

**ОЦЕНКА И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РЕСУРСА ЭКСПЛУАТАЦИИ
СЦЕПЛЕНИЯ ПОЖАРНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ АЦ 3,0 – 40 (43206) 1МИ**

ASSESSMENT AND PREDICTION OF SERVICE LIFE OF CLUTCH

FIRE-FIGHTING VEHICLE ATS 3,0 – 40 (43206)

Л.А. Новопашин, кандидат технических наук, доцент, **С.В. Балаба**, аспирант

Уральского государственного аграрного университета

(Екатеринбург, ул. Карла Либкнехта, 42),

В.В. Крудышев, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент,

И.С. Лазарев, кандидат сельскохозяйственных наук, старший преподаватель,

А.В. Филиппов, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент,

Н.В. Хабибуллина, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник

Уральского института ГПС МЧС России

(Екатеринбург, ул. Мира, д.22).

Рецензент: В.А. Тимкин, кандидат технических наук, доцент

Уральского государственного аграрного университета

Аннотация

Пожарные автомобили создаются на базовом шасси стандартных грузовых и легковых автомобилей, но в отличие от них имеют более тяжелые условия эксплуатации: выезд с непрогретым двигателем, движение со значительными ускорениями и частыми торможениями при полной загрузке автомобиля, работа в любых климатических условиях. По этой причине они быстрее изнашиваются, и наиболее частым отказом является выход из строя сцепления. В эксплуатационной документации ведется учет пробега пожарных автомобилей и наработки двигателя в стационарном режиме, а также выполненных ремонтов. Анализ этих данных позволил собрать достаточный объем статистического материала по отказам сцепления, позволяющий определить его ресурс, средний пробег до отказа, вероятности отказа и безотказной работы, а также выполнить прогноз срока ремонта механизма. Алгоритм расчета включает составление сводной таблицы об отказах сцепления в порядке возрастания показателя надежности, определение среднего значения пробега автомобиля и наработки до отказа, нахождение доверительного интервала и расчет вероятности отказа. В результате определили пробег автомобиля до предельного состояния сцепления с учетом гамма-процентной наработки до отказа $\gamma=80\%$, что соответствует вероятности отказа $P=0,8$, что позволяет

прогнозировать проведение ремонта с учетом фактических значений пробега и наработки, а также планировать финансовые средства на проведение восстановительных операций.

Ключевые слова: пожарные автомобили, сцепление, расчет, показатели надежности, определение ресурса, прогнозирование отказов.

Abstract

Fire trucks are created on the base chassis of cars and trucks, but unlike them have more severe operating conditions: check with the engine cold, the movement with considerable accelerations and frequent braking fully loaded car, work in all climatic conditions. For this reason, they wear out faster, and the most common failure is the refusing of the clutch. In the operational documentation record is kept of the mileage of fire trucks and engine working in the steady state, and also performed repairs. The analysis of these data allowed us to collect sufficient statistical material on the failure of the clutch to determine its resource, the average mileage before failure, likelihood of failure and uptime, and perform forecast of the period of the repair mechanism. The calculation algorithm includes the tabulation of failures clutch in ascending order of the reliability index, determination of the average value of vehicle mileage and time to failure, being trust interval and calculation of probability of failure. The result is determined by the mileage of the car to the limit of adhesion taking into account gamma-percent time to failure $\gamma=80\%$, which corresponds to the failure probability $P=0.8$, which allows to predict repairs based on the actual values of mileage and experience and to plan funds for recovery operations.

Keywords: fire trucks, clutch, calculation, reliability, resource definition, the failure prediction.

Современные пожарные автомобили являются сложными техническими устройствами, состоящими из множества взаимодействующих узлов и механизмов. Отказ даже одного из узлов может привести к выводу из строя всей системы, что приведет к снижению эксплуатационных характеристик автомобиля, его оперативности и готовности к выезду [1, 2]. Вместе с тем, в отличие от базовых шасси, на которых они создаются, пожарные автомобили имеют весьма экстремальный режим эксплуатации: выезд с непрогретым двигателем, движение со значительными ускорениями и частыми торможениями при полной загрузке автомобиля, работа в любых климатических условиях [3, 4], что приводит к частым отказам, в том числе сцепления.

