

Научная статья
УДК 621.001.4

Классификация условий эксплуатации дорожно-строительных машин

Виктор Иванович Карагодин¹, Алексей Юрьевич Горелов²,
Александр Иванович Салагубов³

^{1,2,3}Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ),
Москва, Россия

¹bik250248@yandex.ru

²gorelov.aleksey@yandex.ru

³salagubov2013@mail.ru

Аннотация. В статье, исходя из общепризнанной необходимости решения вопросов учета условий технической эксплуатации различной техники, дан анализ классификации условий эксплуатации подвижного состава автомобильного транспорта. Рассмотрены особенности классификации условий эксплуатации дорожно-строительных машин, выявлены причины отсутствия в настоящее время стандартной методики решения этой задачи.

В статье впервые предложена методика классификации условий эксплуатации фронтальных погрузчиков. Методы классификации базируются на методических разработках авторов и экспериментальном материале, полученном в результате эксплуатационных наблюдений за партией машин из 47 фронтальных погрузчиков. По характеру работы погрузчиков были выделены шесть отраслей, в которых условия работы машин отличались дальностью транспортировки грузов, высотой их подъема и другими факторами. В результате дисперсионного анализа шесть отраслей были преобразованы в три категории условий эксплуатации погрузчиков.

Обработка полученных экспериментально выборок наработок фронтальных погрузчиков на отказ в разных категориях условий эксплуатации позволила установить параметры закона распределения Вейбулла, на основе которых были получены зависимости нормируемых показателей технической эксплуатации погрузчиков от влияющих факторов и основаны коэффициенты корректирования нормативов для рассматриваемых категорий условий эксплуатации. В заключение была проведена оценка точности и достоверности полученных результатов. Разработанная методика дала положительные результаты применительно к фронтальным погрузчикам и может быть рекомендована для классификации условий эксплуатации и корректирования нормативов технической эксплуатации других дорожно-строительных машин.

Ключевые слова: дорожно-строительные машины, условия эксплуатации, классификация, характер работы, трудоемкость ремонта, периодичность воздействий, корректировка.

Для цитирования: Карагодин В.И., Горелов А.Ю., Салагубов А.И. Классификация условий эксплуатации дорожно-строительных машин // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. 2023. №3 (37).

Original article

Classification of road construction machinery operating conditions

Viktor I. Karagodin¹, Alexey Y. Gorelov², Alexander I. Salagubov³

^{1,2,3}Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI),
Moscow, Russia

¹bik250248@yandex.ru

²gorelov.aleksey@yandex.ru

³salagubov2013@mail.ru

Abstract. In the article, based on the generally recognized need to address the issues of accounting for the operating conditions of various equipment, an analysis of the classification of the operating conditions of rolling stock of motor transport is given. The features of the classification of operating conditions of road-building machines are considered, the reasons for the absence of a standard methodology for solving this problem are identified.

The article for the first time offers a method for classifying the operating conditions of front-end loaders. Classification methods are based on methodological developments of the authors and experimental material obtained as a result of operational observations of a batch of 47 front-end loaders. According to the nature of the work of loaders, six industries were identified in which the working conditions of the machines differed in the range of cargo transportation, the height of their lifting and other factors. As a result of the analysis of variance, six industries were transformed into three categories of loader operating conditions.

Processing of experimental samples of front-end loader developments for failure in different categories of operating conditions allowed us to establish the parameters of the Weibull distribution law, on the basis of which the dependences of the normalized indicators of technical operation of loaders on influencing factors were obtained and the coefficients of adjustment of standards for the categories of operating conditions under consideration were based. In conclusion, an assessment of the accuracy and reliability of the results was carried out. The developed methodology has yielded positive results in relation to front-end loaders and can be recommended for the classification of operating conditions and adjustment of standards of technical operation of other road construction machines.

Keywords: road construction machines, operating conditions, classification, nature of work, labor intensity of repair, frequency of impacts, adjustment.

