

УДК 629.002.5

DOI: 10.46960/1816-210X_2023_4_111

МЕТОД ОЦЕНКИ УРОВНЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН НА ОСНОВАНИИ АНАЛИЗА ВРЕМЕНИ ПРОСТОЕВ В РЕМОНТАХ

С.В. Репин

ORCID: 0000-0002-4224-5554 e-mail: repinserge@mail.ru

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет
Санкт-Петербург, Россия**А.В. Зазыкин**

ORCID: 0000-0002-6096-9011 e-mail: a.v.zazykin@mail.ru

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет
Санкт-Петербург, Россия**Н.А. Масленников**

ORCID: 0000-0001-8123-9918 e-mail: masl-nikita@yandex.ru

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет
Санкт-Петербург, Россия

Обоснована необходимость разработки методик, позволяющих рассчитать время пребывания *транспортно-технологической машины* (ТТМ) в работоспособном состоянии по имеющейся у предприятий эксплуатационной информации; выявлена зависимость эффективности применения строительных ТТМ от уровня работоспособности. Предложен метод оценки уровня работоспособности строительных ТТМ, включающий: анализ снижения годовой наработки машин вследствие проведения неплановых ремонтов, количество которых увеличивается с возрастом машины; корректировку количества годовых плановых мероприятий *технических обслуживания и ремонтов* (ТОиР) вследствие сокращения годовой наработки; расчет показателей надежности на основании информации по простоям в ремонтах.

Метод реализуется в общедоступной математической среде *MS Excel*, прост в использовании и может применяться на предприятиях по эксплуатации строительных транспортно-технологических машин.

Ключевые слова: строительные транспортно-технологические машины, работоспособность, надежность, ремонт, эксплуатация.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Репин, С.В. Метод оценки уровня работоспособности строительных транспортно-технологических машин на основании анализа времени простоев в ремонтах / С.В. Репин, А.В. Зазыкин, Н.А. Масленников // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2023. № 4. С. 111-120.
DOI: 10.46960/1816-210X_2023_4_111

METHOD FOR ASSESSING THE LEVEL OF PERFORMANCE OF TRANSPORT AND TECHNOLOGICAL CONSTRUCTION MACHINES BASED ON ANALYSIS OF DOWNTIME IN REPAIRS

S.V. Repin

ORCID: 0000-0002-4224-5554 e-mail: repinserge@mail.ru

St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering
St. Petersburg, Russia

A.V. Zazykin

ORCID: 0000-0002-6096-9011 e-mail: a.v.zazykin@mail.ru
St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering
St. Petersburg, Russia

N.A. Maslennikov

ORCID: 0000-0001-8123-9918 e-mail: masl-nikita@yandex.ru
St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering
St. Petersburg, Russia

Abstract. The article shows that the effectiveness of the use of transport-technological construction machines is determined by the level of equipment performance. Despite the large amount of research in this area, there are no methods that allow calculating the time the transport-technological machine remains in working condition according to the operational information available to enterprises. The article also proposes a method for assessing the level of performance of transport-technological construction machines, including: analysis of the decrease in the annual operating time of machines due to unscheduled repairs, the number of which increases with the age of the machine; adjustment of the number of annual scheduled maintenance and repair activities due to a reduction in annual operating time; calculation of reliability indicators based on information on downtime in repairs.

The method is implemented in *MS Excel*, is easy to use and can be used at enterprises operating transport-technological construction machines.

Key words: transport and technological construction machines, performance, reliability, repair, operation.

FOR CITATION: S.V. Repin, A.V. Zazykin, N.A. Maslennikov. Method for assessing the level of performance of transport and technological construction machines based on analysis of downtime in repairs. Transactions of NNSTU n.a. R.E. Alekseev. 2023. № 4. Pp. 111-120. DOI: 10.46960/1816-210X_2023_4_111

Введение

Эффективность применения машин определяется уровнем их работоспособности. Согласно ГОСТ 27.002-2015, работоспособность может быть определена как «состояние объекта, в котором значения всех параметров, характеризующих способность выполнять заданные функции, соответствуют требованиям, установленным в документации на этот объект» [1]. Работоспособность любого технического объекта обеспечивается средствами эксплуатации, а именно – проведением *технических обслуживаний и ремонтов* (ТОиР) [2]. Соответствующая нормативная документация предусматривает плановое проведение мероприятий, позволяет рассчитать соответствующее время пребывания и, следовательно, продолжительность нахождения машины в работоспособном состоянии, т.е. рассчитать фонд рабочего времени машины для планирования ее использования. Однако работоспособность машин может быть в любой момент времени потеряна вследствие внезапного отказа [1, 2], и для восстановления требуется проведение непланового ремонта (НР). При этом чем больше срок эксплуатации, тем больше времени машина простаивает в НР. Существующие исследования в области надежности техники выявили основные закономерности изменения уровня работоспособности машин в функции возраста [3-16], но отсутствуют методики, позволяющие рассчитать время пребывания машины в работоспособном состоянии по имеющейся у предприятий эксплуатационной информации.

