

КОРРЕКТИРОВАНИЕ НОРМАТИВОВ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫХ МАШИН ДЛЯ ХАРАКТЕРНЫХ УСЛОВИЙ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Карагодин В.И., Горелов А.Ю., Салагубов А.И.

*Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ),
Москва*

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

Аннотация. В статье подчеркнута необходимость корректирования нормативов технической эксплуатации наземных транспортно-технологических средств и комплексов в зависимости от условий их работы. Рассмотрены особенности и проблемы классификации условий эксплуатации дорожно-строительных машин, предложены методики решения задач классификации и корректирования. Приведены результаты экспериментальных исследований надежности фронтальных погрузчиков, установлены параметры законов распределения показателей надежности, необходимых для решения поставленных задач. Выделены основные категории условий эксплуатации погрузчиков, различающиеся характером работы машин в разных отраслях промышленности и строительства. Установлены зависимости нормируемых показателей технической эксплуатации фронтальных погрузчиков от влияющих факторов, обоснованы коэффициенты корректирования нормативов для рассматриваемых условий эксплуатации в зависимости от категории условий эксплуатации, природно-климатических условий и наработки с начала эксплуатации.

ADJUSTMENT OF STANDARDS OF TECHNICAL OPERATION OF ROAD-BUILDING MACHINES FOR THE CHARACTERISTIC CONDITIONS OF THEIR OPERATION

Karagodin V.I., Gorelov A.Yu., Salagubov A.I.

Moscow Automobile and Road Engineering State Technical University (MADI), Moscow

Keywords: road-building machines, operating conditions, classification, nature of work, labor intensity of repair, frequency of impacts, correction.

Abstract. The article emphasizes the need to adjust the standards of technical operation of ground transport and technological facilities and complexes depending on their working conditions. The features and problems of classification of operating conditions of road construction machines are considered, methods for solving classification and correction problems are proposed. The results of experimental studies of the reliability of front-end loaders are presented, the parameters of the laws of distribution of reliability indicators necessary to solve the tasks are established. The main categories of operating conditions of loaders, differing in the nature of the work of machines in different industries and construction, are highlighted. The dependences of the normalized indicators of technical operation of front loaders on influencing factors are established, the coefficients of adjustment of standards for the operating conditions under consideration are justified, depending on the category of operating conditions, natural and climatic conditions and operating time since the beginning of operation.

Введение

Необходимость учета условий эксплуатации наземных транспортно-технологических средств и комплексов при создании машин, систем их технического обслуживания и ремонта общеизвестна. В свое время эти вопросы решались на государственном уровне. Наиболее далеко в этом направлении удалось продвинуться в области создания и эксплуатации подвижного состава автомобильного транспорта [1]. Однако Положение [1] утратило силу в 2020 году. Центр тяжести подобных работ был перенесен на отраслевой уровень и даже на уровень отдельных предприятий-изготовителей.

Для подвижного состава автомобильного транспорта, горных, дорожно-строительных (ДСМ), сельскохозяйственных и других транспортно-технологических средств и комплексов установлены нормативы технической эксплуатации: периодичности технического

обслуживания (ТО), пробега до капитального ремонта, трудоемкости ТО, трудоемкости текущего ремонта, расхода запасных частей и др. Учет зависимости этих нормативов от условий эксплуатации и возможность их корректирования для характерных условий позволяет целенаправленно формировать комплекс мероприятий по ускорению научно-технического прогресса в отрасли [2-4]. Для ДСМ многие из этих нормативов установлены [5], но указания по их корректированию в зависимости от условий эксплуатации отсутствуют. Не предусмотрены такие указания и в номенклатуре эксплуатационной документации, которую обязаны разрабатывать изготовители [6]. Некоторые изготовители пытаются ликвидировать этот пробел, но работа не носит системного характера, а главное – не имеет разработанного научно-методического обеспечения.

На сложность этой задачи указывает Е.С.Кузнецов: «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» [2]. Имеются попытки решения этой задачи в отдельных отраслях. В области технической эксплуатации ДСМ вопросы классификации условий эксплуатации и корректирования нормативов ещё ждут своего решения [7], и образцом для этого может служить Положение [1]. 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 корректирования нормативов технической эксплуатации.

Однако 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, режимы работы ДСМ резко различаются.

Организация и результаты экспериментальных исследований

Под наблюдения была взята партия фронтальных погрузчиков в количестве 47 машин одной модели, которые работали в различных отраслях. Предварительный анализ позволил выделить шесть отраслей по характеру работы (табл. 1).