For citation: Karagodin V.I., Gorelov A.Y., Salagubov A.I. Classification of road construction machinery operating conditions. *Avtomobil'. Doroga. Infrastruktura*. 2023. №3 (37).

Введение

Повышение эффективности эксплуатации любой техники требует в первую очередь учета условий ее эксплуатации, что позволяет целенаправленно формировать комплекс мероприятий по ускорению научно-технического прогресса в отрасли [1–3]. Однако раскрыть все закономерности влияния условий и режимов работы машин и агрегатов на показатели надежности и нормативы технической эксплуатации, описать их аналитически – перспективная, еще не решенная в силу ее сложности задача [1]. Имеются отдельные решения этой задачи в отдельных отраслях. В области технической эксплуатации дорожно-строительных машин (ДСМ) вопросы классификации условий эксплуатации ещё ждут своего решения [4], в то время как в области технической эксплуатации автомобилей успешно решены не только эти вопросы, но и вопросы корректировки нормативов технической эксплуатации для разных категорий условий эксплуатации [5].

Положение [5] утратило силу в 2020 году. Однако, утратив законодательную силу, оно сохранило большое методическое и нормативно-справочное значение. Для подвижного состава автомобильного транспорта четко выделены пять категорий условий эксплуатации и в зависимости от совокупности влияющих факторов установлен порядок корректировки нормативов технической эксплуатации: периодичности технического обслуживания (ТО), величины пробега до капитального ремонта, трудоемкости ТО, трудоемкости текущего ремонта и расхода запасных частей. Для ДСМ многие из этих нормативов установлены [6], но указания по их корректировке в зависимости от условий эксплуатации отсутствуют. Не предусмотрены такие указания и в номенклатуре эксплуатационной документации, которую обязаны разрабатывать изготовители [7]. Некоторые

из них пытаются ликвидировать этот пробел, но работа не носит системного характера, а главное – не имеет разработанного научно-методического обеспечения.

И этому есть свои причины. Разнообразие рабочих процессов ДСМ порождает массу факторов, отражающих условия их эксплуатации, и для машин разного назначения совокупности факторов могут не совпадать. Например, для землеройно-транспортных машин и машин для устройства дорожных одежд, машин для содержания автомобильных дорог в зимний и летний периоды и т.д. Режимы работы автомобилей в различных отраслях (строительстве, сельском хозяйстве, лесозаготовках и др.) относительно близки, а вот режимы работы ДСМ резко различаются. Актуальность проблемы классификации условий их эксплуатации и недостаток обоснованных практических рекомендаций в этой области требуют проведения специальных исследований.

Анализ условий работы фронтальных погрузчиков

Под наблюдение была взята экспериментальная партия фронтальных погрузчиков в количестве 47 машин одной модели, которые работали в различных отраслях. Предварительный анализ позволил выделить шесть отраслей по характеру работы погрузчиков.

1. Добывающая промышленность. Наибольшее количество экспериментальной партии машин работало на добыче полезных ископаемых. В добывающей промышленности работа фронтального погрузчика происходит в составе комплекта техники (бульдозеры, экскаваторы, самосвалы, грохоты и др.) и имеет сезонный характер. Погрузчики выполняют работы по транспортировке породы в 2 смены по 12 часов, то есть круглосуточно в течение 9 месяцев в году, с конца февраля по начало ноября. Остальное время машины обычно находятся в капитальном ремонте (конец ноября – начало февраля).

Характер выполняемых в добывающей промышленности работ можно характеризовать как очень тяжёлый. Из-за большой удельной массы транспортируемой породы, плеча транспортировки в 30 – 70 м и рабочей скорости 10 – 15 км/ч основная часть отказов приходится на трансмиссию. Продольное раскачивание создает дополнительную нагрузку на передний мост. Вследствие этого выходят из строя передние бортовые планетарные редукторы, быстро изнашиваются тормозные фрикционы, дифференциал, крестовины карданного вала, коробка передач и гидромоторы хода.