Представленный в настоящей статье метод позволяет решить данную задачу.

Методика

В качестве основных режимов проведения мероприятий ТОиР рассматриваются: периодичность проведения плановых обслуживаний и ремонтов и неплановых ремонтов, обозначаемых как наработка на отказ на i -тое мероприятие $T_{от_i}$; время восстановления работоспособности в i -том мероприятии $T_{в_i}$. В качестве базовых показателей надежности рассмат-

риваются: интенсивности отказов и восстановлений в мероприятиях ТОиР; вероятность пребывания машины в работоспособном состоянии; коэффициенты технического использования и готовности. Уровень работоспособности оценивается вероятностью нахождения машины в работоспособном состоянии в зависимости от ее возраста. Согласно действующему нормативному документу [17], предусматриваются следующие плановые мероприятия ТОиР: технические обслуживания ТО-1, ТО-2 и ТО-3; сезонное обслуживание СО; ремонты текущий (Т) и капитальный (К). В то же время период простоев в НР «возрастных» машин может превышать соответствующий для плановых ремонтных работ, поэтому простои в НР существенно влияют на уровень работоспособности.

Методика предусматривает: анализ снижения годовой наработки машин вследствие проведения НР, количество которых увеличивается с возрастом машины; корректировку количества годовых плановых мероприятий ТОиР вследствие сокращения годовой наработки; расчет показателей надежности на основании информации по простоям в ремонтах.

Методика сбора и обработки данных эксплуатации транспортно-технологических машин

Исследование снижения наработки ТТМ было проведено на примере десяти экскаваторов в зависимости от их возраста (рис. 1 и 2). В ячейках С5...М5 (рис. 1) приведена наработка нового экскаватора, которая представляет собой годовой фонд рабочего времени машины, рассчитываемый согласно МДС 12-13.2003 [18].

▲	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
	№	Срок службы, год	Суммарная наработка за срок службы, час	Наработка за 1 в год, час	Наработка за 2 в год, час	Наработка за 3 в год, час	Наработка за 4 в год, час	Наработка за 5 в год, час	Наработка за 6 в год, час	Наработка за 7 в год, час	Наработка за 8 в год, час	Наработка за 9 в год, час	Наработка за 10 в год, час	Средний разброс значений, час	Средний разброс значений, %	Средняя в год, час
3																
5	2	0	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	0	0	2300
6	3	2	3630	1935	1904	2025	2012	1985	1913	1833	1875	2145	1743	79	4	1937
7	4	4	6537	1563	1710	1833	1812	1833	1904	1634	1756	1873	1523	131	8	1744
8	5	6	8950	1243	1350	1595	1632	1712	1854	1575	1612	1702	1310	202	13	1559
10	7	11	12650	818	920	1245	1046	1318	1448	1349	1350	1151	1056	198	17	1170

Рис. 1. Результаты анализа снижения годовой наработки десяти гидравлических экскаваторов второй размерной группы на строительных предприятиях г. Санкт-Петербурга

Fig. 1. Results of the analysis of the reduction in annual operating time of ten hydraulic excavators of the second size group at construction enterprises in St. Petersburg

Снижение наработки обусловлено простоями в НР и подчиняется экспоненциальному закону (рис. 2). Разность между наработкой нового экскаватора и средней наработкой для текущего возраста принимается на простои в НР. Количество плановых мероприятий ТОиР, проводимых через интервалы наработки, рекомендуемые МДС 12.8-2007 [17], будет сокращаться с возрастом машины. Согласно исследованиям [19], продолжительность пребывания машины в НР увеличивается с ее возрастом t согласно формуле:

$$T_{НР}(t) = T(0) \cdot [1 - \exp(-\beta \cdot t)], \tag{1}$$

где $T(0)$ – годовой фонд рабочего времени машины, час (или – годовая наработка машины в случае отсутствия внезапных отказов, соответствующая машине с нулевым возрастом; это допущение, принятое для описания предлагаемого метода расчета уровня работоспособности); β – показатель старения машины по наработке, год⁻¹ (согласно расчету на рис. 2, $\beta =$

0,089). Выражение $\exp(-\beta \cdot t)$ представляет собой коэффициент готовности в функции возраста машины [19].

