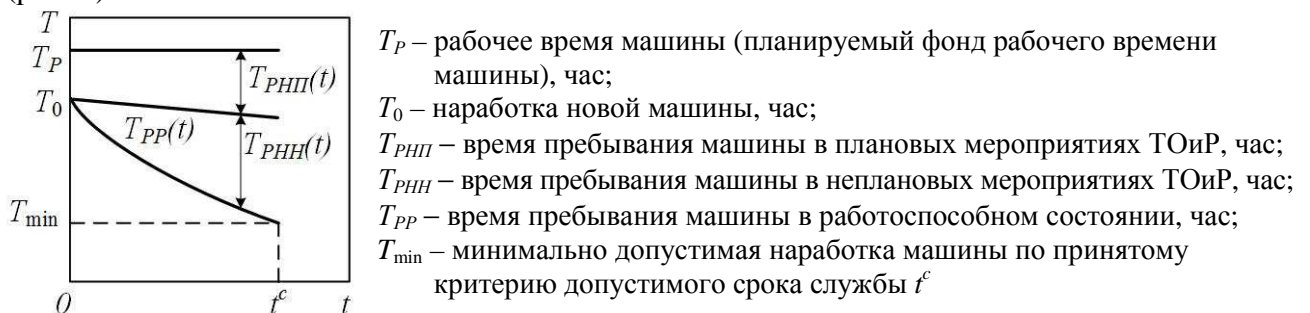


Рис. 1. Изменение годовой наработки  $T$  машин в процессе эксплуатации в зависимости от срока службы  $t$

Под плановыми простоями понимается время пребывания машины в плановых мероприятиях ТОиР ( $T_{PNH}$ ), при которых не планируется применение машин по назначению, а ремонтные ресурсы (площади, оборудование, работники, запчасти и пр.) запланированы. Поэтому непредвиденных экономических потерь не возникает.

Ключевым элементом в графе состояний является  $T_{RHH}$  – время неработоспособного состояния машины, в течение которого машина находится на unplanned repairs (НР). Машина попадает в НР в случае внезапного отказа, который происходит наиболее часто во время работы машины на объекте и поэтому приводит к наибольшим экономическим и

другим потерям [21]. Ремонтные ресурсы на проведение НР также не запланированы, как правило, что еще более усугубляет экономические потери.

В отличие от составляющих времени пребывания машины в плановых мероприятиях ТОиР ( $T_{PHH}$ ), изначально являющимися величинами нормативными (предписанными в «МДС 12.8-2007»)  $T_{PHH}$  – величина стохастическая, определяемая на основе данных эксплуатации и оказывающая наибольшее влияние на снижение времени пребывания машины в работоспособном состоянии  $T_{PP}$ . Установлено [26], что наработка  $T_{PP}$  ТМм надает с интенсивностью  $1,1 \dots 4,2$  % в год:

$$T_{PP}(t) = T_0 \cdot \exp(-\beta_t \cdot t), \quad (1)$$

где  $T_0$  – годовая наработка новой машины, час;  $t$  – возраст машины, год;  $\beta_t$  – показатель старения машины по наработке, 1/год.

Из рисунка 1 следует, что

$$T_{PHH}(t) = T_0 - T_{PP}(t), \quad (2)$$

$$T_{PHH}(t) = T_P - T_{PP}(t) - T_{PHH}(t). \quad (3)$$

Планируемую годовую наработку  $T_0$  новой машины определяют по методическим указаниям «МДС 12-13.2003» [28].

Выражение  $\exp(-\beta_t \cdot t)$  представляет собой коэффициент готовности в функции возраста  $t$  машины, рассчитанный по данным эксплуатации [26]. Выражение (3) имеет универсальный характер и применимо ко всем техническим объектам. Данная зависимость взята за основу расчета количества мероприятий ТОиР по предлагаемому методу.

Вследствие значительного снижения годового значения наработки  $T_{PP}(t)$  по мере старения машины количество плановых ремонтов и ТО (технических обслуживаний), рассчитываемое согласно «МДС 12-8.2007» по заданному (нормативному) интервалу наработки между ремонтами, также будет уменьшаться. А вот время простоя в неплановых ремонтах  $T_{PHH}(t)$  и, следовательно, количество НР будет возрастать. Причем, у разных машин интенсивность снижения наработки, описываемая показателем  $\beta_t$ , различная и зависит от начального качества самой машины, условий работы, уровня организации технического сервиса.

