

Научная статья

DOI: 10.15593/24111678/2024.01.02

УДК 62-192: [656.5+625.08]

**Р.В. Каргин<sup>1,3</sup>, Е.А. Шемшура<sup>1,2,3</sup>**<sup>1</sup> Северо-Кавказский филиал ФАУ «РОСДОРНИИ», Ростов-на-Дону, Российская Федерация<sup>2</sup> Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М.И. Платова, Новочеркасск, Российская Федерация<sup>3</sup> Ростовский государственный университет путей сообщения (РГУПС), Ростов-на-Дону, Российская Федерация

## ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН

В процессе эксплуатации транспортно-технологических машин происходит ухудшение их технического состояния и потеря работоспособности, в том числе из-за внезапных отказов. Поддержанием и восстановлением работоспособного состояния машин занимаются службы технической эксплуатации предприятий путем применения различных стратегий технических воздействий в рамках системы технических обслуживаний и ремонтов. Оценка эффективности эксплуатации машин принято производить на основе фактических показателей надежности, основными из которых являются коэффициент готовности и средняя наработка между отказами, которые не в полной мере позволяют оценить уровень организации эксплуатации машин на предприятии. В данном исследовании для транспортно-технологических машин установлены варианты определения средней наработки между отказами и среднего времени восстановления работоспособного состояния в зависимости от технической или эксплуатационной производительности машины. На этой основе установлены четыре варианта определения коэффициента готовности транспортно-технологических машин, несущих различный технический смысл и характеризующих надежность машин в интенсивных условиях эксплуатации, при определенной стратегии технических воздействий и фактическом уровне организации технической эксплуатации на предприятии. В результате анализа показателей надежности транспортно-технологических машин разработано предложение о проведении оценки эффективности эксплуатации машин на предприятии по критерию надежности с учетом финансовых затрат на восстановление работоспособности машин после внезапных отказов на основании дополнительного критерия – «показателя весомости внезапного отказа» транспортно-технологических машин. Предлагаемый показатель учитывает коэффициент готовности, определенный на основании наработки между отказами по эксплуатационной производительности машины и общего времени восстановления ее работоспособного состояния, а также коэффициент, учитывающий размер затрат на восстановление работоспособности относительно балансовой стоимости машины. Показатель весомости внезапного отказа не противоречит общепризнанным теориям, в том числе теории риска, и может быть использован для оценки уровня надежности машин, обеспечиваемого принятой на предприятии стратегией технических воздействий в рамках системы технических обслуживаний и ремонтов.

**Ключевые слова:** надежность, отказ, транспортно-технологические машины, коэффициент готовности, показатель весомости внезапного отказа, риск, техническая эксплуатация.

**R.V. Kargin<sup>1,3</sup>, E.A. Shemshura<sup>1,2,3</sup>**<sup>1</sup> North Caucasus Branch of the FAI «ROSDORNII», Rostov-on-Don, Russian Federation<sup>2</sup> Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Novocherkassk, Russian Federation<sup>3</sup> Rostov State Transport University (RSTU), Rostov-on-Don, Russian Federation

## TECHNICAL AND ECONOMIC ASSESSMENT OF THE OPERATING EFFICIENCY OF TRANSPORT AND TECHNOLOGICAL MACHINES

During the operation of transport and technological machines, their technical condition deteriorates and their performance is lost, including due to sudden failures. Maintenance and restoration of the working condition of machines is carried out by the technical operation services of enterprises by applying various strategies of technical influences within the framework of the system of technical maintenance and repairs. It is customary to assess the efficiency of machine operation on the basis of actual reliability indicators, the main of which are the availability rate and the average time between failures, which do not fully allow one to assess the level of organization of machine operation at the enterprise. In the article, for transport and technological machines, options are established for determining the average time between failures and the aver-

age time to restore a working condition, depending on the technical or operational performance of the machine. On this basis, four options have been established for determining the readiness factor of transport and technological machines, which carry different technical meanings and characterize the reliability of machines in intensive operating conditions, under a certain strategy of technical influences and the actual level of organization of technical operation at the enterprise. As a result of the analysis of reliability indicators of transport and technological machines, a proposal was developed to assess the efficiency of operation of machines at an enterprise according to the reliability criterion, considering the financial costs of restoring the performance of machines after sudden failures based on an additional criterion – the “weight indicator of a sudden failure” of transport and technological machines. The proposed indicator considers the availability factor, determined on the basis of the time between failures in terms of the operational productivity of the machine and the total time to restore its working condition, as well as a coefficient that considers the amount of costs for restoring operability relative to the book value of the machine. The indicator of the weight of a sudden failure does not contradict generally accepted theories, including the theory of risk, and can be used to assess the level of machine reliability provided by the strategy of technical impacts adopted at the enterprise within the framework of the system of technical maintenance and repairs.