2. Предприятия строительной индустрии (асфальтобетонные и цементобетонные заводы). Выполнение работ на этих предприятиях подразумевает движение преимущественно челночным ходом и маневрирование на ограниченной площадке, плечо транспортировки 10 – 20 м. Основные отказы приходятся на механическую часть трансмиссии: передний мост и карданный вал, а также усиленно изнашиваются тормозные фрикционы, разрушаются сателлиты дифференциала, выходят из строя крестовины карданного вала.

3. Лесозаготовительная промышленность. При работе на лесозаготовительных площадках фронтальный погрузчик выполняет спектр погрузочно-разгрузочных работ, в основном перегрузку и складирование лесным захватом хлыстов длиной 27, 18, 9, 6 и 3 метра. При таких работах наибольшая нагрузка приходится на трансмиссию, в частности на передний мост и дифференциал. Из-за большой длины хлыстов при их транспортировке в места хранения происходят поперечные раскачивания, что приводит к интенсивному изнашиванию и разрушению подшипников ступиц переднего моста, дифференциала, разрушению корпуса моста и приводных полуосей.

4. Складской комплекс. Работа на складских комплексах рассматривалась преимущественно в морских портах. К видам работ были отнесены: перевозка штучных грузов по территории порта в места хранения

или приема груза и обратно, доставка грузов в терминалы для отправки морским транспортом. Работа в терминале отличается подъемом груза на высоту 3,5 метра, движением челночным ходом по территории терминала и между терминалами на удаление 300 – 500 м. Основные отказы приходятся на трансмиссию: коробку передач, планетарные редукторы передних мостов и крестовины карданного вала.

5. Промышленное и гражданское строительство. Это большой спектр разнообразных работ с использованием сменного рабочего оборудования. Данные работы характеризуются большим плечом транспортировки и частыми перегонами машин своим ходом с объекта на объект в пределах 25 – 30 км, что увеличивает нагрузку на редуктор привода насосов и управляющую гидравлику. В этих условиях основные отказы приходятся на гидравлику хода: гидромотор и гидронасос, приводные валы насосов в редукторе привода насосов, гидрораспределитель, рукава высокого давления, уплотнения (кольца, сальники).

6. Металлургия. Специфика работы фронтальных погрузчиков в этой отрасли характеризуется высокой температурой окружающей среды. Фронтальными погрузчиками убирают раскаленный шлак из шлакоприемника плавильной печи, после чего его перемещают на 5 – 10 м в отвал. Для защиты от перегрева в комплекте работают 3 – 5 единиц техники. Всегда работает нечетное количество единиц. Пока «основные» фронтальные погрузчики поочередно очищают шлакоприемник печи от раскаленного шлака, одна машина дежурит рядом на случай образования нештатных ситуаций, когда требуется быстро заменить «основной» фронтальный погрузчик в случае перегрева или поломки, оперативно вытащить застрявший или загоревшийся погрузчик. Основные отказы приходятся на гидравлику хода и гидропривод рабочего оборудования. Из-за высоких температур перегревается гидравлическое масло, поэтому все гидролинии защищают термоэкранами, что приводит к перегреву гидронасосов и

гидромоторов, а также соленоидов в распределителе. Кроме того, плавятся пластиковые электромагнитные катушки привода соленоидов.

Статистический анализ различий в условиях эксплуатации погрузчиков

Различия в условиях эксплуатации погрузчиков должны проявляться не только в характере отказов, но и в их количестве. По каждой машине было подсчитано количество отказов за одинаковый период наблюдений и были построены вариационные ряды числа отказов по отраслям. Так, например, вариационный ряд для семи машин, работавших в промышленном и гражданском строительстве, имел следующий вид: 4, 7, 8, 14, 16, 18, 20. Установить, что выявленные различия в условиях эксплуатации являются существенными, можно в результате проверки статистических гипотез о принадлежности полученных выборок одной генеральной совокупности.