В ряде научных работ рассматриваются вопросы диагностирования сцепления, математического моделирования процессов, прогнозирования его долговечности, оценки изменения характеристик и т.д. [5, 6, 7, 8]. Однако представляет интерес изучение

процесса эксплуатации сцепления пожарных автомобилей, с целью определения параметров его надежности.

Цель исследования – изучение параметров надежности сцепления пожарного автомобиля АЦ 3,0-40 (43206) 1МИ и прогнозирование срока его эксплуатации.

Определение параметров надежности сцепления автоцистерны позволит планировать сроки своевременного восстановления состояния этого механизма и финансовые средства на проведение ремонта или обслуживания.

Результаты исследования.

Самым распространенным типом пожарного автомобиля является автоцистерна. В настоящее время на вооружении Екатеринбургского пожарно-спасательного гарнизона находится 69 автоцистерн, из них 18 единиц – это АЦ 3,0-40 (43206) 1МИ. Пожарные автомобили этой марки являются самыми распространенными в гарнизоне, что позволило собрать достаточный объем материала и объединить автоцистерны этой марки в статистическую совокупность.

Каждый пожарный автомобиль имеет формуляр – специальный документ, в котором фиксируются данные о выполняемых ремонтах и техническом обслуживании, с указанием даты ремонта, пробега автомобиля, наработки спецагрегата на момент ремонта, наименования восстанавливаемого узла или агрегата, либо типа ремонта. Кроме того, в том же документе ежемесячно ведется учет пробега автомобиля по спидометру L (км), стационарной работы со спецагрегатом τ (мото-ч) и приведенного пробега $L_{\text{пр}}$ (км). При этом приведенный пробег определяют по формуле:

$$L_{\text{пр}} = L + 50 \cdot \tau \quad (1)$$

Были исследованы 14 формуляров АЦ 3,0-40 (43206) 1МИ, что позволило собрать и систематизировать информацию об их эксплуатации и возникающих неисправностях. В таблице 1 представлены данные формуляров изучаемых автоцистерн, а на рисунке 1 – общее количество поломок узлов и систем.

Таблица 1

Данные формуляров АЦ 3,0-40 (43206) 1МИ

Подразделение	Год выпуска автоцистерны	Пробег L , км	Наработка спецагрегата τ , мото-ч	Приведенный пробег $L_{\text{пр}}$, км
ПСЧ-1	2009	40881	1167,8	99269,6
ПСЧ-2	2013	9425	298,08	24329
	2003	30053	1515,96	105851

ПСЧ-3	2013	2220	1051	16422
	2013	2539	8288	17813
ПСЧ-5	2001	61075	1632,9	142720
ПСЧ-6	2006	36057	1452,2	108666,2
ПСЧ-7	2010	29712	61191	309358
ПСЧ-8	2005	41650	1584,7	120885
ПСЧ-9	2013	10675	157,79	18564,5
	2010	8946	132,8	15586
ПСЧ-9 ОП	2005	52542	1888,23	146953,5
ПСЧ-19	2005	41287	2512,35	166904,5
ПСЧ-105	2010	18417	49408	92721,17-

На рисунке 1 не указаны данные о поломках, произошедших один раз. К таким относятся: коробка отбора мощности, цистерна, подвеска, компрессор, приборы освещения и радиатор.

