

УДК 629.331

**Махмутов Марат Мансурович**

кандидат технических наук, доцент

E-mail: [maratmax@yandex.ru](mailto:maratmax@yandex.ru)

**Мухаметшина Румия Мугаллимовна**

кандидат химических наук, доцент

E-mail: [rumya211@yandex.ru](mailto:rumya211@yandex.ru)

**Земдиханов Минсур Миналимович**

кандидат технических наук, доцент

E-mail: [mr.minsur@mail.ru](mailto:mr.minsur@mail.ru)

**Казанский государственный архитектурно-строительный университет**

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

**Зарипов Арслан Маратович**

инженер-конструктор

E-mail: [arzar744@gmail.com](mailto:arzar744@gmail.com)

**Казанский крановый завод «Гертек»**

Адрес организации: 420099, Россия, г. Казань, ДНТ «Паландия», ул. Паландия, зд. 91

### Обеспечение надежности машин при дорожном строительстве

#### Аннотация

*Постановка задачи.* Цель исследования – выявить показатели надежности машин и эффективности работы всех структурных подразделений эксплуатационных предприятий, обеспечивающих техническое обслуживание и ремонт машин.

*Результаты.* По результатам экспериментальных исследований, получены зависимости периодичности технического обслуживания по допустимому уровню безотказности. Были построены графики изменения параметра технического состояния по его допустимому значению.

*Выводы.* Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в получении функции изменения интенсивности отказов в зависимости от времени. По результатам численных экспериментов можно получить единую регрессионную функцию для вычисления интенсивности отказов.

**Ключевые слова:** надежность, дорожно-строительная техника, наработка, эксплуатация, техническое обслуживание.

#### Введение

От показателей надежности основных узлов и деталей зависит уровень технического обслуживания строительной техники. Важное место в системе обеспечения надежности машин занимает стадия эксплуатации. Затраты на техническое обслуживание (ТО) за период эксплуатации в 3-4 раза превышают стоимость машины [1-3].

Существующая в настоящее время система обеспечения надежности не позволяет реализовывать высокие показатели технической надежности дорожно-строительных машин. Это ведет к значительным технико-экономическим потерям и снижению конкурентоспособности отечественной дорожно-строительной техники в сравнении с импортными аналогами. Актуальность этой проблемы усиливается и из-за диверсификации транспортных предприятий в связи с необходимостью импортозамещения зарубежной дорожно-строительной техники отечественными машинами [4, 5].

Для обеспечения надежного и безопасного функционирования машин необходимы мероприятия по поддержанию высоких показателей их долговечности и безотказности. На рис. 1 представлены основные направления обеспечения надежности при эксплуатации дорожных машин.

Перечень мероприятий по обеспечению надежности на стадии зависит от вида техники и условий их использования.

Основой технической политики, сложившейся в зарубежной практике, является постоянное повышение эффективности работ по техническому обслуживанию и ремонту техники для увеличения ее ресурса.

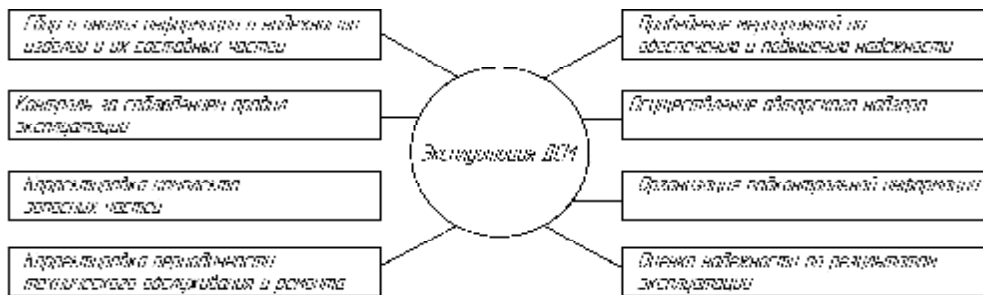


Рис. 1. Основные направления обеспечения надежности при эксплуатации дорожно-строительных машин (иллюстрация автора)

Перспективным способом совершенствования системы обеспечения надежности при эксплуатации дорожно-строительных машин является использование диагностического оборудования. В теории надежности при расчете группы одинаковых изделий частота отказов обычно рассчитывается для одного рабочего изделия в группе и характеризуется интенсивностью отказов  $\lambda$ .