Поскольку все 47 машин экспериментальной партии были распределены по шести отраслям, то для построения закона распределения числа отказов по каждой выборке и применения дисперсионного анализа исходных данных оказалось недостаточно. Поэтому для проверки гипотезы о принадлежности двух выборок одной генеральной совокупности был использован критерий серий [8, 9]. Рассмотрим две выборки: количества отказов в промышленном и гражданском строительстве объемом $N_1 = 7$ шт. и количества отказов в лесозаготовительной промышленности объемом $N_2 = 7$ шт. Расположив все значения обеих выборок в возрастающем порядке и отмечая знаком «+» элементы из первой выборки и знаком «-» элементы из второй выборки, получим последовательность:

$\underbrace{4;7;8}$	$\underbrace{8;9}$	$\underbrace{14;16;18;20}$	$\underbrace{22;23;26;27;55}$
+	-	+	-
1-я серия	2-я серия	3-я серия	4-я серия.

Назовем последовательности «+» и «-» сериями. Число серий равно двум, когда выборки сильно отличаются друг от друга. При незначительном их отличии число серий будет большим. Известно, что, если обе выборки принадлежат одной генеральной совокупности, то вероятность получения m серий в построенной последовательности выражается через функцию $h(m)$, значения которой рассчитываются по формулам, приведенным в [8]. Если $\sum_{m=2}^{d_o} h(m) \leq \beta$, где d_o – число полученных серий, β – уровень значимости, то различие между выборками считается существенным. В противном случае различие между выборками несущественно, и их можно считать принадлежащими одной генеральной совокупности. Обычно принимают уровень значимости $\beta = 0,05$ [9].

В рассматриваемом примере число полученных серий $d_o = 4$. При этом числе серий расчетное значение суммы функций $h(m)$ составляет $h(4)+h(3)+h(2)=0,0210+0,0035+0,0006 = 0,0251$. Так как $0,0251 < \beta = 0,05$, то различия между двумя выборками существенны, и их нельзя считать выборками из одной генеральной совокупности. Следовательно, условия эксплуатации фронтальных погрузчиков в промышленно-гражданском строительстве и в лесозаготовительной промышленности принципиально отличаются. Расчеты, выполненные для всех пар рассматриваемых отраслей, позволили выделить три категории условий эксплуатации фронтальных погрузчиков по характеру их работы:

1-я категория – промышленно-гражданское строительство и металлургия;

2-я категория – лесозаготовительная промышленность и складской комплекс;

3-я категория – добывающая промышленность и предприятия стройиндустрии.

Расчет показателей надежности фронтальных погрузчиков

Нормативы технической эксплуатации машин зависят от показателей их надежности, главным образом от средней и γ -процентной наработки на отказ [10–12]. Показатели надежности фронтальных погрузчиков определялись по результатам эксплуатационных наблюдений. Планом наблюдений было предусмотрено их окончание в фиксированный момент времени для всех машин. Однако наработка машин в мото-часах (мото-ч) к этому моменту была разной, что вызвало необходимость рассматривать полученные выборки как многократно цензурированные. Цензурированием называется событие, приводящее к прекращению испытаний или эксплуатационных наблюдений до наступления отказа (предельного состояния) изучаемого характера у всех изделий [13]. Среди причин цензурирования указываются разновременность начала и (или) окончания испытаний, а также необходимость оценки надежности до наступления отказов всех испытываемых изделий. В многократно цензурированной выборке значения наработок до цензурирования не равны между собой [13].

Опыт выполненных ранее исследований и характер отказов позволяют предположить, что в большинстве случаев распределение наработок на отказ должно подчиняться закону Вейбулла. Для случайной величины, распределенной по закону Вейбулла, плотность ее распределения может быть выражена следующей зависимостью [1]:

$$f(t) = \frac{b}{a} \left(\frac{t}{a}\right)^{b-1} \cdot e^{-\left(\frac{t}{a}\right)^b}, \quad t > 0, \quad f(t) = 0, t \leq 0,$$

где a и b – оценки параметров распределения Вейбулла.

Результаты обработки информации по методике Госстандарта приведены в табл. 1. Относительные ошибки определялись при доверительной вероятности 0,8 и 0,9 в зависимости от количества отказов и от полученного коэффициента вариации наработки на отказ согласно той же методике [13].