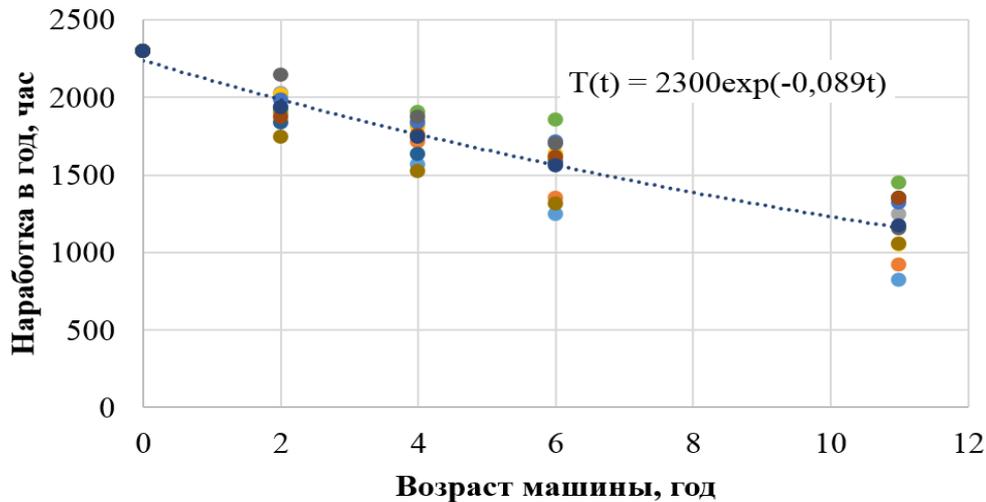


Рис. 2. Закон изменения годовой наработки гидравлических экскаваторов второй размерной группы в зависимости от возраста

Fig. 2. The law of change in the annual operating time of hydraulic excavators of the second size group depending on age

	A	C	D	E	F	G	H	I	J	L
2	Годовой фонд рабочего времени, ч	2300	Расчетное время простоев в плановых ТОиР, ч		170	Общий годовой фонд рабочего времени, ч			2470	
3	Время пребывания в работоспособном состоянии, ч	2105	Год эксплуатации		1	Коэффициент старения, год ⁻¹			0,089	
4										
5										
6	Вид машин	Вид ТОиР	Периодичность выполнения ТОиР, ч	Интенсивность отказов, ч ⁻¹	Трудоемкость выполнения одного ТОиР, ч	Продолжительность выполнения, ч	Интенсивность восстановлений, ч ⁻¹	Количество в год, ч	Простои в год, ч	Простои в год, % от общего времени простоев
7	Экскаваторы одноковшовые с гидравлическим приводом: на базе пневмоколесного трактора, 2-й размерной группы, с ковшом вместимостью 0,25—0,4 м ³	ТО-1	50	0,02	3	1,5	0,67	38	57	15,54
8		ТО-2	250	0,004	6	3	0,33	4	13	3,55
9		СО	1000	0,001	20	8	0,13	2	16	4,39
10		T (в том числе: ТО-3)	1000	0,001	400	40	0,03	2	84	23,08
11		К	6000	0,00017	570	80	0,01	0	0	0,00
12		НР	92	0,01093	16	23	0,04	2	195	53,45
13						ИТОГО		48	365	100,00

Рис. 3. Расчет в Excel продолжительностей простоев в мероприятиях ТОиР на первом году эксплуатации (ячейка F1)

Fig. 3. Calculation of downtime durations in maintenance and repair activities in the first year of operation in Excel (cell F1)

Теоретические исследования

Вследствие снижения годовой наработки машин в зависимости от возраста уменьшается количество плановых мероприятий ТОиР, а количество неплановых – растет. Поэтому необходимо произвести корректировку количества ТОиР в год с учетом возраста машин. На рис. 3 представлены результаты расчета в Excel скорректированных продолжительностей простоев в мероприятиях ТОиР с учетом рекомендаций МДС 12.8-2007 [17]. Годовой фонд рабочего времени $T(0)$ машины рассчитывается согласно МДС 12-13.2003 [18] (ячейка C2).