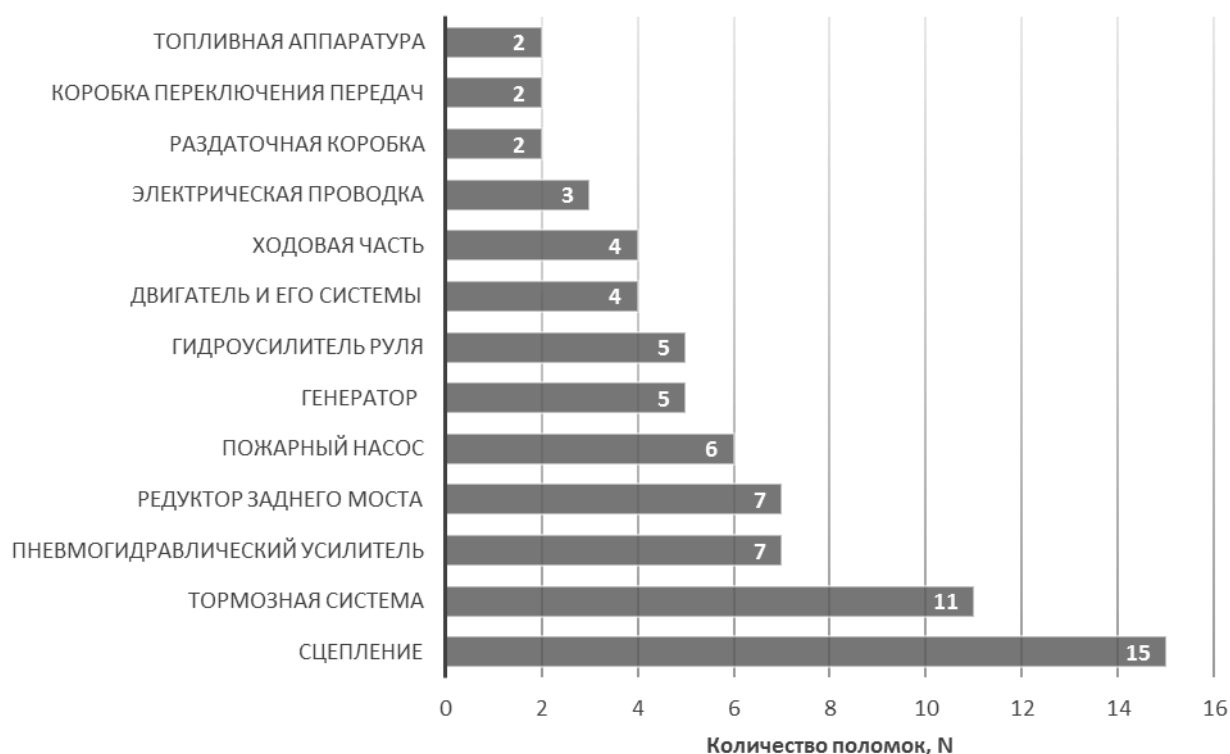


Рисунок 1 – Число поломок узлов и систем АЦ 3,0-40 (43206) 1МИ

Как следует из данных рисунка 1, основными узлами и системами, наиболее часто выходящими из строя, являются сцепление, тормозная система, пневмогидравлический усилитель, редуктор заднего моста и пожарный насос. Частично это можно объяснить режимом движения пожарных автоцистерн – с полной загрузкой, частыми ускорениями,

торможениями и переключением передач. Однако опытность водителя и климатические условия [3, 4] также оказывают влияние на состояние узлов и агрегатов пожарного автомобиля.

Ранее была описана методика оценки и прогнозирования ресурса узлов и агрегатов пожарных автомобилей [9]. По описанной методике были определены ресурс и параметры надежности сцепления автоцистерн АЦ 3,0-40 (43206) 01МИ, находящихся в Екатеринбургском пожарно-спасательном гарнизоне. Для систематизации данных о поломках, была составлена сводная таблица возникновения отказов сцепления в порядке возрастания пробега автомобиля (табл. 2). В результате определили средние значения пробега \bar{t} и приведенного пробега $\bar{t}_{пр}$ до отказа.

Таблица 2

Возникновение отказов сцепления АЦ 3,0-40 (43206) 01МИ

№ п/п	Подразделение	Госномер автомобиля	Пробег L , км	Приведенный пробег $L_{пр}$, км	Дата отказа
1	ПЧ-9 ОП	P101EA 96	87	612	06.2015
2	ПЧ-9 ОП	P101EA 96	329	859	04.2015
3	ПЧ-5	У792ЕТ 96	2059	5914	10.2015
4	ПЧ-9 ОП	P101EA 96	2933	5134,5	06.2009
5	ПЧ-5	У792ЕТ 96	3859	12124	10.2014
6	ПЧ-7	P599УВ 96	7078	19731	08.2014
7	ПЧ-9 ОП	P101EA 96	7305	23124,5	02.2015
8	ПСЧ-6	X203РН 96	7759	17090,5	01.2008
9	ПСЧ-6	X203РН 96	8396	20808,5	09.2009
10	ПСЧ-105	P003ОВ 96	17829	48934	09.2015
11	ПЧ-1	O003УС 96	19746	54103,3	07.2012
12	ПЧ-5	У792ЕТ 96	20193	47647,45	09.2007
13	ПЧ-5	У792ЕТ 96	34720	74103	08.2013
14	ПЧ-19	X249РН 96	38253	176439,77	01.2015
15	ПЧ-9 ОП	P101EA 96	41554	109288,47	06.2008
			$\bar{t} = 14140$	$\bar{t}_{пр} = 41060$	