Учет динамики  $T_{PP}(t)$  при планировании мероприятий ТОиР позволит рассчитать и оптимальную загрузку ремонтной службы и реально выполняемый машинами объем строительных работ за найденное время пребывания машины в работоспособном состоянии.

На рисунке 2 приведен пример расчета в Excel количества плановых мероприятий ТОиР и показателей простоев согласно «МДС 12-8.2007».

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
12	Годовой фонд рабочего времени машины, ч. Трр		2300						
13									
14	Вид машин	№ мероприятия ТОиР	Вид технического обслуживания и ремонта	Периодичность выполнения технического обслуживания и ремонта, ч	Трудоемкость выполнения одного технического обслуживания и ремонта, чел.-ч	Продолжительность выполнения, ч	Количество в год при фонде времени Трр, ч	Простои в год Тнп, ч	Простои в год Тнп, %
15									
16	Экскаваторы	1	ТО-1	50	3	1,5	41	61,1	36,0
17	одноковшовые с гидравлическим приводом, 2-й размерной группы	2	ТО-2	250	6	3	5	15,9	9,3
18		3	СО	2 раза в год	20	8	2	16,0	9,4
19		4	Т (В том числе: ТО-3)	1000	400	40	2	76,7	45,2
20		5	К	6000	570	80	0	0,0	0,0

Рис. 2. Пример расчета в Excel количества плановых мероприятий ТОиР и показателей простоев согласно «МДС 12-8.2007»

Главное отличие предлагаемого метода планирования ТОиР от «МДС 12-8.2007» заключается в формуле расчета продолжительности времени  $T_{PP}$  пребывания машины в работоспособном состоянии:

– согласно «МДС 12-8.2007» величина  $T_{PP}$  не зависит от срока службы машины и простоев в неплановых ремонтах

$$T_{PP} = T_P - T_{PHH}; \quad (4)$$

– согласно предлагаемому методу зависит от них

$$T_{PP}(t) = T_P - T_{PHH}(t) - T_{PHH}(t). \quad (5)$$

Иными словами, предлагаемый метод расчета количества ТОиР позволяет учитывать влияние неплановых ремонтов на общее количество и продолжительность ремонтно-технических мероприятий.

Последовательность расчета. Сначала вычисляется  $T_{PP}(t)$  по формуле (1) для заданного возраста  $t$  машины,  $T_{PHH}(t)$  и  $T_{PHH}(t)$  по формулам (2) и (3). Затем проводятся расчеты количества технических обслуживаний и ремонтов в следующей последовательности: капитальный ремонт, текущий ремонт, технические обслуживания (сезонное – СО и номерные – ТО-2, ТО-1), неплановый ремонт. Формулы для расчета количества мероприятий ТОиР согласно предлагаемому методу приведены в таблице 1.

Табл. 1. Формулы для расчета количества мероприятий ТОиР

Номер мероприятия $I$ (на рис. 3)	Вид ТОиР	Формула для расчета количества мероприятий в год (значения округляются до целого в меньшую сторону)*	Примечания
5	Капитальный ремонт – К	$n_K = \frac{T_{PP} + T_{\Phi_K}}{T_K}$	Принимает значения 0 или 1 (в среднем один К в 3 года)
4	Текущий ремонт – Т (в том числе ТО-3)	$n_T = \frac{T_{PP} + T_{\Phi_T}}{T_T} - n_K$	Более крупное мероприятие ТОиР поглощает более мелкое (с меньшим номером $i$ ), совпадающее с ним
3	Сезонное обслуживание – СО	$n_{CO} = 2$	
2	Техническое обслуживание ТО-2	$n_{TO2} = \frac{T_{PP} + T_{\Phi_{TO2}}}{T_{TO2}} - n_T - n_{CO}$	
1	Техническое обслуживание ТО-1	$n_{TO1} = \frac{T_{PP} + T_{\Phi_{TO1}}}{T_{TO1}} - n_{TO2}$	
6	Неплановый ремонт – НР	$n_{HP} = \frac{T_{PHH} + T_{\Phi_{HP}}}{T_{B_{HP}}}$	$T_{B_{HP}}$ – среднее время восстановления при НР

\*  $T_{\Phi_i}$  – фактическая наработка машины на начало планируемого года со времени проведения последнего вида технического обслуживания, ремонта или с начала эксплуатации

На рисунке 3 представлен расчет в Excel количества мероприятий ТОиР и периодичности НР согласно предлагаемому методу (для упрощения описания в расчетах не учитывается  $T_{\Phi_i}$ ).