Таблица 1

Результаты обработки информации о надежности фронтальных погрузчиков

Категория условий эксплуатации	Параметры распределения Вейбулла		Статистические оценки наработок на отказ				Относительная ошибка при доверительной вероятности	
	<i>a</i>	<i>b</i>	средней наработки	среднеквадратич. отклонения	коэффициента вариации	90-процентной наработки	0,80	0,90
1	34666	2,265	30706	14356	0,47	12834	0,15	–
2	24081	2,911	21476	8018	0,37	11117	0,15	0,20
3	19695	2,576	17489	7284	0,42	8223	0,10	0,15

Из данных таблицы 1 следует, что для всех категорий условий эксплуатации были получены результаты, приемлемые по точности и достоверности. Наиболее точные и достоверные результаты были получены для 3-й категории, в которой наблюдалось наибольшее количество отказов. Относительная ошибка при определении параметров распределения Вейбулла в этом случае составляет 0,10 при доверительной вероятности 0,8 и 0,15 при доверительной вероятности 0,9.

Несколько меньшей точностью из-за меньшего количества зафиксированных отказов характеризуются результаты, полученные для второй категории условий эксплуатации. Для нее относительная ошибка составляет 0,15 при доверительной вероятности 0,8 и 0,20 при доверительной вероятности 0,9. Для первой категории условий эксплуатации объем наблюдений не позволил оценить точность результатов с доверительной вероятностью 0,9, но с доверительной вероятностью 0,8 точность результатов была получена такая же, как для второй категории условий эксплуатации, несмотря на несколько большую их вариацию.

Распределение наработок фронтальных погрузчиков на отказ показано на рисунке. Вполне ожидаемо получилось, что более тяжелые условия работы приводят к более ранним отказам. Вертикальными линиями показаны

средние и 90-процентные наработки на отказ. Заштрихованы 10-процентные области вероятных отказов, если проводить контроль технического состояния погрузчиков с периодичностью, равной 90-процентной наработке на отказ.

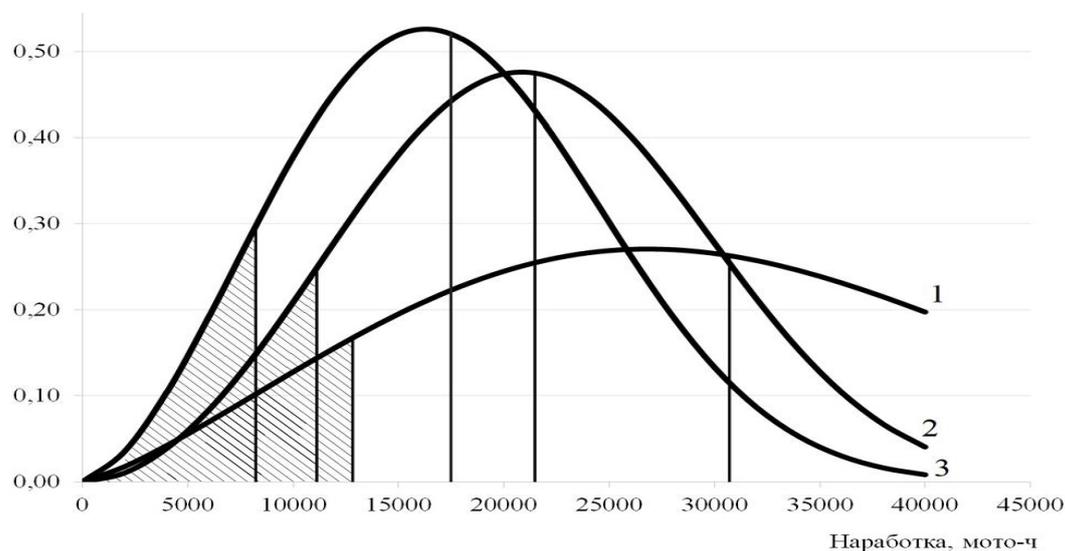


Рис. Распределение наработок на отказ фронтальных погрузчиков:
1 – 1-я категория условий эксплуатации; 2 – 2-я категория; 3 – 3-я категория

Результаты расчетов коэффициентов корректировки нормируемых показателей технической эксплуатации машин

Корректировка периодичности ТО, наработки до капитального ремонта, трудоемкости ТО, трудоемкости текущего ремонта и расхода запасных частей требует анализа характера их взаимосвязей с рассчитанными показателями надежности фронтальных погрузчиков.