**Keywords:** reliability, failure, transport and technological machines, availability factor, sudden failure weight indicator, risk, technical operation.

За время выполнения работ по назначению транспортно-технологические машины (ТТМ) теряют свое первоначальное работоспособное состояние, их параметры надежности снижаются. Особое влияние на снижение работоспособности ТТМ и приведение их в неработоспособное, полностью неисправное состояние оказывают внезапные отказы. Причинами внезапных отказов, как правило, являются резкие изменения условий эксплуатации, а также увеличение внешних воздействий и нагрузок. Кроме этого, некоторые отказы возникают как следствие ухудшения общего технического состояния машин или нарушения режимов работы их агрегатов и узлов. Переход из работоспособного состояния в неработоспособное, то есть в состояние отказа, будет характеризоваться полной потерей возможности выполнять свои основные функции. Особенно опасно наступление такого состояния при отсутствии возможности быстро и с минимальными затратами восстановить работоспособность, устранив отказ.

На поддержание и восстановление работоспособного состояния направлена деятельность служб технической эксплуатации предприятий, на балансе которых находятся ТТМ. Основной объем работы будет заключаться в выполнении регламентных технических воздействий (ТВ) – плановых технических обслуживаний и ремонтов, выполняемых с определенной периодичностью. Проведение указанных видов работ будет снижать вероятность наступления внезапных отказов.

Под системой технического обслуживания и ремонта (ТОиР) понимается совокупность взаимосвязанных средств, документации технического обслуживания и ремонта и исполнителей, необходимых для поддержания и восстановления объектов, входящих в эту систему. Система ТОиР машин предусматривает проведение плановых технических обслуживаний (ежедневных, периодических и сезонных) и ремонтов (капитальных, средних и текущих).

ТОиР выполняют в том числе на основании результатов диагностирования технического состояния машин. По результатам диагностирования прогнозируется техническое состояние машины и ее остаточный ресурс, принимается решение о ее дальнейшей эксплуатации, определяется потребность в ТОиР. По результатам оценки фактического технического состояния машины может выполняться неплановое техническое обслуживание, а при потере работоспособности в результате отказа машины подвергаются неплановому ремонту.

### **Стратегии технических воздействий, направленных на восстановление работоспособности транспортно-технологических машин**

В настоящее время в рамках системы ТОиР машин различного назначения (строительной, дорожно-строительной, подъемно-транспортной техники и автотранспортных средств) разработаны различные стратегии ТВ [1–7], основными среди которых являются:

- стратегия ликвидации внезапных (аварийных) отказов;
- стратегия планово-предупредительных технических обслуживаний и ремонтов;
- стратегия единого технического обслуживания;
- стратегия технических обслуживаний и ремонтов по техническому состоянию.

Выбор той или иной стратегии ТВ на предприятии будет производиться на основе технико-экономического анализа вариантов с учетом ряда различных факторов: размер и состав парка ТТМ, оснащение базы технической эксплуатации предприятия различным технологическим оборудованием и специалистами, наличие в регионе профильных предприятий, специализирующихся на техническом обслуживании и ремонте.

### **Особенность определения показателей надежности для оценки эффективности эксплуатации транспортно-технологических машин**

Несмотря на разнообразие стратегий ТВ, направленных на обеспечение работоспособности ТТМ, в сложившейся практике технической эксплуатации оценку эффективности эксплуатации ТТМ на том или ином предприятии, эксплуатирующем парк машин и имеющем оснащенную ремонтную базу, принято основывать на таких показателях надежности, как коэффициент готовности, средняя наработка между отказами (средний пробег между отказами), коэффициент выхода на линию и другими.

Параметры надежности ТТМ наиболее полно отражают уровень планирования и организации технической эксплуатации на предприятии. Одним из универсальных и комплексных показателей надежности ТТМ является коэффициент готовности, который оценивают как вероятность нахождения машины в работоспособном состоянии в произвольный момент времени между ее нахождением в состоянии плановых технических воздействий по поддержанию и восстановлению работоспособности. Общепринятая формула (1) для определения коэффициента готовности имеет вид [8–11]:

$$K_T = T_o / (T_o + T_b), \quad (1)$$

где  $T_o$  – средняя наработка (средний пробег) ТТМ между случайными (внезапными) отказами;  $T_b$  – среднее время восстановления работоспособного состояния ТТМ при случайном (внезапном) отказе.