Табл. 1. Особенности условий работы фронтальных погрузчиков

Отрасль	Вид работ	Плечо ездки, м	Режим работы	Кол-во машин
Добывающая промышленность	Перегрузочные работы	30-70	Круглосуточно в течение сезона (9 месяцев)	15
Предприятия стройиндустрии*	Перегрузочные работы	10-20	Смена	9
Лесозаготовительная промышленность	Перегрузка хлыстов 3-27 м лесным захватом	10-100	Смена	7
Складской комплекс	Перегрузка с подъемом груза до 3,5 м	300-500	Круглосуточно	5
Промышленное и гражданское строительство	Разнообразные работы со сменным рабочим оборудованием	10-20**	Смена	7
Металлургия	Уборка раскаленного шлака	5-10	Круглосуточно	4
Всего				47

* асфальтобетонные и цементобетонные заводы;

** дополнительно переезды с объекта на объект своим ходом до 25-30 км.

Анализ характера отказов по агрегатам и системам погрузчиков показал, что они непосредственно связаны с выполняемыми работами. При продольном раскачивании дополнительная нагрузка приходится на трансмиссию и особенно передний мост. Поперечные раскачивания приводят к интенсивному изнашиванию и разрушению подшипников ступиц переднего моста, дифференциала, разрушению корпуса моста и приводных полуосей. Движение челночным ходом и маневрирование на ограниченной площадке негативно влияют на трансмиссию, особенно передний мост и карданный вал, а также тормозные фрикционы и сателлиты дифференциала. При больших расстояниях передвижения основные отказы приходятся на коробку передач, планетарные редукторы передних мостов и крестовины карданного вала, а при больших расстояниях и высоких температурах – на гидравлику хода: гидромотор и гидронасос, гидрораспределитель, рукава высокого давления, уплотнения (кольца, сальники).

Формирование категорий условий эксплуатации погрузчиков

Различия в условиях эксплуатации погрузчиков должны проявляться не только в характере отказов, но и в их количестве. По каждой машине были подсчитаны средние наработки на отказ в мото-ч по формуле [8]: $t_{но} = \frac{t}{\Omega(t)}$, где t – наработка восстанавливаемого изделия; $\Omega(t)$ – «ведущая функция» потока отказов (математическое ожидание числа отказов восстанавливаемого изделия за время t). Затем были построены вариационные ряды наработок на отказ по отраслям. Так, например, вариационный ряд для семи машин, работавших в промышленном и гражданском строительстве, имел вид: 438; 842; 868; 1145; 1869; 2382; 4513, а для девяти машин, работавших на предприятиях стройиндустрии, – 528; 557; 583; 594; 644; 887; 907; 1073; 1630. Для проверки гипотезы о принадлежности двух выборок одной генеральной совокупности был использован критерий серий [9]. Расположив все значения обеих выборок в возрастающем порядке, отмечая знаком «+» элементы из первой выборки и знаком «-» элементы из второй выборки, получим последовательность, показанную на рисунке 1.

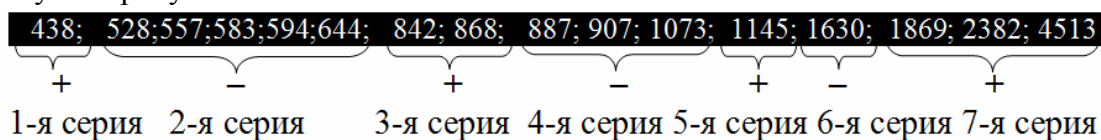


Рис. 1. Схема формирования серий

Число серий равно двум, когда выборки сильно отличаются друг от друга. При незначительном их отличии число серий будет большим. 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 [9]. 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 выборки можно считать принадлежащими одной генеральной совокупности. Обычно принимают уровень значимости $\beta = 0,05$ [9].

В рассматриваемом примере число полученных серий $d_o = 7$. При этом числе серий расчетное значение суммы функций $h(7)$ составляет 0,12. Так как $0,12 > \beta = 0,05$, то выборки можно считать принадлежащими одной генеральной совокупности. Расчеты, выполненные для всех пар рассматриваемых отраслей, позволили выделить четыре категории условий эксплуатации фронтальных погрузчиков по характеру их работы:

- 1-я категория – промышленно-гражданское строительство и металлургия;
- 2-я категория – лесозаготовительная промышленность;
- 3-я категория – предприятия стройиндустрии;
- 4-я категория – добывающая промышленность и складской комплекс.