Данные по периодичности и трудоемкости НР получены на основании анализа имеющейся у предприятий эксплуатационной информации [19]. Одним из главных выходных параметров данного расчета является время нахождения машины в состоянии работоспособности в функции ее возраста (ячейка С3), рассчитанное по формуле на рис. 2.

В представленном на рис. 3 расчете к плановым мероприятиям ТОиР (ячейки С7...С11), предусмотренным МДС 12.8-2007 [17], добавлен НР (ячейка С12), расчетные параметры которого показаны в ячейках D12...L12). В ячейке J3 приведен коэффициент старения машины по наработке (показатель экспоненты на рис. 2). Именно от его величины зависит время пребывания в НР. Увеличивая год эксплуатации в ячейке F1, будет уменьшаться количество плановых мероприятий ТОиР и расти число НР. На основании данных по простоям можно рассчитать показатели надежности по годам эксплуатации (рис. 4-7).

№	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V
5	Коэффициент технического использования, К _{ти}	Коэффициент готовности, К _г	Коэффициент планируемого применения, К _{пп}	Простои в год Т _{рп} , Т _{рнн} , ч	Показатель	Средняя интенсивность отказов, ч ⁻¹	Средняя интенсивность восстановлений, ч ⁻¹	Наработка на отказ Tot, ч	Время восстановления Т _в , ч	Количество ТОиР в год, N
6										
7				170	Т _{рп}	0,02617	0,03	38	40	46
8				195	Т _{рнн}	0,01093	0,04	92	23	2
9										
10										
11										
12										
13	0,85	0,92	0,93							

Рис. 4. Расчет простоев в ремонтах и показателей надежности для первого года эксплуатации: Т_{рп}, Т_{рнн} – простои в плановых и неплановых мероприятиях ТОиР соответственно

Fig. 4. Calculation of downtime during repairs and reliability indicators for the first year of operation: T_{rp}, T_{rnn} are the downtime during planned and unscheduled maintenance and repair activities, respectively

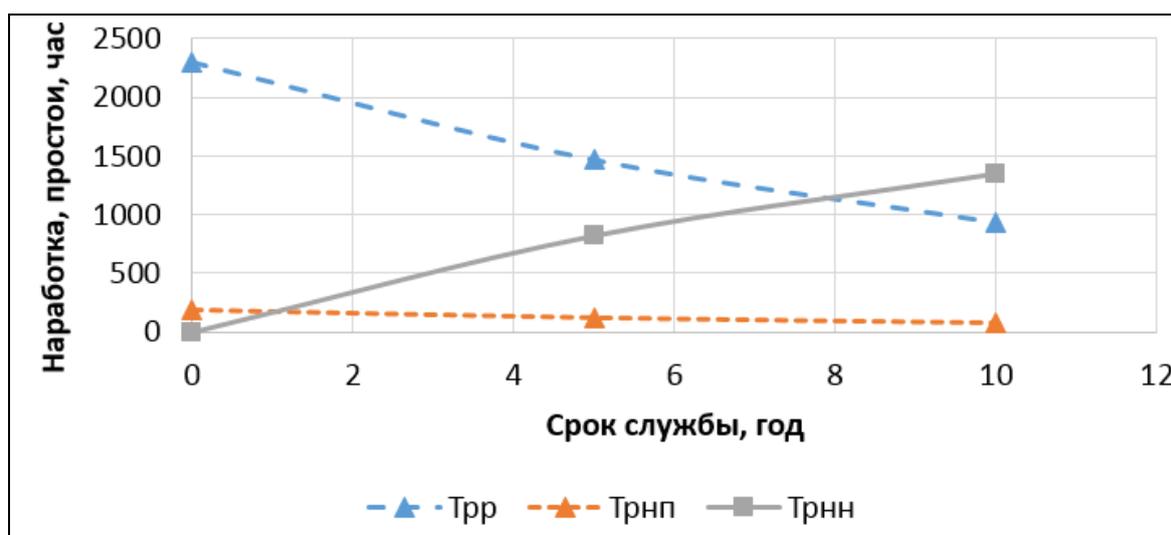


Рис. 5. Результаты расчета наработки ТРР и простоев в ТОиР

Fig. 5. Results of calculating operating time according to standard regulations for work and downtime during maintenance and repairs