Главными входными параметрами, влияющими на количество плановых и неплановых мероприятий ТОиР являются: коэффициент старения по наработке (ячейка J3) и год эксплуатации (ячейка F3). С учетом этих параметров рассчитывается по формуле (1) время  $T_{PP}$  пребывания машины в работоспособном состоянии (ячейка С3).

№	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	
2	Годовой фонд рабочего времени Тр-Трнп, ч		2300	Расчетное время простоев в плановых ТОиР: Трнп, ч		123							
3	Время пребывания в работоспособном состоянии Трр (годовой фонд рабочего времени с учетом простоев неплановых ТОиР: Трр=Тр-Трнп-Трнп), ч		1477	Год эксплуатации		5	Коэффициент старения, год <sup>-1</sup>		0,089				
4													
5													
6	Вид машин	№ мероприятия ТОиР	Вид ТОиР	Периодичность выполнения ТОиР, ч	Интенсивность отказов, ч <sup>-1</sup>	Трудоемкость выполнения одного ТОиР, чел.-ч	Продолжительность выполнения, ч	Интенсивность восстановлений, ч <sup>-1</sup>	Количество в год при фонде времени Трр, ч	Простои в год Трнп, ч	Простои в год, % от Трр	Простои в год, % от общего времени простоев	
7		1	ТО-1	50	0,02	3	1,5	0,67	27	41	2,75	4,30	
8		2	ТО-2	250	0,004	6	3	0,33	2	7	0,49	0,77	
9		3	СО	1000	0,001	20	8	0,13	2	16	1,08	1,69	
10	Экскаваторы одноковшовые с гидравлическим приводом, 2-й размерной группы,	4	Т (В том числе: ТО-3)	1000	0,001	400	40	0,03	1	59	4,00	6,24	
11		5	К	6000	0,00017	570	80	0,01	0	0	0,00	0,00	
12		6	НР	64		0,01557	16	23	0,04	17	823	55,73	87,00
13								ИТОГО		50	946	64,06	100,00

Рис. 3. Пример расчета в Excel количества плановых мероприятий ТОиР и показателей простоев по предлагаемому методу (зеленым цветом выделены вводимые параметры ТОиР согласно «МДС 12-8.2007», синим – главные вычисляемые параметры НР)

В таблицу, приведенную на рисунке 3, добавлена строка мероприятия ТОиР №6 – НР (строка 12), содержащая расчеты параметров ТОиР в следующем порядке:

- трудоемкость выполнения одного НР (ячейка F12) – средняя величина для данной марки машины для данного предприятия (на основании анализа данных эксплуатации);
- продолжительность выполнения одного НР (ячейка G12) – рассчитывается с учетом времени перебазиновки отказавшей машины плюс трудоемкость выполнения одного НР;
- интенсивность восстановлений (ячейка H12) – величина, обратная продолжительности выполнения одного НР;
- периодичность выполнения НР (ячейка D12), рассчитывается как частное от деления  $C3/G12$ ;
- простои в НР (ячейка J12)  $T_{РНН}(t)$  рассчитываются как разность  $C2-C3$ ;
- количество НР (ячейка I12) в год при наработке  $T_{PP}$  равно  $J12/(D12+G12)$ ;
- относительные величины простоев в % (ячейки K12 и L12).

Параметры других мероприятий ТОиР в строках 7...11 рассчитываются аналогично путем построчного копирования формул ячеек.

Устанавливая год эксплуатации в ячейку F3, получаем планируемое количество мероприятий ТОиР для машины данного возраста, что отвечает положениям стандартов по управлению надежностью техники [29].

### Обсуждение

Таким образом, при изучении процессов технической эксплуатации транспортно-технологических машин показано, что существующая нормативная документация по планированию мероприятий ТОиР не предусматривает корректировку ремонтных воздействий в зависимости от возраста техники. На основании анализа данных по отказам машин предложен новый метод планирования количества и периодичности мероприятий ТОиР с учетом изменения надежности машин в зависимости от срока эксплуатации, реализованный в программной среде Excel. Разработанные рекомендации имеют универсальный характер и применимы ко всем техническим объектам.

### Выводы

1. Разработанный метод корректировки количества и периодичности мероприятий ТОиР с учетом изменения надежности машин в зависимости от срока эксплуатации обеспечивает оптимальное планирование загрузки ремонтных мощностей предприятия, сокращает время простоя машин в ремонтах.