**Результаты исследований и их обсуждение**

По статистическим данным эксплуатации невосстанавливаемых изделий интенсивность отказов можно определить:

$$\lambda = \frac{n}{t \cdot N_p} \left[ \frac{\text{отк}}{\text{час}} \right], \tag{1}$$

где  $n$  – количество отказов в группе;  
 $N_p$  – количество работоспособных изделий;  
 $n/t$  – частота отказов.

В группе одинаковых невосстанавливаемых изделий в расчете на одно исходное испытуемое изделие берется функция  $f(t)$  и определится по формуле:

$$f = \frac{n}{t \cdot N} \left[ \frac{\text{отк}}{\text{час}} \right], \tag{2}$$

где  $N$  – число работоспособных изделий в группе.

Среднее время безотказной работы  $T$  характеризует наработку изделия до наступления отказа. Из теории статистики известно, что математическое ожидание можно определить формулой:

$$T_{\text{ср.}} = \sum_i^k \frac{t_i \cdot n_i}{N_0}, \tag{3}$$

где  $n_i$  – количество отказов в группе за время  $t$ ;  
 $N_0$  – общее число испытуемых изделий.

В теории вероятности функция называется функцией плотности вероятности случайной величины  $T$ , а в теории надежности – функцией плотности расположения на оси времени  $t$  реализаций случайной величины  $T$  по данным испытаний (рис. 2).

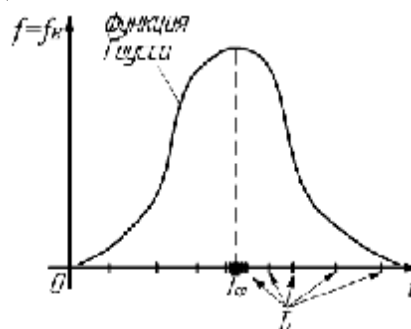


Рис. 2. Функция  $f_n$  при нормальном законе распределения случайной величины  $T$  [2]

Возвращаясь к характеристике, отметим, что на второй стадии эксплуатации величина  $\lambda = \text{const}$ . По мере старения техники из-за износа, коррозии, начинается 3-я стадия эксплуатации – стадия износовых (постепенных) отказов – их предпосылки развиваются постепенно.

Покажем график изменения интенсивности отказов по всем трём стадиям эксплуатации техники (рис. 3).

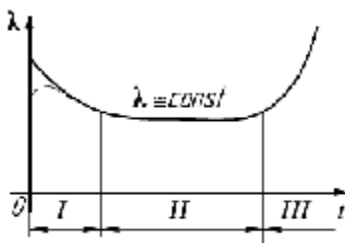


Рис. 3. Этапы эксплуатации технических систем [5]

Профессор Проников А.С. предложил термин «потенциальные» отказы техники для тех отказов, которые ещё не произошли, но уже ожидаются. Данный термин применяется при проведении планово-предупредительного ремонта для предупреждения таких назревающих отказов [5, 6].

Риски узлов дорожно-строительной машины определяются формулой:

$$N_p = \sum n_p \cdot k, \tag{4}$$

где  $N_p$  – максимальное количество рисков,

$\sum n_p$  – максимальное число рисков детали, привода, механизма и так далее,

$k$  – количество деталей, узлов, механизмов, приводов и так далее, в зависимости от масштабов определения рисков.

На рис. 4 представлена схема суммирования всех рисков рассматриваемых дорожно-строительных конфигураций, исходя из принципа разделения на подсистемы общей технической системы дорожно-строительных машин.