Построение законов распределения показателей надежности погрузчиков в сформированных категориях условий эксплуатации

Планом наблюдений было предусмотрено их окончание в фиксированный момент времени для всех машин. Однако наработка машин в мото-ч к этому моменту была разной, поэтому полученные выборки рассматривались как многократно цензурированные [10]. Опыт ранее выполненных исследований и характер отказов позволяют предположить, что в большинстве случаев распределение наработок на отказ должно подчиняться закону Вейбулла [2]. Нарботки на отказ фронтальных погрузчиков в мото-ч приведены в таблице 2.

Табл. 2. Результаты обработки информации

Категория условий эксплуатации	Параметры распределения Вейбулла		Статистические оценки наработок на отказ				Относительная ошибка при доверительной вероятности	
	a	b	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	25354	2,913	22612	8437	0,37	11711	0,15	–
3	20598	3,548	18546	5798	0,31	10923	0,15	–
4	19273	2,740	17148	6760	0,39	8477	0,10	0,15

Распределение наработок на отказ фронтальных погрузчиков показано на рисунке 2. Цифрами обозначены категории условий эксплуатации. Вертикальными линиями показаны средние и 90-процентные наработки на отказ. Заштрихованы 10-процентные области вероятных отказов, если контроль технического состояния погрузчиков проводить с периодичностью, равной 90-процентной наработке на отказ.

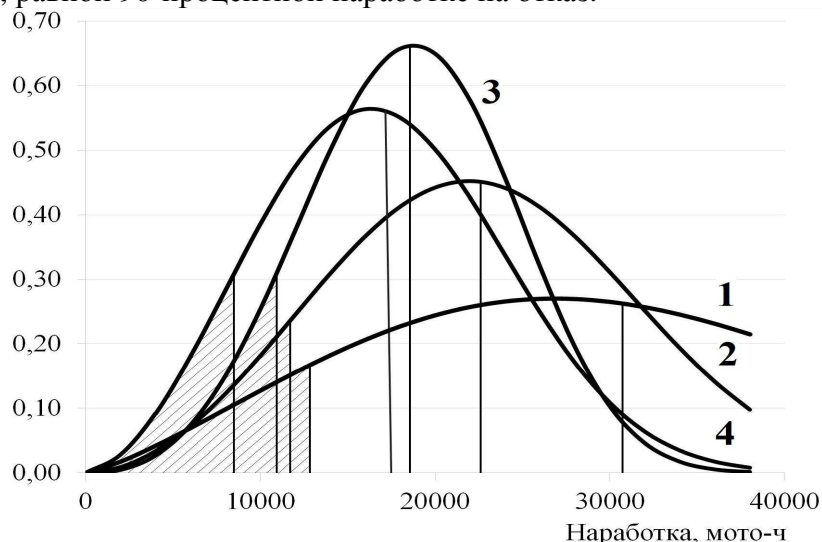


Рис. 2. Распределение наработок на отказ фронтальных погрузчиков

Коэффициенты корректирования нормируемых показателей технической эксплуатации фронтальных погрузчиков в зависимости от категории условий эксплуатации

Разработка системы корректирующих коэффициентов требует анализа взаимосвязи нормируемых показателей технической эксплуатации с показателями надежности.

Один из основных методов определения периодичности ТО – по допустимому уровню безотказности [2] – показывает, что периодичность может быть принята обратно

пропорциональной γ -процентной наработке на отказ. Если для 1-й категории условий эксплуатации принять ее за единицу, то коэффициенты приведения составят: для 2-й категории – $11711/12834=0,90$, для 3-й – $10923/12834=0,85$, для 4-й – $8477/12834=0,70$.

Наработка до капитального ремонта складывается из наработок машины до текущих ремонтов согласно принятой структуре ремонтного цикла [11]. Следовательно, наработка до капитального ремонта прямо пропорциональна средней наработке на отказ. Если для 1-й категории условий эксплуатации принять ее за единицу, то коэффициенты приведения составят: для 2-й категории $22612/30706=0,75$, для 3-й – $18546/30706=0,60$, для 4-й – $17148/30706=0,55$.

Трудоемкость текущего ремонта и расход запасных частей могут быть определены обратно пропорциональными средней наработке на отказ. В последнем случае коэффициенты приведения трудоемкости текущего ремонта и расхода запасных частей составят: для 2-й категории $30706/22612=1,35$, для 3-й – $30706/18546=1,65$, для 4-й – $30706/17148=1,80$.