Средняя наработка (средний пробег) между отказами ТТМ может быть определена с применением технической или эксплуатационной производительности ТТМ. Средняя наработка (средний пробег), определенная на основе технической производительности ТТМ, будет являться наработкой (пробегом) между отказами за чистое время эксплуатации (нахождения в наряде) ТТМ ( $T_T$ ). Тогда средняя наработка (средний пробег), определенная на основе эксплуатационной производительности, – наработкой (пробегом) между отказами за общее время работы (время работы на линии) ТТМ ( $T_3$ ) с учетом времени, затраченного на осмотр, заправку и т. п.

Кроме этого, возможны и различные варианты определения среднего времени восстановления работоспособного состояния ТТМ. В общем случае среднее время восстановления будет включать в себя:

- время ожидания ремонта ТТМ –  $t_{ож}$ ;
- время обнаружения отказавшего агрегата, узла, детали –  $t_{обн}$ ;
- время, затраченное на ожидание поставки запасных частей или ремонт отказавшей детали, узла, агрегата, –  $t_{пз}$ ;
- время, затраченное непосредственно на устранения внезапного отказа, –  $t_{ну}$ .

Такие составляющие времени восстановления работоспособного состояния, как время обнаружения отказавшей части ТТМ  $t_{обн}$  и время непосредственного устранения случайного отказа  $t_{нв}$ , зависят от технического уровня машины. Другие составляющие, такие как время ожидания ремонта  $t_{ож}$  и поставки запасных частей  $t_{пз}$ , будут определяться в зависимости от системы ТОиР и стратегии ТВ на предприятии.

Следовательно, допускается различать следующие разновидности времени восстановления работоспособного состояния ТТМ:

- среднее общее время восстановления работоспособности, определяемое по формуле (2):

$$T_{овр} = t_{ож} + t_{обн} + t_{пз} + t_{ну}. \quad (2)$$

– среднее технически необходимое время восстановления внезапного отказа, определяемое по формуле (3):

$$T_{\text{твр}} = t_{\text{обн}} + t_{\text{ну}}. \tag{3}$$

Рассмотрим, как влияют различные способы определения средней наработки между отказами и среднего времени восстановления работоспособного состояния на коэффициент готовности ТТМ. Варианты определения коэффициента готовности представлены в табл. 1. Коэффициенты готовности ТТМ, определенные по общему и технически необходимому времени восстановления, несут различный технический смысл. Коэффициент готовности, определенный по общему времени восстановления работоспособности  $T_{\text{овр}}$ , будет характеризовать надежность ТТМ, восстанавливающей работоспособность в условиях фактической (принятой на предприятии) стратегии ТВ.

Таблица 1

Система вариантов определения коэффициента готовности транспортно-технологических машин

Вариант определения коэффициента готовности	Формула для определения	Характеристика коэффициента готовности
Коэффициент готовности, определенный с учетом технической производительности ТТМ, – $K'_{\text{гт}}$	$K'_{\text{гт}} = \frac{T_{\text{т}}}{T_{\text{т}} + T_{\text{твр}}}$	Максимально возможное значение показателя, характеризующее интенсивную эксплуатацию ТТМ
	$K''_{\text{гт}} = \frac{T_{\text{т}}}{T_{\text{т}} + T_{\text{овр}}}$	Значение показателя, характеризующее условия интенсивной эксплуатации ТТМ и фактическую стратегию ТВ на предприятии
Коэффициент готовности, определенный с учетом эксплуатационной производительности ТТМ, – $K'_{\text{гэ}}$	$K'_{\text{гэ}} = \frac{T_{\text{э}}}{T_{\text{э}} + T_{\text{твр}}}$	Максимально возможное значение показателя, характеризующие фактическую организацию работ на предприятии
	$K''_{\text{гэ}} = \frac{T_{\text{э}}}{T_{\text{э}} + T_{\text{овр}}}$	Показатель, характеризующий реальные условия эксплуатации разнотипных ТТМ, как по назначению, так и организации ТОиР на предприятии

В свою очередь, коэффициент готовности, определенный по технически необходимому времени восстановления  $T_{\text{твр}}$ , характеризует надежность ТТМ при организации ТОиР, исключаящей простой машин из-за ожидания выдачи в ремонт, а также доставки запасных частей или ремонта деталей.

Представленные варианты коэффициента готовности могут быть определены на основании одной и той же информации, полученной в результате наблюдений за надежностью ТТМ. Для объективного сравнения эффективности эксплуатации разнотипных ТТМ по показателям надежности следует использовать коэффициент  $K'_{\text{гт}}$ , так как составляющие для определения указанного коэффициента характеризуют только конструктивную работоспособность и ремонтпригодность ТТМ, без учета влияния существующего уровня организации работ на предприятии. Коэффициент  $K''_{\text{гэ}}$  рекомендуется использовать только для количественной оценки показателей надежности разнотипных ТТМ, работающих в сходных условиях эксплуатации.