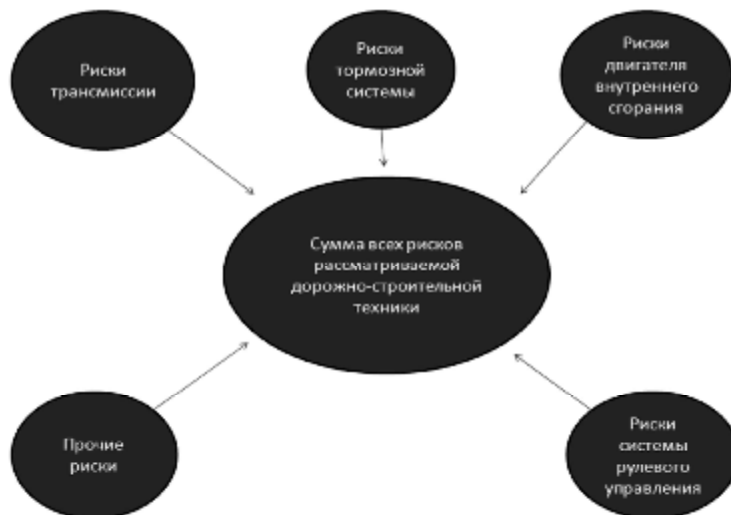


Рис. 4. Сумма всех рисков дорожно-строительной техники (иллюстрация автора)

В постоянных условиях эксплуатации ход износа в парах трущихся деталей описывается зависимостью:

$$X_{изн} = i \cdot t_{изн}. [\text{мм}, \text{г}], \tag{5}$$

где  $X_{изн}$  – результат износа (уменьшение поперечного размера, массы детали);

$t_{изн}$  – время износа;

$i$  – скорость износа (мм/ч, г/ч).

В постоянных условиях работы скорость износа детали тоже примерно постоянна. Однако, даже в группах одинаковых пар трущихся деталей, всегда есть некоторый разброс скорости износа относительно её средней величины.

Чаще всего разброс значений скорости износа  $i$  подчиняется нормальному закону, т. е. в группе одинаковых сопряжений есть какое-то среднее значение скорости износа  $i_{cp}$  и вокруг него примерно симметричное в обе стороны рассеяние скорости износа. При нанесении по данным эксплуатации этого разброса на числовую ось  $i$  получаем следующий график (рис. 5).

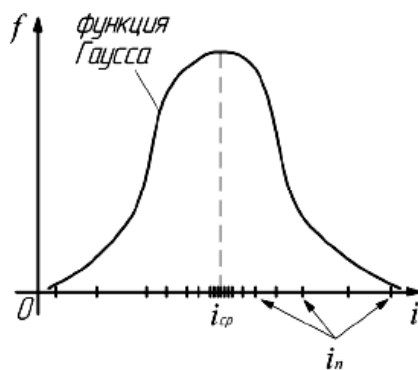


Рис. 5. Функция Гаусса для скорости износа [5]

Для предотвращения возникновения и проявления технических неисправностей, обусловленных отсутствием анализа рисков, необходимо осуществлять диагностику элементов технических систем в целом с целью выявления рисков на стадии разработки и проектирования, а также в период эксплуатации дорожно-строительной техники. Надежность дорожных, строительных и путевых машин должна обеспечиваться строгой системой, начиная с этапа проектирования, производства и к этапу эксплуатации.

Технико-экономический метод определения периодичности ТО является наиболее распространенным.

Экстремальное значение удельных затрат соответствует оптимальному решению:

$$K_{уд} = K_{mo}/t_0 + K_p/t_p, \quad (6)$$

где  $K_{mo}$  – затраты на операции ТО;  $K_p$  – затраты на ремонт;  $t_0$  – периодичность обслуживания;  $t_p$  – наработка между выполнением ремонтов.