Один из основных методов определения периодичности ТО – по допустимому уровню безотказности [1] – показывает, что периодичность может быть принята обратно пропорциональной γ -процентной наработке на отказ. Поскольку стоит задача определения не абсолютного значения периодичности, а ее соотношения по разным категориям условий эксплуатации, то величина γ не имеет значения, и можно воспользоваться рассчитанной 90-процентной наработкой на отказ. Если для 1-й категории

условий эксплуатации ее принять за единицу, то коэффициенты приведения составят: для 2-й категории $11117 / 12834 = 0,85$, для 3-й категории – $8223 / 12834 = 0,65$.

Наработка до капитального ремонта складывается из наработок машины до текущих ремонтов согласно принятой структуре ремонтного цикла [14]. Следовательно, наработка до капитального ремонта прямо пропорциональна средней наработке на отказ. Если для 1-й категории условий эксплуатации ее принять за единицу, то коэффициенты приведения составят: для 2-й категории $21476 / 30706 = 0,70$, для 3-й категории – $17489 / 30706 = 0,60$.

Трудоемкость ТО автомобилей зависит от модификации подвижного состава и схемы организации его работы, учитываемых коэффициентом k_2 , а также пробега подвижного состава с начала эксплуатации, учитываемых коэффициентом k_5 [5]. Коэффициент k_2 учитывает нагрузку на агрегаты автомобиля, создаваемую прицепами и работой на коротких плечах с частыми погрузками-разгрузками. Нагрузка на агрегаты фронтальных погрузчиков уже учтена категорией условий эксплуатации. Корректировка трудоемкости ТО погрузчиков в зависимости от их наработки с начала эксплуатации может производиться так же, как и для автомобилей. В дальнейшем этому могут быть посвящены специальные исследования.

Трудоемкость текущего ремонта и расход запасных частей могут быть определены прямо пропорциональными среднему количеству отказов на заданной наработке или обратно пропорциональными средней наработке на отказ. В последнем случае коэффициенты приведения трудоемкости текущего ремонта и расхода запасных частей составят: для 2-й категории $30706 / 21476 = 1,40$, для 3-й категории – $30706 / 17489 = 1,75$.

Результаты расчетов коэффициентов корректировки нормируемых показателей технической эксплуатации фронтальных погрузчиков сведены в табл. 2.

Таблица 2

Коэффициенты корректировки нормируемых показателей технической эксплуатации фронтальных погрузчиков

Показатель	Коэффициенты корректирования для категории условий эксплуатации		
	1	2	3
Периодичность ТО	1,00	0,85	0,65
Наработка до капитального ремонта	1,00	0,70	0,60
Трудоемкость текущего ремонта	1,00	1,40	1,75
Расход запасных частей	1,00	1,40	1,75

Сравнение данных таблицы 2 с показателями точности и достоверности определения показателей надежности фронтальных погрузчиков (табл. 1) убеждает в том, что разница в значениях коэффициентов корректировки нормируемых показателей технической эксплуатации фронтальных погрузчиков выходит за пределы ошибок расчетов, т.е. является объективной и существенной.

Выводы

1. Основной особенностью классификации условий эксплуатации ДСМ является разнообразие их рабочих процессов, влекущее за собой разнообразие конструктивных устройств, нагрузочных режимов и других факторов. Дополнительно осложняет задачу классификации разнообразный характер работы ДСМ в различных отраслях промышленности и строительства.