### Определение нового критерия оценки эффективности эксплуатации транспортно-технологических машин

Для оценки уровня организации эксплуатации ТТМ на предприятии не всегда достаточно использовать только коэффициент готовности и/или другие показатели надежности. Приведем пример: на предприятии для определенного вида и марки ТТМ рассчитанный коэффициент готовности равен 0,75. Допустимо ли считать его достаточным для определенных конструкций машины и условий эксплуатации? Предположим, что, инвестировав некоторую сумму денежных средств в развитие службы технической эксплуатации и ремонтной базы предприятия, сле-

дует ожидать повышение коэффициент готовности до 0,88. Но при этом возникают вопросы об оптимальности соотношения размера капитальных вложений и достигнутого уровня надежности, целесообразности затрат на восстановление работоспособного состояния. Заметим, что использование только технических показателей или показателей надежности в вопросах приобретения и дальнейшего использования различных ТТМ не позволяет принимать обоснованные решения. Так, коэффициент готовности машин с различными значениями средней наработки на отказ и среднего времени восстановления внезапных отказов может быть одинаков. То есть, допустим, машина может приходить в неработоспособное состояние через достаточно короткие промежутки времени, что неприемлемо при срочных работах или на дальних дистанциях, но при этом обладает хорошей ремонтпригодностью. Или машина, имея большую величину наработки на отказ, на свое восстановление работоспособного состояния требует также значительного времени. В этом случае считаем, что объективным показателем, будут являться затраты на эксплуатацию ТТМ, отнесенные к объему выполненной ими работы.

Следовательно, оценку эффективности системы эксплуатации машин предприятия по критерию надежности считаем целесообразным проводить с учетом финансовых затрат на восстановление их работоспособности после внезапных отказов, используя дополнительный критерий – показатель весомости внезапного отказа транспортно-технологических машин ( $k_v$ ). Для вывода предложенного показателя будем использовать коэффициент готовности  $K_{г3}''$ , который следует применять для сравнения разнотипных ТТМ по показателям надежности, а также для оценки уровня организации ТОиР на предприятии.

Формула (4) для определения показателя весомости внезапного отказа имеет вид:

$$k_v = K_{г3}''^{-1} \cdot \Delta, \quad (4)$$

где  $K_{г3}''$  – коэффициент готовности, определенный с учетом эксплуатационной производительности и общего времени восстановления работоспособного состояния ТТМ;  $\Delta$  – коэффициент, учитывающий размер затрат на восстановление работоспособного состояния ТТМ ( $Z_{вр}$ ) относительно балансовой стоимости машины ( $C_{ТТМ}$ ), определяется по формуле (5):

$$\Delta = Z_{вр} / C_{ТТМ}. \quad (5)$$

Полная формула (6) для определения показателя весомости внезапного отказа имеет вид:

$$k_v = \frac{T_3 + T_{овр}}{T_3} \cdot \frac{Z_{вр}}{C_{ТТМ}}. \quad (6)$$

Приведенный показатель возможен к применению при оценке как одного наступившего внезапного отказа отдельного узла или агрегата ТТМ, так и для оценки всей ТТМ в комплекте.

### **Применимость разработанного показателя с точки зрения теории рисков**

Следует отметить, что введение показателя весомости внезапного отказа считается целесообразным не только исходя из экономической обоснованности, но также и с позиции теории риска. Понятие риска применительно к внезапному отказу будет включать в себя две составляющих: частоту, с которой происходит отказ (опасное событие), и последствия отказа (восстановление работоспособности). Количественная оценка риска заключается в оценке численных значений вероятности и последствий опасных событий, в нашем случае – внезапных отказов.

Термин «технический риск» трактуют как комплексный показатель надежности технических объектов, определяющий вероятность наступления аварии при их эксплуатации [12–16]. Понятие «степень риска»  $R$  включает в себя вероятность наступления нежелательного события с учетом размера возможного ущерба, которое это событие нанесет. Степень риска можно представить формулой (7) в виде математического ожидания величины ущерба (средний ущерб) от наступления опасного события:

$$R(m) = \sum_{i=1}^n p_i \cdot m_i, \tag{7}$$

где  $p_i$  – вероятность наступления события, которое может нанести экономический ущерб;  $m_i$  – случайная величина размера ущерба.