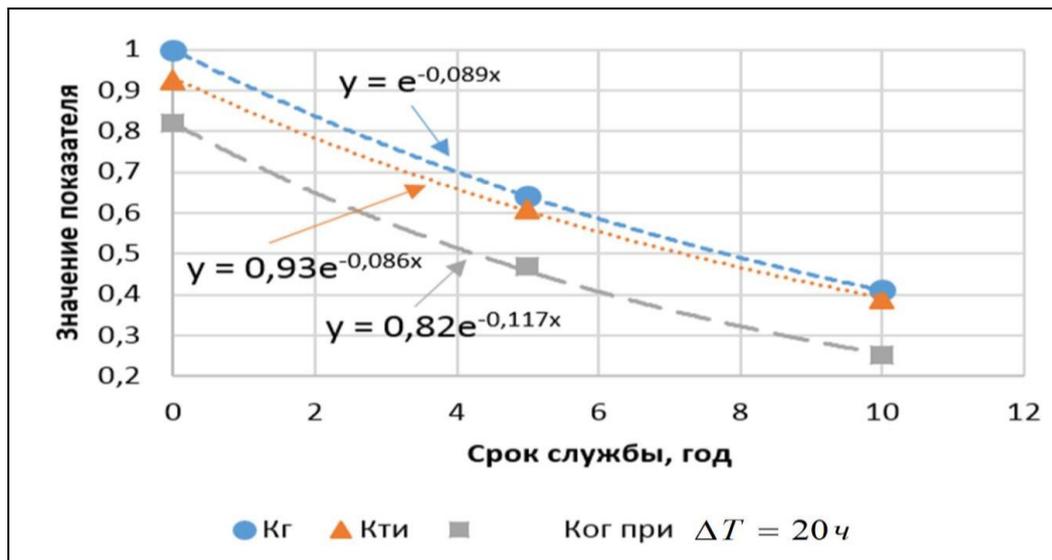


Рис. 6. Результаты расчета комплексных показателей надежности

Fig. 6. Results of calculation of complex reliability indicators

Коэффициент оперативной готовности Ког (рис. 6) рассчитывается по формуле:

$$K_{OR}(t) = K_T(t) \cdot P(t, \Delta T), \quad (2)$$

где $P(t, \Delta T)$ – вероятность безотказной работы машины возраста t в течение непрерывного промежутка времени работы ΔT .

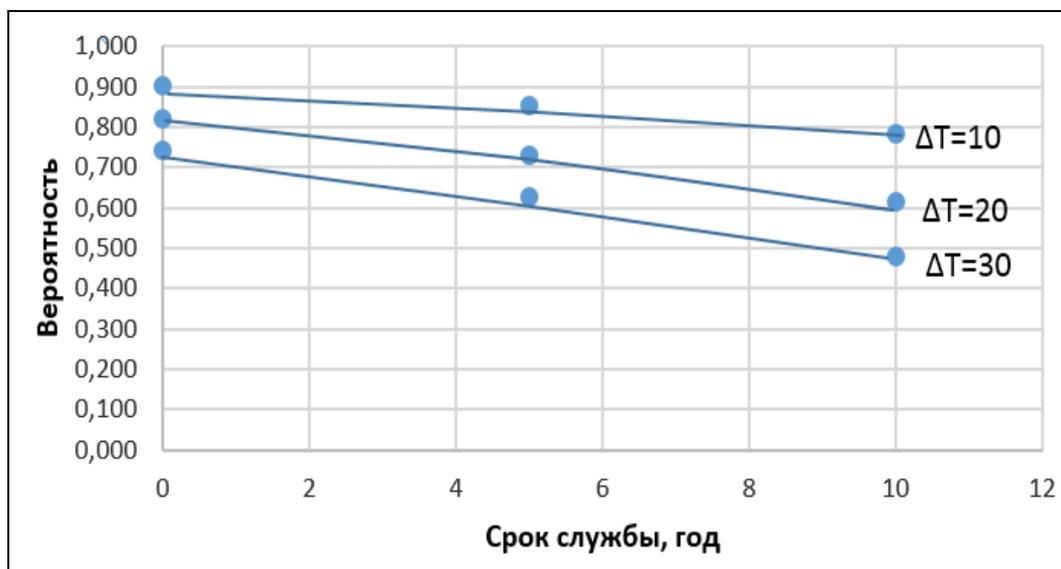


Рис. 7. Результаты расчета вероятности внезапных отказов при различном времени ΔT непрерывной работы на объекте

Fig. 7. Results of calculating the probability of sudden failures at different times ΔT of continuous operation at the facility

Приведенный метод расчета дает возможность получить значение большинства показателей надежности, описывающих техническое состояние машины, но является весьма трудоемким, поскольку требуется расчет по нескольким годам, перенос значений в таблицы, построение графиков и линий тренда. Ниже предлагается более простой вариант расчета вероятности пребывания машины в работоспособном состоянии, основанный на теории массового обслуживания (ТМО).