Результаты расчетов коэффициентов корректирования нормируемых показателей технической эксплуатации фронтальных погрузчиков сведены в таблицу 3.

Табл. 3. Коэффициенты корректирования нормируемых показателей в зависимости от категории условий эксплуатации

Показатель	Коэффициенты корректирования для категории условий эксплуатации			
	1	2	3	4
Периодичность ТО	1,00	0,90	0,85	0,70
Наработка до капитального ремонта	1,00	0,75	0,60	0,55
Трудоемкость текущего ремонта	1,00	1,35	1,65	1,80
Расход запасных частей	1,00	1,35	1,65	1,80

Корректирование нормируемых показателей технической эксплуатации фронтальных погрузчиков в зависимости от природно-климатических условий

Районирование территории РФ по природно-климатическим условиям принято по данным [1]. Из 47 машин, находившихся под наблюдением, 20 работали в зоне умеренного климата, 22 – в зоне холодного, 4 – в зоне умеренно-холодного и одна – в зоне умеренно теплого влажного климата.

Для проверки гипотез о принадлежности одной генеральной совокупности выборок наработок на отказ погрузчиков, работавших в разных природно-климатических зонах, был использован критерий серий. Результаты проверки гипотез показали, что средние значения наработок на отказ погрузчиков, работавших в зонах умеренного и холодного климата, существенно различаются, а выборки, полученные в зонах холодного и умеренно-холодного климата, можно объединить. Для полученных двух выборок средние значения наработок на отказ составили 1345 и 965 мото-ч, а коэффициенты корректирования представлены в таблице 4.

Табл. 4. Коэффициенты корректирования нормируемых показателей в зависимости от природно-климатических условий

Показатель	Коэффициенты корректирования для района	
	умеренного	холодного и умеренно-холодного
Периодичность ТО	1,00	0,70
Наработка до капитального ремонта	1,00	0,70
Трудоемкость текущего ремонта	1,00	1,40
Расход запасных частей	1,00	1,40

Корректирование трудоемкости текущего ремонта фронтальных погрузчиков в зависимости от наработки с начала эксплуатации

Жизненный цикл погрузчика был разбит на 6 интервалов, для каждого из которых определена средняя наработка на отказ (табл. 5).

Табл. 5. Коэффициенты корректирования трудоемкости текущего ремонта в зависимости от наработки с начала эксплуатации

Интервал наработки, мото-ч	До 2000	2000 – 4000	4000 – 6000	6000 – 8000	Свыше 8000
Наработка на отказ, мото-ч	1307	1631	1823	1461	1146
Коэффициент корректирования	1,40	1,10	1,00	1,25	1,60

Выявленная закономерность вступает в противоречие с общеизвестной формулой ухудшения показателей технического состояния машин, и в том числе наработки на отказ, по мере их старения. Вместо того чтобы постоянно снижаться, наработка на отказ в начальный период эксплуатации растет, и только после него начинает снижаться. Если в первом интервале наработки машины относительно невысокая наработка на отказ может быть обусловлена в определенной мере приработочными отказами, а также ее консервацией и транспортировкой перед продажей, то дальнейший рост наработки на отказ вызван отнюдь не улучшением технического состояния машины. Здесь мы столкнулись с ситуацией, заставляющей выйти за рамки стереотипов. Привычные закономерности безоговорочно действуют, когда ремонт выполняет владелец машины собственными силами, либо за свой счет. Сервис завода-изготовителя более дорогой, и владельцы машин в течение гарантийного срока стремятся выявить как можно больше слабых мест и заблаговременно выполнить у дилера ремонты, которые по истечении гарантийного срока обойдутся несравненно дороже. Дилеры также в этот период пристально наблюдают за техническим состоянием машин и часто выполняют ремонты не по потребности, а в плановом порядке. Этим обусловлена низкая наработка на отказ в интервале до 4000 мото-ч, который у многих производителей соответствует или близок к гарантийной наработке. Наконец, выявленную закономерность нельзя рассматривать как закономерность старения машины, так как в этот процесс вмешиваются конъюнктурные обстоятельства, искажающие известные физические закономерности.

Выводы

1. Основной особенностью классификации условий эксплуатации ДСМ является разнообразие их рабочих процессов, влекущее за собой разнообразие конструктивного устройства, нагрузочных режимов и других факторов. Дополнительно осложняет задачу классификации различный характер работы ДСМ в разных отраслях промышленности и строительства.

2. На основе статистической информации о надежности подконтрольных фронтальных погрузчиков, работающих в разных отраслях промышленности и строительства, выделены четыре категории условий их эксплуатации.