Как правило, теорию риска применяют для комплексной оценки безопасности деятельности человека, в том числе при эксплуатации ТТМ, и в ней также находятся предпосылки для вывода показателя весомости внезапных отказа:

- во-первых, внезапный отказ ТТМ представляет собой событие, заключающееся в прекращении выполнения им своей основной функции (отрывки и транспортирования грунта, перевозки грузов и т.п.), а также в появлении опасной ситуации – риска возникновения аварии на производстве (дорожно-транспортного происшествия);

- во-вторых, вероятность наступления внезапного отказа ТТМ оценивается как величина, обратная коэффициенту готовности, характеризующего вероятность события, при котором машина будет работоспособна в произвольно выбранный момент времени;

- в-третьих, величина ущерба от наступления внезапного отказа определяется в основном затратами на восстановление работоспособного состояния ТТМ.

Таким образом, предлагаемый показатель весомости внезапного отказа не противоречит общепризнанным теориям и может быть использован для оценки уровня надежности ТТМ, обеспечиваемого принятой стратегией ТВ на предприятии. В качестве примера приведем отдельные значения для определения предложенного показателя (табл. 2).

Таблица 2

Значения показателя весомости внезапного отказа  $k_b$  ТТМ

$\Delta$	Показатель весомости внезапного отказа $k_b$ при коэффициенте готовности $K_{г3}$ ТТМ					
	0,125	0,216	0,343	0,512	0,729	1
0,05	0,400	0,232	0,146	0,098	0,069	0,050
0,10	0,800	0,463	0,292	0,195	0,137	0,100
0,15	–	0,694	0,437	0,293	0,206	0,150
0,20	–	0,926	0,583	0,391	0,274	0,200
0,25	–	–	0,729	0,488	0,343	0,250
0,30	–	–	0,875	0,586	0,412	0,300
0,35	–	–	–	0,684	0,480	0,350
0,40	–	–	–	0,781	0,549	0,400
0,45	–	–	–	0,879	0,617	0,450
0,50	–	–	–	0,977	0,686	0,500

Примечание: значения коэффициента весомости внезапного отказа, равные 1 и более, принадлежат к случаям, не рассматриваемым с точки зрения технико-экономической целесообразности.

Графическое представление данных табл. 2 для определения  $k_b$  в зависимости от коэффициентов  $K_{г3}$  и  $\Delta$  приведено на рисунке.

Результаты моделирования показателя весомости внезапного отказа показывают, что с увеличением коэффициента готовности при одной и той же относительной величине затрат на восстановление работоспособного состояния показатель весомости внезапного отказа будет снижаться. Уменьшение относительных затрат при неизменном коэффициенте готовности также приводит к снижению показателя весомости внезапного отказа. Минимальные значения показателя весомости внезапного отказа соответствуют высоким показателям надежности ТТМ при высоком уровне организации работы службы технической эксплуатации предприятия.

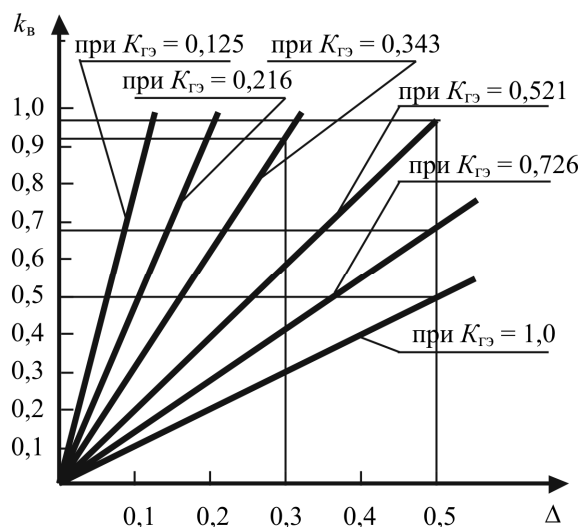


Рис. График оценки весоности внезапного отказа ТТМ

В примере определения значений разработанного показателя весоности внезапного отказа ТТМ приняты следующие ограничения и допущения:

- максимальные затраты на восстановление работоспособного состояния ТТМ не должны превышать половины балансовой стоимости машины;

- коэффициент готовности ТТМ определялся на основании коэффициентов готовности трех основных элементов ТТМ, лимитирующих надежность: рабочего оборудования, ходовой части, гидравлической системы;

- при определении коэффициента готовности принята система элементов с последовательным соединением, и значения коэффициента готовности элементов приняты условно одинаковыми. Так, коэффициент готовности системы из трех последовательно соединенных элементов с коэффициентами готовности, равными 0,6, равен 0,216;

- к рассмотрению не принимаются отказы с показателем весоности, равным единице и более. Так как при таких отказах возникают два неприемлемых с точки зрения эффективности варианта эксплуатации: либо затраты на восстановление работоспособного состояния превышают балансовую стоимость ТТМ, либо установлен недопустимо низкий уровень надежности ТТМ.