2. Научно-техническая задача классификации условий эксплуатации фронтальных погрузчиков решалась на основе статистической информации, полученной в результате эксплуатационных наблюдений за работой 47 машин экспериментальной партии в шести отраслях промышленности и строительства. Авторами ставилась задача проверки статистических гипотез о принадлежности одной генеральной совокупности полученных выборок

числа отказов машин в разных отраслях, которая была решена с помощью критерия серий. Получены три категории условий эксплуатации, в каждую из которых вошли по две отрасли.

3. Для каждой категории условий эксплуатации были построены законы распределения наработок на отказ, получены их средние и 90-процентные значения, на основе которых установлены коэффициенты корректировки периодичности ТО, наработки до капитального ремонта, трудоемкости текущего ремонта и расхода запасных частей. Различие показателей для разных условий эксплуатации достигает 40 %.

Список источников

1. Техническая эксплуатация автомобилей: учебник для вузов / Е.С. Кузнецов, А.П. Болдин, В.М. Власов и др. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Наука, 2001. – 535 с.
2. Павлишин, С.Г. Корректирование режимов технического обслуживания с целью учета региональных условий эксплуатации / С.Г. Павлишин, М.В. Стовец, Б.С. Павлишина // Мир транспорта и технологических машин. – 2020. – №1(68). – С. 25-33.
3. Захаров, Н.С. Факторы, влияющие на продолжительность простоя транспортно-технологических машин в текущем ремонте / Н.С. Захаров, С.А. Савин, М.М. Иванкив, А.А. Лушников // Нефтяное хозяйство. – 2014. – №4. – С. 82-84.
4. Карагодин, В.И. Техническая эксплуатация машин (строительные и дорожные машины): учебник (Бакалавриат) / В.И. Карагодин. – М.: КНОРУС, 2023. – 340 с.
5. Положение о техническом обслуживании и ремонте подвижного состава автомобильного транспорта / Минавтотранс. – М.: Транспорт, 1985. – 114 с.
6. Рекомендации по организации технического обслуживания и ремонта строительных машин. МДС 12-8.2007 / ЦНИИОМТП. – М.: ФГУП ЦПП, 2007. – 70 с.
7. Национальный стандарт Российской Федерации. Единая система конструкторской документации. Эксплуатационные документы. ГОСТ Р 2.601-2019 / Росстандарт. – М., 2019. – 43 с.
8. Статистические методы обработки эмпирических данных / ВНИИНМАШ. – М.: Изд-во стандартов, 1978. – 232 с.
9. Трофимова, Е.А. Теория вероятностей и математическая статистика: учеб. пособие / Е. А. Трофимова, Н. В. Кисляк, Д. В. Гилёв; [под общ. ред. Е. А. Трофимовой]. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2018. – 160 с.

10. Абрамов, А.Н. Эксплуатационная надежность технических систем / А.Н. Абрамов. – М.: МАДИ, 2019. – 120 с.
11. Карагодин, В.И. Ремонтпригодность машин: учебник (Магистратура) / В.И. Карагодин. – М.: КНОРУС, 2022. – 166 с.
12. Карагодин, В.И. Технологические процессы технического обслуживания и ремонта транспортных и транспортно-технологических машин и оборудования (строительные и дорожные машины): учебник (Бакалавриат) / В.И. Карагодин. – М.: КНОРУС, 2022. – 330 с.
13. Методические указания (надежность в технике). Методы оценки показателей надежности по эксплуатационным данным / РД 50-690-89. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 132 с.
14. Карагодин, В.И. Формирование структуры ремонтного цикла автомобилей и их составных частей: монография / В.И. Карагодин, Д.В. Карагодин. – М.: РУСАЙНС, 2021. – 128 с.