Учет и применение в расчете приведенного пробега необходимы, поскольку пожарные автоцистерны имеют дополнительную трансмиссию для привода насоса, при включении и выключении которой используется сцепление автомобиля. Таким образом,

сцепление имеет наработку как в километрах пробега, так и в моточасах. Данные таблицы 2 наглядно показывают, что наработка сцепления в моточасах, выраженная в приведенном пробеге, имеет гораздо большую долю в суммарном приведенном пробеге, чем пробег автомобиля по спидометру. Однако при движении автомобиля сцепление используется чаще, поэтому трудно определить, какой режим работы сцепления оказывает большее влияние на его износ и надежность. В дальнейших расчетах будут использоваться значения приведенного пробега автоцистерны.

На рисунке 2 представлено разделение количества отказов сцепления автоцистерны АЦ 3,0-40 (43206) 1МИ по периодам. За диапазон одного периода взято среднее значение приведенного пробега до отказа, представленное в таблице 2.

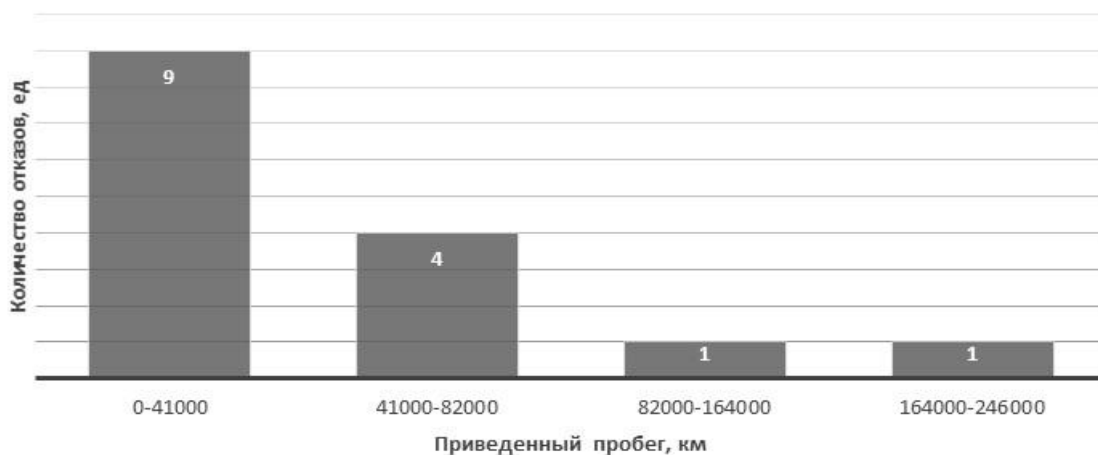


Рисунок 2 Количество отказов сцепления по периодам приведенного пробега

В соответствии с методикой [9] определили среднеквадратическое отклонение $\sigma = 12463,93$. С учетом доверительной вероятности $\beta = 0,90$ рассчитали абсолютную ошибку $e_\beta = 21936,53$.

Затем определили верхнюю t_β^B и нижнюю t_β^H доверительные границы, а также доверительный интервал I_β :

$$t_\beta^B = 62644,36 \text{ км};$$

$$t_\beta^H = 18808,98 \text{ км};$$

$$I_\beta = 43835,38 \text{ км}.$$

Полученные значения доверительных границ позволяют выполнить отсеивание исходных данных, которое приведено в таблице 3.

Таблица 3

Отсеивание исходных значений

№ п/п	Приведенный пробег $L_{ПР}, км$	Нижняя граница t_{β}^H	Верхняя граница t_{β}^B	Вывод о выполнении уравнения
1	612	18808,98	62644,36	Не выполняется
2	859			Не выполняется
3	5914			Не выполняется
4	5134,5			Не выполняется
5	12124			Не выполняется
6	19731			Выполняется
7	23124,5			Выполняется
8	17090,5			Выполняется
9	20808,5			Выполняется
10	48934			Выполняется
11	54103,3			Выполняется
12	47647,45			Выполняется
13	74103			Не выполняется
14	176439,77			Не выполняется
15	109288,47			Не выполняется

Поскольку крайние значения не входят в доверительный интервал, они были исключены из расчета, и среднее значение приведенного пробега $\bar{t}_{ПР}$ было пересчитано (табл. 4).