### Заключение

Таким образом, на основании анализа показателей надежности на примере коэффициента готовности предложено для оценки эффективности эксплуатации ТТМ в условиях принятой стратегии технических воздействий, направленной на поддержание машин в работоспособном состоянии, применять дополнительный критерий – показатель весоности внезапных отказов, который одновременно учитывает готовность ТТМ к работе и относительные затраты времени и средств на восстановление ее работоспособного состояния.

Предлагаемый к применению показатель может быть использован для принятия обоснованного решения при сравнении ТТМ с одинаковыми комплексными показателями надежности, так как характеризует и фактическую работоспособность машин, и существующую систему технического обслуживания и ремонтов.

Полученные значения показателя весоности внезапного отказа для конкретных значений коэффициента готовности могут быть использованы для обеспечения более рациональных и обоснованных подходов на этапе предпроектной проработки вопросов выбора средств механизации технологических процессов в заданных условиях эксплуатации.

## Список литературы

1. Андреева, Л.И. Выбор стратегии ремонтного обслуживания горной техники // Известия высших учебных заведений / Л.И. Андреева // Горный журнал. – 2021. – № 4. – С. 83–91. DOI: 10.21440/0536-1028-2021-4-83-91.
2. Доровских, Д.В. Анализ современных стратегий и тактик систем технического обслуживания и ремонта подвижного состава автомобильного транспорта / Д.В. Доровских, И.Ю. Доровских // Проблемы и перспективы инновационного развития АПК: матер. междунар. науч.-практ. конф. – Тамбов: Студия печати Галины Золотовой, 2020. – С. 161–166.
3. Соломашкин, А.А. Стратегии технического обслуживания и ремонта машин / А.А. Соломашкин // Труды ГОСНИТИ. – 2017. – Т. 128. – С. 145–151.
4. Маркин, И.Н. Стратегии эксплуатации и организации системы технического обслуживания и ремонта сложных технических систем / И.Н. Маркин // Наука и техника транспорта. – 2016. – № 3. – С. 53–55.
5. Назарова, Е.А. Стратегии технического обслуживания и ремонта технологических машин / Е.А. Назарова // Инновации на транспорте и в машиностроении: материалы междунар. науч.-практ. конф. – СПб.: Изд-во Нац. минерально-сырьевого ун-та «Горный», 2015. – С. 35.
6. Кокорев, Г.Д. Стратегии технического обслуживания и ремонта автомобильного транспорта / Г.Д. Кокорев, И.А. Успенский, И.Н. Николотов // Мир транспорта и технологических машин. – 2009. – № 3 (26). – С. 10–14.
7. Носенко, А.С. Анализ развития систем обслуживания и ремонта отечественных подъемно-транспортных, строительных, дорожных и коммунальных машин / А.С. Носенко, В.Г. Хазанович, Е.А. Шемшура // Сервис транспортных и технологических машин: сборник научных трудов. – Новочеркасск: Изд-во Южно-Российского госуд. политехн. ун-та (НПИ) имени М.И. Платова, 2009. – С. 5–10.
8. Куляшов, И.Д. Влияние видов эксплуатации на эффективность и надежность парка строительных машин / И.Д. Куляшов, В.Е. Чечуев, К.О. Кравец // Фундаментальные основы механики. – 2023. – № 11. – С. 80–89. DOI: 10.26160/2542-0127-2023-11-80-89.
9. Кузнецов, С.М. Обоснование надежности работы механизмов, машин, комплектов, комплексов и систем / С.М. Кузнецов // Вопросы устойчивого развития общества. – 2021. – № 1. – С. 221–230. DOI: 10.34755/IROK.2021.38.80.003.
10. Кузнецов, С.М. Влияние коэффициента готовности экскаваторов на организационно-технологическую надежность производства работ / С.М. Кузнецов, Н.В. Глотов, А.О. Ламанова // Вопросы устойчивого развития общества. – 2020. – № 10. – С. 544–548. DOI: 10.34755/IROK.2020.84.73.177.
11. Мамедова, Э.К. Коэффициент технической готовности и эффективность использования машин / Э.К. Мамедова // Проблемы функционирования систем транспорта: материалы междунар. науч.-практ. конф. – Тюмень: Изд-во Тюмен. госуд. нефтегаз. ун-та, 2010. – С. 223–225.
12. Кочетков, А.В. Оценка степени риска – основа технического нормирования в техническом регулировании дорожного хозяйства / А.В. Кочетков, Ж.Н. Кадыров, Ш.Н. Валиев // Техническое регулирование в транспортном строительстве. – 2015. – № 4 (12). – С. 87–100.
13. Developing a system for the initiation of projects using a Markov chain / V. Gogunskii, A. Bochkovskii, A. Moskaliuk [et al.] // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – Vol. 1, no. 3 (85). – P. 25–32. DOI: 10.15587/1729-4061.2017.90971.
14. Недосекин, А.О. Нечетко-вероятностная модель для оценки рисков ответственных технических систем / А.О. Недосекин, З.И. Абдулаева, Д.П. Макаренко // Информация и космос. – 2018. – № 1. – С. 92–99.
15. Тимошенко, С.П. Надежность технических систем и техногенный риск / С.П. Тимошенко, Б.М. Симонов, В.Н. Горошко. – М: Из-во Юрайт, 2023. – 502 с.
16. Рыков, В.В. Надежность технических систем и техногенный риск / В.В. Рыков, В.Ю. Иткин. – М: Научно-издательский центр ИНФРА-М, 2016. – 240 с.