Рассмотрим диаграмму перехода технических состояний машины [20] (рис. 8). Индексы при S обозначают i -ые состояния: 0 – работоспособное; 1 – находится на ТО-1 (техническое обслуживание № 1); 2 – находится на ТО-2; 3 – находится на СО – сезонное техническое обслуживание; 4 – находится на ТО-3 и текущем ремонте (Т) (проводятся вместе согласно МДС 12.8-2007 [17]); 5 – находится на капитальном ремонте (К); 6 – находится в НР; 7 – находится на списании; 8 – находится в простое по организационным причинам; 9 – находится в очереди на обслуживание. Количество состояний не ограничено, может быть проведена более подробная градация.

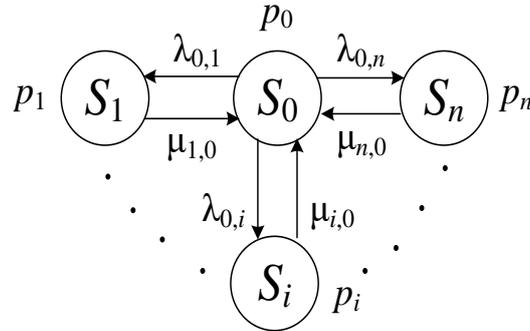


Рис. 8. Диаграмма состояний машины:

S – состояния; λ, μ – интенсивности отказов и восстановлений соответственно; p – вероятности; n – количество рассматриваемых состояний

Fig. 8. Machine state diagram:

S – states; λ, μ – failure and recovery rates, respectively; p – probabilities; n – number of states considered

Интенсивности переходов (отказов и восстановлений) прямо пропорциональны обратным величинам времени пребывания в соответствующем состоянии ($T_{от}$ – наработка на отказ, $T_{в}$ – время восстановления для i -го состояния):

$$\lambda_{0,i} = (T_{от_i})^{-1}; \mu_{i,0} = (T_{в_i})^{-1}, \tag{3}$$

Описанное изменение состояний машины представляет собой марковский случайный процесс с дискретными состояниями системы массового обслуживания (СМО) и непрерывным временем [20]. Для математического описания изменения состояний СМО используют уравнения Колмогорова [20], которые для описываемого случая имеют вид:

$$\begin{cases} p_0 \lambda_{0,1} = p_1 \mu_{1,0}; \\ \dots\dots\dots \\ p_0 \lambda_{0,i} = p_i \mu_{i,0}; \\ \dots\dots\dots \\ p_0 \lambda_{0,n} = p_n \mu_{n,0}; \\ p_0 \cdot p_1 \cdot \dots \cdot p_i \cdot \dots \cdot p_n = 1. \end{cases}$$

Решая систему уравнений, получим:

$$p_0 = \left(1 + \frac{\lambda_{0,1}}{\mu_{1,0}} + \dots + \frac{\lambda_{0,i}}{\mu_{i,0}} + \dots + \frac{\lambda_{0,n}}{\mu_{n,1}} \right)^{-1}; p_i = \frac{\lambda_{0,1}}{\mu_{i,0}} \cdot p_0. \tag{4}$$

Коэффициент готовности K_T определяется как вероятность того, что объект окажется в работоспособном состоянии в произвольный момент времени, кроме планируемых периодов, в течение которых применение объекта по назначению не предусматривается [8] (т.е. в

периоды плановых ТОиР). Поэтому K_T может быть рассчитан как вероятность пребывания машины в состояниях: работоспособном p_0 и в плановых технических обслуживаниях и ремонтах:

$$K_T = p_0 + \sum_1^5 p_i. \quad (5)$$

Коэффициент технического использования $K_{ти}$ рассматривается как отношение математического ожидания суммарного времени пребывания объекта в работоспособном состоянии за некоторый период эксплуатации к математическому ожиданию суммарного времени пребывания объекта в работоспособном состоянии и простоев, обусловленных техническим обслуживанием и ремонтом за тот же период [8]. Поэтому вероятность состояния нахождения машины в работоспособном состоянии p_0 можно рассматривать как $K_{ти}$.