Таблица 4

Пересчет среднего значения приведенного пробега до отказа

№ п/п	Приведенный пробег $L_{ПР}, км$
1	19731
2	23124,5
3	17090,5
4	20808,5
5	48934
6	54103,3
7	47647,45
	$\bar{t}_{ПР} = 33062,75$

Затем определили вероятность отказа и вероятность безотказной работы сцепления автоцистерны в зависимости от приведенного пробега. По результатам расчета были построены графики вероятности безотказной работы и вероятности отказа, приведенные на рисунке 3.

В соответствии с ГОСТ Р 53328 – 2009, одним из требований к надежности специального агрегата пожарных автомобилей (в нашем случае пожарного насоса) и его привода является гамма-процентная наработка до отказа $\gamma=80\%$, что соответствует вероятности отказа $P_{\text{отк}}=0,8$.

$$P_{\text{отк}} = 1 - e^{-\lambda \cdot L} = 0,8 \rightarrow -e^{-\lambda \cdot L} = 0,8 - 1 = -0,2 \quad (2)$$

$$\ln(e^{-\lambda \cdot L}) = \ln 0,2 \rightarrow -\lambda \cdot L = \ln 0,2 \quad (3)$$

$$L = -\frac{\ln 0,2}{\lambda} = 52059,6 \text{ км} \quad (4)$$

Таким образом, наработка сцепления автоцистерны АЦ 3,0-40 (43206) 1МИ до отказа составляет около 52000 км приведенного пробега. Это значение можно использовать для прогнозирования ремонта сцепления автомобиля, с учетом его реального приведенного пробега. В таблице 5 приведены данные по прогнозу ремонта сцепления изученных автомобилей.