Техническое состояние определяется совокупностью, подверженных изменению в процессе эксплуатации, свойств и, установленных нормативными документами, показателей транспортного средства, определяющей возможности его применения по назначению. Снижение надежности технического состояния дорожно-строительной техники представляет собой опасное накопление скрытых и явных неисправностей. Вследствие износа и старения оно имеет место даже при нормальных условиях эксплуатации, но особенно ускоряется при нарушении правил технической эксплуатации или предписаний изготовителя, при эксплуатации за пределами установленного ресурса транспортного средства, при повышенных нагрузках, несвоевременно или некачественном выполнении технического обслуживания и ремонта, ошибках в применении эксплуатационных материалов и запасных частей.

Эффективным направлением совершенствования технологии эксплуатационного контроля техники при дорожном строительстве является применение компьютеризованных бортовых средств диагностирования [6-8]. Для каждого транспортного средства по результатам регистрации неисправностей в процессе работы бортовой системы может формировать периодичность технических обслуживаний и ремонтов. С помощью данных систем проводится контроль соблюдения предписаний изготовителя для конкретной дорожно-строительной техники.

Наиболее значимой, на наш взгляд, будет реализация функции бортовой системы по выявлению снижения надежности техники под влиянием неисправностей. В составе этой

функции могут быть решены задачи по оценке работоспособности тормозных систем, подвески, сцепления шин с опорной поверхностью, системы нейтрализации отработавших газов и ряд других задач. В результате бортовая система контроля работоспособности транспортного средства должна будет сформировать отчет о допустимости продолжения эксплуатации техники и работоспособности ее систем и агрегатов. Бортовая система контроля с применением внешних диагностических приборов и автоматизации контроля способна вывести на новый уровень надежность дорожно-строительной техники. насыщение парка дорожно-строительной техники транспортными средствами с бортовыми системами оценки технического состояния в корне изменит содержание и профилактические возможности технического осмотра. Появится техническая основа для прогнозирования при техосмотре остаточного ресурса наименее надежных узлов. Для дорожно-строительных машин и оборудования российских конструкций, не самых надежных и безопасных, применение таких систем окажется наиболее актуально. Оно компенсирует риски от эксплуатации менее безотказной техники и приблизит ее конкурентоспособность к наиболее передовым образцам.

### **Заключение**

Анализ и устранение рисков на стадии проектирования и разработки являются важными процедурами, обеспечивающими повышение коэффициента безопасности при эксплуатации дорожно-строительных единиц.

Управление рисками при эксплуатации машин – объективная необходимость научно-технического прогресса, экономических и структурных изменений, происходящих в стране и за рубежом [9, 10]. Для повышения ресурса, надежности узлов и деталей, а, следовательно, и машины в целом, необходимо превентивное техническое обслуживание с применением высококачественных расходных материалов в установленные сроки.

### **Список библиографических ссылок**

1. Александров М. П., Колобов Л. Н., Лобов И. Н. Грузоподъемные машины. М. : Машиностроение, 2000. 400 с.
2. Анферов В. Н., Кузнецов С. М., Васильев С. И. Имитационная модель оценки организационно-технологической надежности работы стреловых кранов // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2013. № 1 (649). С. 70–78.
3. Баловнев В. И., Данилов Р. Г., Селиверстов Н. Д. Выбор транспортно-технологических машин // Наука и техника в дорожной отрасли. 2018. № 2. С. 38–41.
4. Баловнев В. И., Данилов Р. Г. Повышение качества дорожного строительства на основе интеллектуальной техники // Строительные и дорожные машины. 2011. № 6. С. 27–29.
5. Веригин Ю. А., Кульсеитов Ж. О., Жандарбекова А. М. Организация эксплуатационных испытаний на надежность дорожно-строительных машин // Вестник ТОГУ. 2008. № 1 (8). С. 45–52.
6. Кабашкин И. В. Интеллектуальные транспортные системы: интеграция глобальных технологий будущего // Транспорт Российской Федерации. 2010. № 2 (27). С. 34–38.
7. Мухаметшина Р. М. Обеспечение безопасности при эксплуатации дорожно-строительных машин // Вестник НЦ БЖД. 2017. № 4 (34). С. 93–96.
8. Hofmann S., Storz M. Doppelschraubgetriebe // Sonderdruck aus Ant-riebstechnik 34. 1995. № 8.
9. Perez A., McCarthy J. M. Dimensional Synthesis of Bennett Linkages, Transactions of the ASME. Vol. 125, 2003. P. 98–104.
10. Sakhapov R. L., Nikolaeva R. V., Gatiyatullin M. H., Makhmutov M. M. Risk management model in road transport systems // Journal of Physics: Conference Series. 2016. T. 738. № 1. С. 012008.