## References

1. Andreeva L.I. Vybor strategii remontnogo obsluzhivaniya gornoj tekhniki [Choosing a mining equipment repair strategy]. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Gornyj zhurnal*, 2021. no. 4, pp. 83-91. doi: 10.21440/0536-1028-2021-4-83-91.
2. Dorovskih D.V., Dorovskih I.YU. Analiz sovremennyh strategij i taktik sistem tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta podvizhnogo sostava avtomobil'nogo transporta [Analysis of modern strategies and tactics of maintenance and repair systems for road transport rolling stock]. *Materialy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii "Problemy i perspektivy innovacionnogo razvitiya APK"*. Tambov: Studiya pečhati Galiny Zolotovoj, 2020, pp. 161-166.
3. Solomashkin A.A. Strategii tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta mashin [Machine Maintenance and Repair Strategies]. *Trudy GOSNITI*, 2017, no. 128, pp. 145-151.
4. Markin I.N. Strategii ekspluatcii i organizacii sistemy tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta slozhnyh tekhnicheskikh sistem [Strategies for operating and organizing a maintenance and repair system for complex technical systems]. *Nauka i tekhnika transporta*, 2016, no. 3, pp. 53-55.
5. Nazarova E.A. Strategii tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta tekhnologicheskikh mashin [Strategies for maintenance and repair of technological machines]. *Materialy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii "Innovacii na transporte i v mashinostroenii"*. – SPb: Nacional'nyj mineral'no-syr'evoj universitet «Gornyj», 2015, p. 35.
6. Kokorev G.D., Uspenskij I.A., Nikolotov I.N. Strategii tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta avtomobil'nogo transporta [Strategies for vehicle maintenance and repair]. *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*, 2009, no. 3 (26), pp. 10-14.
7. Nosenko A.S., Hazanovich V.G., Shemshura E.A. Analiz razvitiya sistem obsluzhivaniya i remonta otechestvennyh pod"emno-transportnyh, stroitel'nyh, dorozhnyh i kommunal'nyh mashin [Analysis of the development of maintenance and repair systems for domestic lifting and transport, construction, road and municipal machines]. *Sbornik nauchnyh trudov "Servis transportnyh i tekhnologicheskikh mashin"*. Novočerkassk: YUzhno-Rossijskij gosudarstvennyj politekhnicheskij universitet (NPI) imeni M.I. Platova, 2009, pp. 5-10.
8. Kulyashov I.D., CHEchuev V.E., Kravec K.O. Vliyanie vidov ekspluatcii na effektivnost' i nadyozhnost' parka stroitel'nyh mashin [The influence of types of operation on the efficiency and reliability of the construction machinery fleet]. *Fundamental'nye osnovy mekhaniki*, 2023, no. 11, pp. 80-89. doi: 10.26160/2542-0127-2023-11-80-89.
9. Kuznecov S.M. Obosnovanie nadezhnosti raboty mekhanizmov, mashin, komplektov, kompleksov i sistem [Justification of the reliability of the operation of mechanisms, machines, kits, complexes and systems]. *Voprosy ustojchivogo razvitiya obshchestva*, 2021, no. 1, pp. 221-230. doi: 10.34755/IROK.2021.38.80.003.
10. Kuznecov S.M., Glotov N.V., Lamanova A.O. Vliyanie koefficienta gotovnosti ekskavatorov na organizacionno-tekhnologicheskuyu nadezhnost' proizvodstva rabot [The influence of excavator availability on the organizational and technological reliability of work]. *Voprosy ustojchivogo razvitiya obshchestva*, 2020, no. 10, pp. 544-548. doi: 10.34755/IROK.2020.84.73.177.
11. Mamedova, E.K. Koefficient tekhnicheskoi gotovnosti i effektivnost' ispol'zovaniya mashin [Technical readiness coefficient and efficiency of machine use]. *Materialy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii "Problemy funkcionirovaniya sistem transporta"*. Tyumen': Tyumenskij gosudarstvennyj neftegazovyj universitet, 2010, pp. 223-225.
12. Kochetkov A.V., Kadyrov ZH.N., Valiev SH.N. Ocenka stepeni riska - osnova tekhnicheskogo normirovaniya v tekhnicheskome regulirovanii dorozhnogo hozyajstva [Risk assessment is the basis of technical standardization in the technical regulation of road facilities]. *Tekhnicheskoe regulirovanie v transportnom stroitel'stve*, 2015, no. 4 (12), pp. 87-100.
13. Developing a system for the initiation of projects using a Markov chain / V. Gogunskii, A. Bochkovskii, A. Moskaliuk [et al.], 2017, *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (85), pp. 25-32. doi: 10.15587/1729-4061.2017.90971.
14. Nedosekin A.O., Abdulaeva Z.I., Makarenko D.P. Nechyotko-veroyatnostnaya model' dlya ocenki riskov otvetstvennyh tekhnicheskikh sistem [Fuzzy-probabilistic model for risk assessment of critical technical systems]. *Informaciya i kosmos*, 2018, no. 1, pp. 92-99.
15. Timoshenkov S.P., Simonov B.M., Goroshko V.N. Nadezhnost' tekhnicheskikh sistem i tekhnogennyj risk [Reliability of technical systems and man-made risk]. Moscow, YUrajt, 2023, 502 p.
16. Rykov V.V., Itkin V.YU. Nadezhnost' tekhnicheskikh sistem i tekhnogennyj risk [Reliability of technical systems and man-made risk]. Moscow, INFRA-M, 2016. – 240 p.