2. Метод удобен в использовании, т.к. реализован в общедоступной программной среде Excel.

3. Особую ценность представляют исследования для районов Арктики РФ и Сибири, в которых вследствие территориального разброса строительных объектов и неразвитости сети дорог с усовершенствованным дорожным покрытием проведение неплановых ремонтов затруднено.

4. Внедрение результатов исследований возможно на предприятиях по эксплуатации транспортно-технологических машин, в учебном процессе вузов в дисциплинах, связанных с эксплуатацией техники.

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

#### Список литературы

1. 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.
2. ГОСТ Р 27.001-2009. Надежность в технике (ССНТ). Система управления надежностью. Основные положения.
3. SAE JA 1011:2009. Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM) Processes.
4. SAE JA 1012:2011. A Guide to the Reliability-Centered Maintenance (RCM) Standard.
5. Иорш В.И., Крюков И.Э., Антоненко И.Н. Управление ремонтами, ориентированное на надежность // Промышленность и безопасность. – 2011. – №7. – С. 50-53.
6. Ефремов Л.В. Проблемы управления надежностью–ориентированной технической эксплуатацией машин. – СПб.: Art-Xpress, 2015. – 206 с.
7. Ицкович А.А., Смирнов Н.Н. Обслуживание и ремонт авиационной техники по состоянию. – М.: Транспорт, 1980. – 232 с.
8. Прудовский Б.Д., Ухарский В.Б. Управление технической эксплуатацией автомобилей по нормативным показателям. – М.: Транспорт, 1990. – 239 с.
9. Кузнецов Е.С. Управление техническими системами. Учебник пособие. – М.: МАДИ (ТУ), 2003. – 247 с.
10. Малкин В.С. Техническая эксплуатация автомобилей: Теоретические и практические аспекты: Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. – М.: Изд. центр «Академия», 2007. – 288 с.
11. Терентьев А.В. Научно-методический подход к многокритериальной оценке срока эксплуатации автомобиля: Дисс. ... докт. техн. наук. – М.: МАДИ, 2018. – 303 с.
12. Wujaczek R., Sławiński K., Grieger A. Agricultural Machines Maintenance And Repair Services In Western Pomerania // Technical Sciences. 2013, no. 16(1), pp. 13-18.
13. Антоненко И.Н., Беляков М.И. Об одной надёжностной задаче и ее решении в информационной системе // Автоматизация в промышленности. – 2015. – №8. – С. 18-21.
14. Matvienko G. Modeling and fracture criteria in current problems of strength, survivability and machine safety // Journal of Machinery Manufacture and Reliability. 2022, vol. 43, iss. 3, pp. 242-249.
15. Гагарский Н.А., Бутенев М.Е. Анализ надёжности узлов и механизмов лесных машин при эксплуатации на Крайнем Севере // «Научное сообщество студентов XXI столетия. Технические науки»: Электронный сборник статей по материалам LXXXV студенческой международной научно-практической конференции. – Новосибирск: Изд. ООО «СибАК», 2020. – №1(84). – С. 94-99. – URL: [https://sibac.info/archive/technic/1\(84\).pdf](https://sibac.info/archive/technic/1(84).pdf).
16. Каракулев А.В., Кирилов Г.Н. Организация технического обслуживания и ремонта машин в условиях Севера. – Л.: Стройиздат, Ленингр. отд-ние, 1978. – 168 с.
17. Jesus R. Sifonte, James V. Reyes-Picknell. Reliability Centered Maintenance – Reengineered: Practical Optimization of the RCM Process with RCM-R. – CRC Press, 2017. – 349 p.
18. Моудрей Д. Техническое обслуживание, ориентированное на надежность. Книга RCM II. – СПб.: Надёжная Книга, 2018. – 448 с.
19. Shao-Fei Jiang, Da-Bao Fu, Si-Yao Wu. Structural Reliability Assessment by Integrating Sensitivity Analysis and Support Vector Machine // Mathematical Problems in Engineering. 2014, vol. 2014, p. 586191. doi.org/10.1155/2014/586191.
20. Repin S., Maximov S., Zazykin A., Voropaev N. Development of Strategy for Ensuring Operability of Transport and Technological Machines // E3S Web of Conferences. 2020, vol. 164, p. 03046.
21. Repin S.V., Roulis K.V., Bardishev O.A., Druginin P.V. Method of ensuring efficient operation of transport and technological machines at construction sites // Contemporary Problems of Architecture and Construction. Proceedings of the 12th International Conference on Contemporary Problems of Architecture and Construction (ICCPAC-2020), November 25-26, 2020, Saint-Petersburg, Russia. P. 263-267. doi.org/10.1201/9781003176428.
22. Bardyshev O., Repin S., Zazykin A., Evtyukov S., Rajczyk J., Ruchkina I., Maksimova A., Korotkevich M. Study on the aspects of organizing the repair of construction machinery in the Arctic // International Conference on Arctic transport accessibility: networks and systems, Transportation Research Procedia. 2021, vol. 57, pp. 49-55.