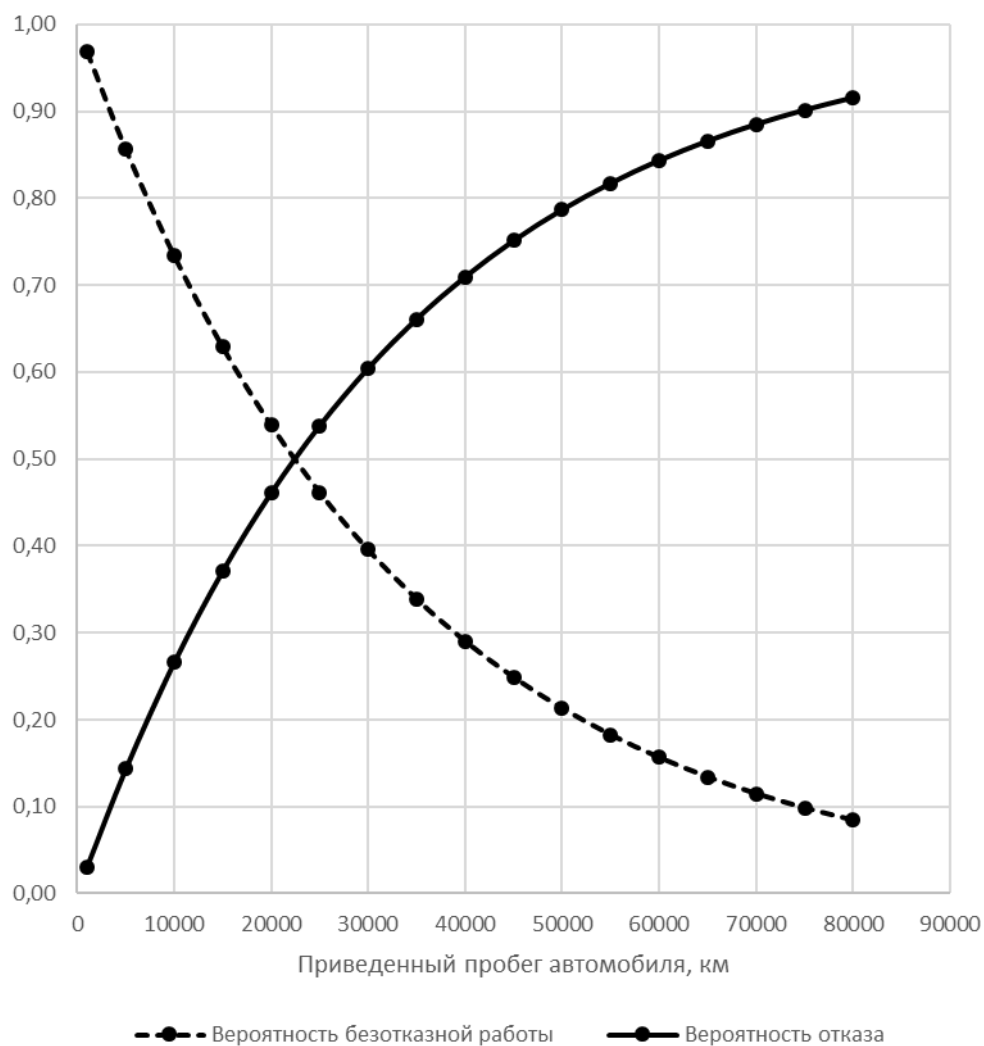


Рисунок 3 Графики вероятностей отказа и безотказной работы

Выводы. В результате исследования были получены статистические данные по отказам пожарных автомобилей АЦ 3,0-40 (43206) 01МИ. Основываясь на статистических данных были рассчитаны параметры надежности сцепления: среднее значение пробега до отказа, вероятности отказа и безотказной работы, наработка до отказа. Полученные результаты позволяют определить ресурс сцепления пожарных автоцистерн и, с учетом среднего приведенного пробега, прогнозировать вероятный срок восстановления его исправного состояния, а также планировать необходимые финансовые средства.

Таблица 5. Прогноз ресурса и сроков замены сцепления АЦ 3,0-40 (43206) 1МИ

№ ПСЧ	Гос. номер автомобиля	L ^{нач} ₂₀₁₅ , км	L ^{нач} ₂₀₁₆ , км	Средний пробег за год, км	Пробег после ремонта, км	Пробег следующего ремонта, км	L ^{нач} ₂₀₁₇ , км	L ^{нач} ₂₀₁₈ , км	Год ремонта сцепления
ПСЧ-1	О 003 УС 96	88230,17	92721,17	15453,52	45166,3	106103,3	108175	123628,21	2016
ПСЧ-2	Р 783 ВС 96	4205,23*	16083,54	10985,43	-	52000	27069	38054,4	≈2019
ПСЧ-3	В 781 ВС 96	4138	13216	6608	-	52000	19824	26432	-
ПСЧ-3	В 782 ВС 96	5414	13702	6851	-	52000	20553	27404	-
ПСЧ-5	У 792 ЕТ 96	135390,45	140632,45	11719,37	1359	191273,45	152352	164071	-
ПСЧ-6	Х 203 РН 96	106731,79	118590,89	11859,1	48685,01	121906	130450	142309	2016
ПСЧ-7	Р 599 УВ 96	53484	60429	12085,8	6392	106037	72515	84600	-
ПСЧ-8	Х 202 РН 96	104738,6	114297,23	9914,02	Не известен**	Не известен	124211	134125	-
ПСЧ-9	В 018 ВТ 96	3725	8698	4349	-	52000	13047	17396	-
ПСЧ-9	Р 598 УВ 96	3624	6600	3300	-	52000	9900	13200	-
ОП ПСЧ-9	Х 202 РН 96	136859,5	141287,5	10092	2313	190975	151380	161472	-
ПСЧ-19	Х249 РН 96	88635,71	92984,21	9298,4	5800	140635,7	102282,6	111581	-
ПСЧ-105	Р 003 ОВ 96	43314	48082	9616,4	0	102804	57698,4	67314,8	2016
ОП ПСЧ-2	Р 945 УС 96	101581,62	104132,06	3916,97	Не известен**	Не известен	108049	111965,99	-

Примечание: * автомобиль эксплуатировался неполный год;

** автомобиль был передан из другого подразделения и записи о замене или ремонте сцепления в новом формуляре отсутствуют.