3. Обоснованы коэффициенты корректирования четырех показателей технической эксплуатации фронтальных погрузчиков в зависимости от категории условий эксплуатации, природно-климатических условий и наработки с начала эксплуатации.

Список литературы

1. Положение о техническом обслуживании и ремонте подвижного состава автомобильного транспорта / Минавтотранс. – М.: Транспорт, 1985 – 114 с.
2. Кузнецов Е.С., Болдин А.П., Власов В.М. и др. Техническая эксплуатация автомобилей: учебник для вузов. 4-е изд., перераб. и дополн. – М: Наука, 2001. – 535 с.

3. Павлишин С.Г., Стовец М.В., Павлишина Б.С. Корректирование режимов технического обслуживания с целью учета региональных условий эксплуатации // Мир транспорта и технологических машин. – 2020. – №1(68). – С. 25-33.
4. Захаров Н.С., Савин С.А., Иванкив М.М., Лушников А.А. Факторы, влияющие на продолжительность простоя транспортно-технологических машин в текущем ремонте // Нефтяное хозяйство. – 2014. – №4. – С. 82-84.
5. Рекомендации по организации технического обслуживания и ремонта строительных машин. МДС 12-8.2007 / ЦНИИОМТП. – М.: ФГУП ЦПП, 2007 – 70 с.
6. ГОСТ Р 2.601-2019. Единая система конструкторской документации. Эксплуатационные документы / Росстандарт. – М., 2019. – 43 с.
7. Карагодин В.И. Техническая эксплуатация машин (строительные и дорожные машины): учебник. – М.: КНОРУС, 2023. – 340 с.
8. Абрамов А.Н. Эксплуатационная надежность технических систем. – М.: МАДИ, 2019. – 120 с.
9. Статистические методы обработки эмпирических данных / ВНИИИМАШ. – М.: Изд-во стандартов, 1978. – 232 с.
10. Методические указания (надежность в технике). Методы оценки показателей надежности по эксплуатационным данным / РД 50-690-89. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 132 с.
11. Карагодин В.И., Карагодин Д.В. Формирование структуры ремонтного цикла автомобилей и их составных частей: монография. – М.: РУСАЙНС, 2021. – 128 с.

References

1. Regulations on maintenance and repair of rolling stock of motor transport / Minavtotrans. – М.: Transport, 1985 – 114 p.
2. Kuznetsov E.S., Boldin A.P., Vlasov V.M. et al. Technical operation of cars: textbook for universities. 4th ed., reprint. and supplement. – М.: Science, 2001. – 535 p.
3. Pavlishin S.G., Stovpets M.V., Pavlishina B.S. Adjustment of maintenance modes in order to take into account regional operating conditions // The world of transport and technological machines. 2020, №1(68), pp. 25-33.
4. Zakharov N.S., Savin S.A., Ivankiv M.M., Lushnikov A.A. Factors influencing the duration of downtime of transport and technological machines in current repair // Oil industry. 2014, no. 4, pp. 82-84.
5. Recommendations for the organization of maintenance and repair of construction machinery. MDS 12-8.2007 / TSNIIOMTP. – М.: FSUE CPP, 2007. – 70 p.
6. GOST R 2.601-2019. Unified system of design documentation. Operational documents / Rosstandart. – М., 2019. – 43 p.
7. Karagodin V.I. Technical operation of machines (construction and road machines): textbook. – М.: KNORUS, 2023. – 340 p.
8. Abramov A.N. Operational reliability of technical systems. – М.: MADI, 2019. – 120 p.
9. Statistical methods of empirical data processing / VNIINMASH. – М.: Publ. house of Standards, 1978. – 232 p.
10. Methodological guidelines (reliability in technology). Methods for assessing reliability indicators based on operational data / RD 50-690-89. – М.: Publ. house of Standards, 1990. – 132 p.
11. Karagodin V.I., Karagodin D.V. Formation of the structure of the repair cycle of cars and their components: monograph. – М.: RUSAINS, 2021. – 128 p.

Сведения об авторах:

Information about authors:

Карагодин Виктор Иванович – доктор технических наук, профессор	Karagodin Viktor Ivanovich – doctor of technical sciences, professor
Горелов Алексей Юрьевич – старший преподаватель	Gorelov Alexey Yuryevich – senior lecturer
Салагубов Александр Иванович – аспирант bik250248@yandex.ru	Salagubov Alexander Ivanovich – postgraduate student

Получена 07.06.2023