	A	B	C	D	E	F
15		Расчет вероятностей состояний				
16		Машина работоспособна: $p_0 = 0,78534$				
17						
18			Номера состояний, i	Вероятности состояний		
19	Вид машин	Вид ТОиР				
20	Экскаваторы одноковшовые с гидравлическим приводом: на базе пневмоколесного трактора, 2-й размерной группы, с ковшом вместимостью 0,25—0,4 м ³	ТО-1	1	0,024		
21		ТО-2	2	0,009		
22		СО	3	0,006		
23		Т (в том числе: ТО-3)	4	0,031		
24		К	5	0,010		
25		НР	6	0,181		
26		Вероятность пребывания машины в неработоспособном состоянии		0,262		
27		Коэффициент готовности $K_T = p_0 + p_1 + \dots + p_5$		0,866		
28		Коэффициент технического использования $K_{ти} =$		0,785		

Рис. 9. Расчет показателей надежности по вероятностям состояний машин на первом году эксплуатации

Fig. 9. Calculation of reliability indicators based on the probabilities of machine states in the first year of operation

На рис. 9 представлены результаты расчета в *Excel* показателей надежности по вероятностям состояний машин в процессе эксплуатации на первом году эксплуатации. Количество состояний выбрано равным шести, что отвечает задаче исследования. Рис. 10 содержит графическое изображение решения уравнения (2) для различных сроков эксплуатации. Необходимо отметить, что оба варианта расчета дают одинаковые результаты расчета уровня работоспособности машин, так как рассматривают одни и те же состояния с одинаковыми интенсивностями перехода. В первом варианте для расчета p_0 используется та же формула (4), что и во втором, только не выраженная в явном аналитическом виде.

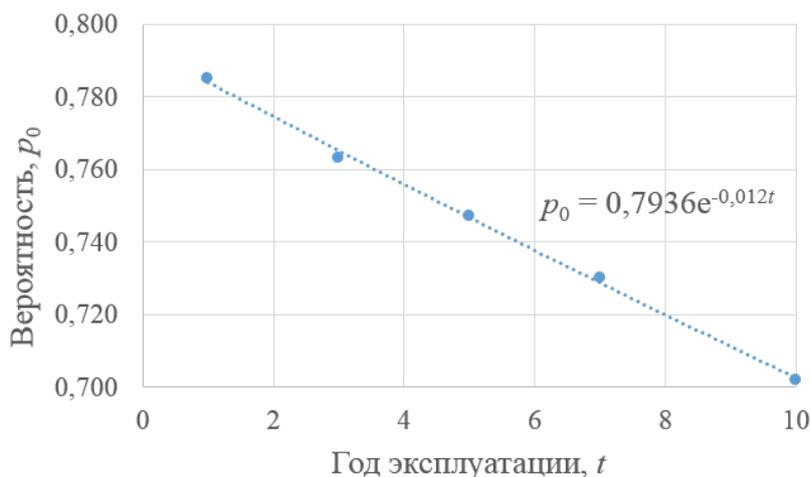


Рис. 10. Результаты расчета вероятности пребывания машины в работоспособном состоянии в зависимости от ее возраста

Fig. 10. Results of calculating the probability of a machine being in working condition depending on its age

Выводы

1. Разработанный метод оценки уровня работоспособности строительных транспортно-технологических машин позволяет рассчитать значение большинства показателей надежности, описывающих техническое состояние машины, в том числе, время нахождения в работоспособном состоянии в зависимости от ее возраста по имеющейся у предприятий эксплуатационной информации.
2. Метод предусматривает: анализ снижения годовой наработки машин вследствие проведения неплановых ремонтов, количество которых увеличивается с возрастом машины; корректировку количества годовых плановых мероприятий ТОиР вследствие сокращения годовой наработки; расчет показателей надежности на основании информации по простоям в ремонтах.
3. Метод реализуется в общедоступной математической среде *MS Excel*, прост в использовании и может применяться на предприятиях по эксплуатации транспортно-технологических машин строительства.
4. Метод может быть применен и для любых других технических объектов с использованием соответствующих нормативных документов по ТОиР.