23. Арктика. Большая российская энциклопедия. 2021 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://bigenc.ru/geography/text/3452274>.
24. Указ Президента РФ от 26 октября 2020г. №645 «О Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года».
25. Государственная Программа Российской Федерации «Социально-экономическое развитие Арктической зоны Российской Федерации» (с изменениями на 31 марта 2020 года) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/499091750>.
26. Репин С.В., Чечуев В.Е., Зазыкин А.В., Евтюков С.А., Евтюков С.С., Таланова И.Н. Формирование показателей надёжностно-ориентированной эксплуатации транспортно-технологических машин строительства // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. – 2023. – №20. – С. 58-65. – <https://doi.org/10.26160/2658-3305-2023-20-58-65>.
27. МДС 12-8.2007, (2007). Рекомендации по организации технического обслуживания и ремонта строительных машин. МДС 12-8.2007. – М.: ЦНИИОМТП, 2007. – 61 с.
28. МДС 12-13.2003, (2003). Механизация строительства. Годовые режимы работы строительных машин. МДС 12-13.2003. – М.: ЦНИИОМТП, 2003. – 28 с.
29. ГОСТ Р 27.606-2013. Надёжность в технике Управление надёжностью / Техническое обслуживание, ориентированное на безотказность.

### References

1. Repin S.V., Evtyukov S.A., Zazykin A.V., Rulis K.V. Reliability and efficiency of operation of transport and technological machines. – SPb.: Publ. house “Petropolis”, 2017. – 404 p.
2. GOST R 27.001-2009 Reliability in technology (SSNT). Reliability management system. Basic provisions.
3. SAE JA 1011:2009. Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM) Processes.
4. SAE JA 1012:2011. A Guide to the Reliability-Centered Maintenance (RCM) Standard.
5. Iorsh V.I., Kryukov I.E., Antonenko I.N. Reliability-oriented repair management // Industry and safety. 2011, no. 7, pp. 50-53.
6. Efremov L.V. Problems of management of reliability-oriented technical operation of machines. – SPb.: Art-Xpress, 2015. – 206 p.
7. Itskovich A.A., Smirnov N.N. Maintenance and repair of aviation equipment according to condition. – М.: Transport, 1980. – 232 p.
8. Prudovsky B.D., Ukharsky V.B. Management of technical operation of vehicles according to standard indicators. – М.: Transport, 1990. – 239 p.
9. Kuznetsov E.S. Management of technical systems. Textbook. – М.: MADI (TU), 2003. – 247 p.
10. Malkin V.S. Technical operation of cars: Theoretical and practical aspects: Textbook for students of higher educational institutions. – М.: Publ. center “Academy”, 2007. – 288 p.
11. Terentyev A.V. Scientific and methodological approach to multi-criteria assessment of the service life of a vehicle: Diss. ... doct. of tech. sc. – М.: MADI, 2018. – 303 p.
12. Bujaczek R., Sławiński K., Grieger A. Agricultural Machines Maintenance And Repair Services In Western Pomerania // Technical Sciences. 2013, no. 16(1), pp. 13-18.
13. Antonenko I.N., Belyakov M.I. About one reliability problem and its solution in an information system // Automation in industry. 2015, no. 8, p. 18-21.
14. Matvienko G. Modeling and fracture criteria in current problems of strength, survivability and machine safety // Journal of Machinery Manufacture and Reliability. 2022, vol. 43, iss. 3, pp. 242-249.
15. Gagarsky N.A., Butenev M.E. Analysis of the reliability of units and mechanisms of forestry machinery during operation in the Far North // "Scientific community of students of the XXI century. Technical Sciences": Electronic collection of articles based on the materials of the LXXXV student International scientific and Practical conference. – Novosibirsk: Ed. SibAK LLC", 2020. – No. 1(84). – P. 94-99. – URL: [https://sibac.info/archive/technic/1\(84\).pdf](https://sibac.info/archive/technic/1(84).pdf).
16. Karakulev A.V., Kirilov G.N. Organization of maintenance and repair of machines in the North. – L.: Stroyizdat, Leningrad department, 1978. – 168 p.
17. Jesus R. Sifonte, James V. Reyes-Picknell. Reliability Centered Maintenance – Reengineered: Practical Optimization of the RCM Process with RCM-R. – CRC Press, 2017. – 349 p.
18. Mowdray D. Reliability-oriented maintenance. RCM Book II. – SPb.: Reliable Book, 2018. – 448 p.
19. Shao-Fei Jiang, Da-Bao Fu, Si-Yao Wu. Structural Reliability Assessment by Integrating Sensitivity Analysis and Support Vector Machine // Mathematical Problems in Engineering. 2014, vol. 2014, p. 586191. [doi.org/10.1155/2014/586191](https://doi.org/10.1155/2014/586191).
20. Repin S., Maximov S., Zazykin A., Voropaev N. Development of Strategy for Ensuring Operability of Transport and Technological Machines // E3S Web of Conferences. 2020, vol. 164, p. 03046.
21. Repin S.V., Roulis K.V., Bardishev O.A., Druginin P.V. Method of ensuring efficient operation of transport and technological machines at construction sites // Contemporary Problems of Architecture and Construction. Proceedings of the 12th International Conference on Contemporary Problems of Architecture and Construction (ICCPAC-2020), November 25-26, 2020, Saint-Petersburg, Russia. P. 263-267. [doi.org/10.1201/9781003176428](https://doi.org/10.1201/9781003176428).



