

УДК 629.113(015)

m.savin50@mail.ru

**ОБ АКТИВНОМ СПОСОБЕ ПОВЫШЕНИЯ ПРИСПОСОБЛЕННОСТИ  
ТРАНСМИССИЙ ПОЖАРНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ К ЗИМНИМ УСЛОВИЯМ  
ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ**

**ON AN ACTIVE METHOD FOR IMPROVING THE ADAPTABILITY  
OF FIRE TRUCK TRANSMISSIONS TO WINTER OPERATING CONDI-  
TIONS**

*Барбин Н. М., доктор технических наук,  
Савин М. А., кандидат технических наук, доцент,  
Мокроусова О. А., доктор педагогических наук, доцент,  
Борисов А. Л., Уральский институт  
ГПС МЧС России, Екатеринбург,  
Федотов В. В., ГКУ Республики Бурятия по делам  
ГО, ЧС и обеспечению пожарной безопасности, Оер,  
Зырянов Д. Ю., независимый исследователь, Якутск*

*Barbin N., Savin M., Mokrousova O., Borisov A.,  
The Ural Institute of State Firefighting Service  
of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Yekaterinburg  
Fedotov V., the State Public Institution for Civil Defence,  
Emergency Situations and Fire Safety of the Republic of Buryatia, Oer  
Zyryanov D., independent researcher, Yakutsk*

Данная работа является продолжением исследования, изложенного в статье «Пассивный способ повышения приспособленности трансмиссий пожарных автомобилей к зимним условиям функционирования». Действительно, тепловой режим оказывает прямое воздействие на результативность работы силовых передач пожарных автомобилей (ПА). Поэтому предложено и экспериментально исследовано на эффективность техническое решение, обеспечивающее повышение тягово-скоростных качеств, долговечности, экономичности пожарных автомобилей в низкотемпературных условиях.

Подогрев трансмиссионного масла ведущего моста электрическим нагревателем (ТЭНом) осуществляли от двух автономных аккумуляторов, соединенных последовательно с результирующим напряжением 24 В. Самодельный ТЭН номинальной мощностью 115 Вт был вмонтирован в пробку сливного отверстия картера переднего ведущего управляемого моста пожарной автоцистерны АЦ-5,0-40(УРАЛ-3255). На пожарном автомобиле было установлено оборудование для измерения температуры масла, включающее датчик температуры ДТС014-50М.В3.20/3 и показывающий прибор ТРМ501, размещенный в кабине водителя. В процессе исследования были смоделированы основные фазы несения службы ПА, находящегося в расчете: его следование по типовому маршруту (транспортный режим работы) при температуре окружающей среды  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , на стоянках как на месте вызова (пожара), а также после возвращения ПА в гараж подразделения, т. е. при несении службы в режиме ожидания в условиях естественной конвекции на спокойном воздухе при температуре  $+15\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Установлено, что электроподогрев весьма эффективен, т. к. его применение сокращает на одну минуту время преодоления ПА маршрута протяженностью 3,6 км. ТЭН значительно ускоряет процесс нагрева масла в ведущем мосту на спокойном воздухе депо, в меньшей степени при следовании специальной мобильной техники и очень незначительно – при стоянке на месте вызова.

*Ключевые слова:* зимние условия, пожарный автомобиль, ведущий мост, температурный режим работы, трансмиссионное масло, электрический подогрев, маршрут следования, эффективность.

This work is a continuation of the study set forth in the article "Passive method of increasing the adaptability of fire engine transmissions to winter operating conditions [1]. Indeed, the thermal regime has a direct impact on the performance of power transmissions of fire engines (FE). Therefore, the present work proposes and experimentally investigated for efficiency a technical solution providing an increase in traction-speed qualities, durability, economy of fire vehicles in low-temperature conditions.

The transmission oil of the drive bridge was heated by an electric heater (EH) from two autonomous batteries connected in series with a resulting voltage of 24 V. The homemade EH with a nominal power of 115 W was mounted in the plug of the drain hole of the crankcase of the front driving controlled bridge of the fire tanker WT-5,0-40 (URAL-3255). On the fire truck, oil temperature measuring equipment was installed, including a temperature sensor TS 014-50M.B3.20/3 and showing a device TPM501 located in the driver's cab. During the study, the main phases of carrying out the FE service in the calculation were modeled. As it is, it follows a typical route (transport mode of operation) at ambient temperature  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , in parking lots as at the place of call (fire), as well as after the FE returns to the unit garage, i.e. when serving in standby mode in conditions of natural convection in calm air at a temperature of  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

It was found that electric heating is very effective. The use reduces by one minute the time to overcome the FE route with a length of 3,6 km. EH significantly accelerates the process of heating oil in the leading bridge in the calm air of the depot, to a lesser extent when following special mobile equipment and very slightly when parking at the place of call.