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

Библиографический список

1. ГОСТ 27.002-2015. Надежность в технике. Термины и определения. – М.: Стандартинформ, 2016. – 22 с.
2. State Standard of Russia (2009). ГОСТ Р 27.001-2009 Надежность в технике (ССНТ). Система управления надежностью. – М.: Стандартинформ, 2010. – 9 с.
3. **Каракулев, А.В.** Организация технического обслуживания и ремонта машин в условиях Севера А.В. Каракулев, Г.Н. Кирилов. – Л.: Стройиздат, 1978. – 168 с.
4. **Моудрэй Д.** Техническое обслуживание, ориентированное на надежность. Книга RCM II / Д. Моудрэй – СПб: Надежная Книга, 2018. – 448 с.
5. **Jesus R.** Reliability Centered Maintenance / – Reengineered: Practical Optimization of the RCM Process with RCM-R. CRC Press / Jesus R. Sifonte, James V. Reyes-Picknell. 2017. – 349 p.

6. **Чечуев, В.Е.** Методика оптимизации парка машин крупной дорожно-строительной организации. Дисс на соиск уч степ канд техн наук по спец 05.05.04 – СПб: СПбГАСУ. 2022. – 168 с.
7. **Shao-Fei Jiang.** Structural Reliability Assessment by Integrating Sensitivity Analysis and Support Vector Machine / Shao-Fei Jiang, Da-Bao Fu, Si-Yao Wu // *Mathematical Problems in Engineering*. Volume 2014 (2014). Article ID 586191, 6 pages, <http://dx.doi.org/10.1155/2014/586191>.
8. **Repin, S.** Optimizing the service life of plant machinery and vehicles using information system for management of engineering status / S. Repin, S. Evtjukov, J. Rajczyk // *Architecture and Engineering*. 2016. 1(2). <http://aej.spb-gasu.ru/index.php/AE/article/view/30>.
9. **Repin, S.** Substantiation of the Replacement Interval of Construction Machines by the Target Reliability Level / S. Repin, A. Zazykin, N. Krotova // *Architecture and Engineering*. 2017. V. 2. № 1. Pp. 51-60.
10. **Иорш, В.И.** Управление ремонтами, ориентированное на надежность / В.И. Иорш, И.Э. Крюков, И.Н. Антоненко // *Промышленность и безопасность*. 2011. № 7. С. 50-53.
11. **Ефремов, Л.В.** Проблемы управления надежностью–ориентированной технической эксплуатацией машин / Л.В. Ефремов. – СПб.: Art-Хpress, 2015. – 206 с.
12. **Ицкович, А.А.** Обслуживание и ремонт авиационной техники по состоянию / А.А. Ицкович, Н.Н. Смирнов. – М.: Транспорт, 1980. – 232 с.
13. **Малкин, В.С.** Техническая эксплуатация автомобилей: Теоретические и практические аспекты: учебное пособие, В.С. Малкин. – М.: Издательский центр «Академия», 2007. – 288 с.
14. **Bujaczek*1, R.** Agricultural machines maintenance and repair services in Western Pomerania / R. Bujaczek*1, K. Sławiński1, A. Grieger // *Technical Sciences*. 2013 № 16 (1). Pp. 13-18.
15. **Антоненко, И.Н.** Об одной надежностной задаче и ее решении в информационной системе / И.Н. Антоненко, М.И. Беляков // *Автоматизация в промышленности*. 2015. № 8. С.18-21.
16. **Matvienko, G.** Modeling and fracture criteria in current problems of strength, survivability and machine safety // *Journal of Machinery Manufacture and Reliability*. 2014. V. 43. Issue 3. Pp. 242-249.
17. МДС 12-8.2007. Рекомендации по организации технического обслуживания и ремонта строительных машин. МДС 12-8.2007 / ЦНИИОМТП. – М.: ФГУП ЦПП, 2007. – 70 с.
18. МДС 12-13.2003. Механизация строительства. Годовые режимы работы строительных машин. МДС 12-13.2003/ ЦНИИОМТП. – М.: ФГУП ЦПП, 2003. – 28 с.
19. **Репин, С.В.** Надежность и эффективность эксплуатации транспортно-технологических машин / С.В. Репин, С.А. Евтюков, А.В. Зазыкин, К.В. Рулис – СПб.: «Петрополис», 2017. – 404 с.
20. **Саати, Т.Л.** Элементы теории массового обслуживания / Т.Л. Саати. – М.: Советское радио. – 1971. – 520 с.

*Дата поступления
в редакцию: 03.08.2023*

*Дата принятия
к публикации: 11.11.2023*