References

1. Kuznetsov E.S., Boldin A.P., Vlasov V.M., etc. *Tekhnicheskaya ekspluatatsiya avtomobiley* (Technical operation of cars), Moscow, Nauka, 2001, 535 p.
2. Pavlishin. S.G., Stovpets M.V., Pavlishina B.S. *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*, 2020, no. 1(68), pp. 25-33.
3. Zakharov N.S., Savin S.A., Ivankiv M.M., Lushnikov A.A. *Neftyanoye khozyaystvo*, 2014, no. 4, pp. 82-84.
4. Karagodin V.I. *Tekhnicheskaya ekspluatatsiya mashin (stroitel'nyye i dorozhnyye mashiny)* (Technical operation of machines (construction and road machines)), Moscow, KNORUS, 2023, 340 p.
5. *Polozheniye o tekhnicheskoy obsluzhivaniy i remonte podvizhnogo sostava avtomobil'nogo transporta* (Regulations on maintenance and repair of rolling stock of motor transport), Minavtotrans, Moscow, Transport, 1985, 114 p.
6. MDS 12-8.2007, Rekomendatsii po organizatsii tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta stroitel'nykh mashin (MDS 12-8.2007, Recommendations on the organization of maintenance and repair of construction machines), TSNIOMTP, Moscow, FGUP TSPP, 2007, 70 p.
7. Natsional'nyy standart Rossiyskoy Federatsii. Yedinaya sistema konstruktorskoy dokumentatsii. Ekspluatatsionnyye dokumenty, GOST R 2.601-2019 (National Standard of the Russian Federation. Unified system of design documentation. Operational documents, GOST R 2.601-2019), Moscow, Rosstandart, 2019, 43 p.
8. Statisticheskiye metody obrabotki empiricheskikh dannyykh (Statistical methods of empirical data processing), VNIINMASH, Moscow, Izd-vo standartov, 1978, 232 p.

9. Trofimova E.A., Kislyak N. V., Gilev D. V. *Teoriya veroyatnostey i matematicheskaya statistika* (Probability theory and mathematical statistics), Yekaterinburg: Izd-vo Ural. un-ta, 2018, 160 p.
10. Abramov A.N. *Ekspluatatsionnaya nadezhnost' tekhnicheskikh sistem* (Operational reliability of technical systems), Moscow, MADI, 2019, 120 p.
11. Karagodin V.I. *Remontoprigochnost' mashin* (Maintainability of machines), Moscow, KNORUS, 2022, 166 p.
12. Karagodin, V.I. *Tekhnologicheskiye protsessy tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta transportnykh i transportno-tekhnologicheskikh mashin i oborudovaniya (stroitel'nyye i dorozhnyye mashiny)* (Technological processes of maintenance and repair of transport and transport-technological machines and equipment (construction and road vehicles)), Moscow, KNORUS, 2022, 330 p.
13. *Metodicheskiye ukazaniya (nadezhnost' v tekhnike). Metody otsenki pokazateley nadezhnosti po ekspluatatsionnym dannym. RD 50-690-89* (Methodological guidelines (reliability in technology). Methods for assessing reliability indicators based on operational data. RD 50-690-89), Moscow, Izd-vo standartov, 1990, 132 p.
14. Karagodin V.I., Karagodin D.V. *Formirovaniye struktury remontnogo tsikla avtomobiley i ikh sostavnykh chastey* (Formation of the structure of the repair cycle of cars and their components), Moscow, RUSAYNS, 2021, 128 p.

Рецензент: Н.И. Баурова, д-р техн. наук, проф., МАДИ

Информация об авторах

Карагодин Виктор Иванович, д-р техн. наук, проф., МАДИ.

Горелов Алексей Юрьевич, ст. преподаватель, МАДИ.

Салагубов Александр Иванович, аспирант, МАДИ.

Information about the authors

Karagodin Viktor I., Dr. Sc., professor, MADI.

Gorelov Alexey Y., senior lecturer, MADI.

Salagubov Alexander I., postgraduate, MADI.

Статья поступила в редакцию 10.07.2023; одобрена после рецензирования 08.09.2023; принята к публикации 13.09.2023.

The article was submitted 10.07.2023; approved after reviewing 08.09.2023; accepted for publication 13.09.2023.