*Keywords:* winter conditions, fire truck, driving bridge, operating temperature, transmission oil, electric heating, route, efficiency.

В предыдущей статье по теме повышения адаптации силовых передач пожарных автомобилей (ПА) исполнения У к низким температурам [1] отмечалось следующее.

В осенне-зимний периоды года имеет место усложнение обстановки с пожарами. В указанные сезоны их количество возрастает, увеличивается время следования ПА к месту вызова и среднее время обслуживания вызова. Именно на эти месяцы приходится наибольшее количество жертв и величин ущерба от пожаров [2].

Существенное влияние на работоспособность элементов ПА оказывает их тепловое состояние, обусловленное

воздействием окружающей среды. Время, регламентированное нормативами ПСП для оперативного выезда ПА из гаража, не превышает одной минуты, поэтому в начальный период следования силовой агрегат и трансмиссия ПА работают в режиме прогрева и не обеспечивают подведение полной мощности к ведущим колесам. Это приводит к ухудшению тягово-скоростных, ресурсных и экологических параметров ПА, перерасходу ГСМ. При продолжительном внегаражном пребывании ПА зимой, температура масла в агрегатах силовых передач ПА может понизиться до значений ниже предельно допустимых. Это может привести к невозможности

следования ПА в подразделение либо к месту следующего вызова, задержкам в тушении пожара, срыву выполнения боевой задачи. Поэтому, исходя из специфических условий эксплуатации ПА, обоснование способов и средств тепловой подготовки ДВС и агрегатов трансмиссии ПА в гаражах, а также их тепловой защиты во время внегаражного пребывания в условиях низких температур являются актуальными задачами.

Было экспериментально исследовано на эффективность техническое решение [1], обеспечивающее повышение динамических качеств, долговечности, экономичности ПА в низкотемпературных условиях. Показано что приспособленность трансмиссии ПА к низким температурам воздуха до минус 15–20 °С увеличивается при реализации такого пассивного способа, как эффективная теплоизоляция ведущего моста. Пенополиуретановая теплоизоляция ведущего моста ускоряет процессы самоподогрева запаса трансмиссионного масла в агрегате в начале следования специальной мобильной техники, а также замедляет темп его охлаждения при стоянках на месте вызова и в депо.

Однако очевидно, что при более низких температурах окружающей среды появляется объективная необходимость в применении активных способов повышения адаптации силовых передач ПА, а в особо суровых климатических условиях – возможна комбинация активных и пассивных способов.

Сущность активных способов заключается в перераспределении расходных долей теплового баланса, дополнительном подводе (или наоборот – отводе) теплоты от модулей термодинамической системы, к примеру, как в данном случае – в суровых зимних условиях (ОХЛ) актуален добавочный нагрев, напротив, в жару – орошение поверхностей и т. д.

## **1. Анализ существующих технических решений**

Естественно, при рассмотрении указанных вопросов могут быть использованы некоторые результаты исследований способов и средств тепловой подготовки автотранспортных средств (АТС) при их безгаражном хранении. Действительно, вопросы подготовки АТС к эксплуатации при отрицательных температурах исследовались рядом ученых. В указанных работах оценивалась эффективность различных способов тепловой подготовки двигателей и трансмиссий при безгаражном содержании АТС.

Однако исходя из нормативных требований к содержанию ПА в гаражах пожарных депо многие из этих способов (например, подогрев паром, ИК-подогревателями электрическими или на газовом топливе и т. д.) являются неприемлемыми. Таким образом, особенности эксплуатации ПА не позволяют в полной мере распространить в ГПС результаты исследований АТС.

Вместе с тем, существуют некоторые общие подходы, способствующие сравнительно эффективному функционированию ПА умеренного климатического исполнения при низких температурах окружающей среды при выполнении боевых задач по спасанию людей, тушению пожаров, ликвидации ЧС, проведению АСР [3, 4, 5].