Библиографический список

1. *Сорокоумов В.П., Саламатов А.Г.* Изменение параметра потока отказов в зависимости от пробега пожарных автомобилей // Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. 2015. №1. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/izmenenie-parametra-potoka-otkazov-v-zavisimosti-ot-probega-pozharnyh-avtomobiley> (дата обращения: 12.05.2017).
2. *Киселев В.В., Пучков П.В., Топоров А.В.* Снижение износа трущихся деталей пожарных автомобилей за счет применения высокоэффективных металлсодержащих присадок к маслам // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. 2014. №1 (5). URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/snizhenie-iznosa-truschihsya-detaley-pozharnyh-avtomobiley-za-schet-primeneniya-vysokoeffektivnyh-metallsoderzhaschih-prisadok-k> (дата обращения: 12.05.2017).
3. *Савин М.А., Хафизов Ф.Ш.* Пути и способы повышения приспособленности специальной мобильной техники к низкотемпературным условиям для их эффективной эксплуатации // Нефтегазовое дело: электронный научный журнал. 2014. № 6. С. 606–633. URL: http://ogbus.ru/issues/6_2014/ogbus_6_2014_p606-633_SavinMA_ru.pdf (дата обращения: 12.05.2017).
4. *Приймак В.В., Марченко М.А., Саратов Д.Н.* Климатические факторы, воздействующие на работу основных агрегатов пожарной техники при эксплуатации в условиях низких температур // Строительные и дорожные машины. 2016. №10. С.24-27.
5. *Есаков А.Е.* К вопросу о применении методики прогнозирования долговечности фрикционных накладок к автомобильным сцеплениям // Известия МГТУ. 2014. №3 (21). URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/k-voprosu-o-primenenii-metodiki-prognozirovaniya-dolgovechnosti-friktsionnyh-nakladok-k-avtomobilnym-stseplenyam> (дата обращения: 12.05.2017).
6. *Пеньков Е.А., Хуснетдинов Ш.С., Гарипов Р.И.* Диагностирование сцепления автомобиля по показателям вибрации силового агрегата // Вестник ОГУ. 2014. №10 (171). URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/diagnostirovanie-stsepleniya-avtomobilya-po-pokazatelyam-vibratsii-silovogo-agregata> (дата обращения: 12.05.2017).
7. *Рябов И.М., Чернышов К.В., Голубев Д.А., Талызов А.М.* Математическое моделирование процесса трогания автомобиля с места при наличии дополнительной упругодемпфирующей связи в трансмиссии // Известия ВолгГТУ. 2012. №5. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/matematicheskoe-modelirovanie-protsesta-troganiya-avtomobilya-s-mesta-pri-nalichii-dopolnitelnoy-uprugodempfiruyushey-svyazi-v> (дата обращения: 12.05.2017).

8. *ПРОКОПЬЕВ М. В., ПЕТУНИН В. П., ТАРАЗАНОВ С. П.* Оценка изменений характеристик сцепления и привода сцепления в процессе эксплуатации легкового автомобиля // Известия МГТУ. 2014. №2 (20). URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-izmeneniy-harakteristik-stsepleniya-i-privoda-stsepleniya-v-protssesse-ekspluatatsii-legkovogo-avtomobilya> (дата обращения: 12.05.2017).
9. *БАЛАБА С. В., КРУДЫШЕВ В. В., КОРНИЛОВ А. А., НОВОПАШИН Л. А., ХАБИБУЛЛИНА Н. В., ЛАЗАРЕВ И. С.* Методика оценки и прогнозирования ресурса эксплуатации узлов и агрегатов базовых шасси пожарных автомобилей // Аграрный вестник Урала. 2017. № 03 (157). С. 50-53.
10. *АСАНБЕКОВ К. А., НОВОПАШИН Л. А., ДЕНЕЖКО Л. В., КОРНЯКОВ Ю. С.* Анализ скоростных свойств подвижного состава автомобильного транспорта // Аграрное образование и наука. 2013. № 04. С. 2.
11. *НОВОПАШИН Л. А., КОРОТАЕВ А. А.* Критерии изменения и оценки параметров состояния и эксплуатационных качеств сельскохозяйственных машин // Достижения науки – агропромышленному производству. Материалы I Международной научно-технической конференции. 2011. С.150-155.
12. *El Meouche R., Abunemeh M., Hijaze I. et al.* Developing Optimal Paths for Evacuating Risky Construction Sites // JOURNAL OF CONSTRUCTION ENGINEERING AND MANAGEMENT. Vol. 144. Iss. 2. Article Number: 04017099. Published: FEB 2018.