22. Bardyshev O., Repin S., Zazykin A., Evtyukov S., Rajczyk J., Ruchkina I., Maksimova A., Korotkevich M. Study on the aspects of organizing the repair of construction machinery in the Arctic // International Conference on Arctic transport accessibility: networks and systems, Transportation Research Procedia. 2021, vol. 57, pp. 49-55.
23. Arctic. Great Russian Encyclopedia. 2021 [Электронный ресурс]. – Access mode: <https://bigenc.ru/geography/text/3452274>.
24. Decree of the President of the Russian Federation of October 26, 2020 No. 645 “On the Strategy for the development of the Arctic zone of the Russian Federation and ensuring national security for the period until 2035”.
25. State Program of the Russian Federation “Socio-economic development of the Arctic zone of the Russian Federation” (as amended as of March 31, 2020) [Электронный ресурс]. – Access mode: <https://docs.cntd.ru/document/499091750>.
26. Repin S.V., Chechuev V.E., Zazykin A.V., Evtyukov S.A., Evtyukov S.S., Talanova I.N. Formation of indicators of reliability-oriented operation of transport and technological construction machines // Transport, mining and construction engineering: science and production. 2023, no. 20, pp. 58-65. <https://doi.org/10.26160/2658-3305-2023-20-58-65>.
27. MDS 12-8.2007, (2007). Recommendations for organizing maintenance and repair of construction machines. MDS 12-8.2007. – М.: TsNIIOMTP, 2007. – 61 p.
28. MDS 12-13.2003, (2003). Construction mechanization. Annual operating modes of construction machines. MDS 12-13.2003. – М.: TsNIIOMTP, 2003. – 28 p.
29. GOST R 27.606-2013. Reliability in technology Reliability management / Reliability-oriented maintenance.

*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>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>Evtyukov Sergei Arkadievich</b> – doctor of technical sciences, professor, head of the Department of ground transport and technological machines
<b>Ховалыг Настык-Доджу Кызыл-оолович</b> – кандидат технических наук, начальник сектора исследования и разработки специального оборудования филиала ЦНИИ СЭТ	<b>Khovalyg Nastyk-Doju Kyzyl-oolovich</b> – candidate of technical sciences, head of the research and development sector of special equipment of the branch TsNII SET
<b>Максимов Сергей Евгеньевич</b> – доктор технических наук, профессор, главный эксперт по информационному обеспечению	<b>Maksimov Sergey Evgenievich</b> – doctor of technical sciences, professor, chief expert in information support
<b>Дружинин Петр Владимирович</b> – доктор технических наук, профессор	<b>Druzhinin Petr Vladimirovich</b> – doctor of technical sciences, professor
repinserge@mail.ru	

Получена 11.09.2023