**Makhmutov Marat Mansurovich**

candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: [maratmax@yandex.ru](mailto:maratmax@yandex.ru)**Mukhametshina Rumya Mugallimovna**

candidate of chemical sciences, associate professor

E-mail: [rumya211@yandex.ru](mailto:rumya211@yandex.ru)**Zemdikhanov Minsur Minalimovich**

candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: [mr.minsur@mail.ru](mailto:mr.minsur@mail.ru)**Kazan State University of Architecture and Engineering**

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

**Zaripov Arslan Maratovich**

design engineer

E-mail: [arzar744@gmail.com](mailto:arzar744@gmail.com)**Kazan crane plant «Gertec»**

The organization address: 420099, Russia, Kazan, SNP «Palandiya», Palandiya st., 91

**Reliability of machines in road construction****Abstract**

*Problem statement.* The purpose of the study is to identify indicators of reliability of machines and efficiency of all structural units of operational enterprises, providing maintenance and repair of machines.

*Results.* According to the results of experimental studies, the dependence of the periodicity of the permissible level of reliability. Graphs were constructed of the change of the parameter of the technical condition and its possible value.

*Conclusions.* The significance of the results for the construction industry is to obtain the function of changing the failure rate depending on the time. According to the results of numerical experiments it is possible to obtain a single regression function to calculate the failure rate.

**Keywords:** reliability, road construction equipment, operating time, operation, maintenance.

**References**

1. Alexandrov M. P., Kolobov L. N., Lobov I. N., etc. Hoisting machine. M. : Mashinostroeniye, 2000. 400 p.
2. Anferov V. N., Kuznetsov S. M., Vasilyev S. I. Imitating model of estimation of organizational-technological reliability of the jib cranes // *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitel'stvo*. 2013. № 1 (649). P. 70–78.
3. Balovnev V. I., Danilov R. G., Seliverstov N. D. Selection of transport and technological machines // *Nauka i technica v doroshnoy otrasli*. 2018. № 2. P. 38–41.
4. Balovnev V. I., Danilov R. G. Improvement of quality of road construction on the basis of intellectual equipment // *Stroitelnye i doroshniye mashiny*. 2011. № 6. P. 27–29.
5. Verigin Y. A., Kulseitov Z. O., Zhandarbekov A. M. Organization of operational reliability of road-building machines // *Vestnik TOGU*. 2008. № 1 (8). P. 45–52.
6. Kabashkin I. V. Intelligent transport systems: integration of global technologies of the future // *Transport Rossiyskoy Federacii*. 2010. № 2 (27). P. 34–38.
7. Mukhametshina R. M. Safety measures provision on road construction machinery operation // *Vestnik NTs BZHD*, 2017, № 4 (34). P. 93–96.
8. Hofmann S., Storz M. Doppelschraubgetriebe // *Sonderdruck aus Ant-riebstechnik* 34. 1995. № 8.
9. Perez A., McCarthy J. M. Dimensional Synthesis of Bennett Linkages, *Transactions of the ASME*. Vol. 125, 2003. P. 98–104.
10. Sakhapov R. L., Nikolaeva R. V., Gatiyatullin M. H., Makhmutov M. M. Risk management model in road transport systems. *Journal of Physics: Conference Series*. 2016. T. 738. № 1. C. 012008.