## Об авторах

**Каргин Роман Владимирович** (Ростов-на-Дону, Российская Федерация) – кандидат технических наук, заместитель директора Северо-Кавказского филиала ФАУ «РОСДОРНИИ» (Российская Федерация, 344064, г. Ростов-на-Дону, Вавилова, 61, e-mail: Kargin@rosdornii.ru), доцент кафедры «Эксплуатация и ремонт машин» ФГБОУ ВО РГУПС.

**Шемшуря Елена Анатольевна** (Ростов-на-Дону, Российская Федерация) – кандидат технических наук, начальник отделения научно-технического развития Северо-Кавказского филиала ФАУ «РОСДОРНИИ» (Российская Федерация, 344064, г. Ростов-на-Дону, Вавилова, 61, e-mail: shemshura@rosdornii.ru), доцент кафедры «Эксплуатация и ремонт машин» ФГБОУ ВО РГУПС, доцент кафедры «Механизация и автоматизация автодорожной отрасли» Шахтинского автодорожного института ЮРГПУ (НПИ) им. М.И. Платова.

**About the authors**

**Roman V. Kargin** (Rostov-on-Don, Russian Federation) – Candidate of Technical Sciences, Deputy Director of the North Caucasus Branch of the FAI «ROSDORNII» (61, Vavilova, Rostov-on-Don, 344064, Russian Federation, e-mail: Kargin@rosdornii.ru), Associate Professor of the Department of Operation and Repair of Machines, Rostov State Transport University (RSTU).

**Elena A. Shemshura** (Rostov-on-Don, Russian Federation) – Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of Scientific and Technical Development of the North Caucasus Branch of the FAI «ROSDORNII» (61, Vavilova, Rostov-on-Don, 344064, Russian Federation, e-mail: shemshura@rosdornii.ru), Associate Professor of the Department of Operation and Repair of Machines, Rostov State Transport University (RSTU), Associate Professor of the Department Mechanization and Automation of the road industry of the Shakhty Road Institute of the Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI).

**Финансирование.** Исследование не имело спонсорской поддержки.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Вклад авторов** равноценен.

Поступила: 09.11.2023

Одобрена: 23.11.2023

Принята к публикации: 17.05.2024

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом: Каргин, Р.В. Технико-экономическая оценка эффективности эксплуатации транспортно-технологических машин / Р.В. Каргин, Е.А. Шемшура // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2024. – № 1. – С. 16–25. DOI: 10.15593/24111678/2024.01.02

Please cite this article in English as: Kargin R.V., Shemshura E.A. Technical and economic assessment of the operating efficiency of transport and technological machines. *Transport. Transport facilities. Ecology*, 2024, no. 1, pp. 16–25. DOI: 10.15593/24111678/2024.01.02