В настоящее время основным мероприятием, обеспечивающим удовлетворительную работу пожарно-спасательной техники в низкотемпературных условиях, является ее содержание в отопляемых депо при температуре воздуха не ниже плюс 12 °С (285 К) [3]. Тем не менее Е. М. Желваковым обоснованы [6] диапазоны рациональных значений температур содержания элементов ПА в отопляемом гараже зимой. Так, температуры масла в КПП + 40...50 °С, а также охлаждающей жидкости и моторного масла в двигателе ЗИЛ-508.10 в диапазоне + 50...60 °С обеспечивает зимой, при радиусе выезда 3...6 км, увеличение средней

скорости следования ПА по вызову на 20...25 %.

Для снижения потерь мощности в агрегатах трансмиссии и расхода топлива эффективным способом является применение специальных «северных» трансмиссионных масел ТМ-5-12рк и ТС-10-ОТП, обеспечивающих функционирование мобильных машин в диапазоне температур от плюс 20 до минус 50 °С (223 К). При правильном подборе трансмиссионного масла, как показали исследования [7], даже при температуре минус 30 °С (243 К) возможно снижение потерь мощности в агрегатах силовой передачи, а также уменьшение перерасхода топлива в начальный момент движения не менее чем в 4 раза.

Следует отметить, что специальные «северные» масла не всегда имеются в наличии, в таких ситуациях применяется наиболее распространенная марка ТСп-10-

ОКП с температурой застывания минус 40 °С.

Надежность работы зимой рабочего оборудования ПА (гидравлического, пневматического, агрегатов трансмиссии и т. п.) может быть повышена применением для теплоизоляции пластичных смазок (литол, солидолы, технический вазелин). Коэффициент теплопроводности таких смазок почти в 500 раз меньше теплопроводности стали. Расчеты показывают [8], что при покрытии конструкций слоем смазки теплоотдача этих конструкций может быть уменьшена в 12...20 раз.

В ряде стран (США, Канада, Швеция) уделяется большое внимание выпуску мобильной техники в северном исполнении. Так, например, известен канадский снегоболотоход «Foremost Husky 8» (рис. 1) рассчитанный на минимальную температуру эксплуатации минус 54 °С (219 К) [9].



Рисунок 1. Канадский снегоболотоход «Foremost Husky 8»



В его конструкции предусмотрен электрогенератор мощностью 21 кВт. Генератор необходим для электроподогрева следующих узлов и агрегатов: цистерны (15 кВт); поддона с маслом (0,2 кВт); трансмиссии (0,2 кВт); системы охлаждения ДВС (2,3 кВт); кабины (1,5 кВт).

В результате эксплуатации таких АТС себестоимость перевозок на Аляске только на 30...50 % выше средней стоимости автоперевозок в США, в то время как на северо-востоке нашей страны себестоимость перевозки на грузовом автомобиле в 2...2,3 раза выше общероссийской [10].

Основные причины столь низкой экономичности зимних перевозок таковы. В России не производятся автомобильные шасси в северном исполнении.

В практике отечественного пожарного машиностроения активный метод адаптации применен в пожарно-спасательном автомобиле ПСА-С6,0-40/100(6339) модель 40ВР исполнения ХЛ производства ОАО «Варгашинский завод противопожарного оборудования» [11]. В данном автомобиле лентой электрообогрева оборудованы краны для слива воды из пожарного насоса и из вихревого теплогенератора (ВТГ).

## 2. Разработка технического решения

Задачей технического решения является обеспечение усиленного подогрева трансмиссионного масла, находящегося в картерах агрегатов силовых передач оперативной спецтехники не только теплотой, выделяющейся при их работе, но также за счет утилизации теплоты, генерируемой функционирующим электрическим подогревателем – ТЭНом. Это весьма важно для обеспечения эксплуатации ПА в суровых климатических условиях, в частности для предотвращения значительного увеличения его вязкости, которая исключает какую-либо возможность возвращения в подразделение либо следования к месту другого пожара (ЧС),

срыву выполнения боевой задачи и при минимальных конструктивных доработках.

Таким образом, подогрев призван обеспечить ускоренный прогрев до рабочих температур и оптимальную величину вязкости масла в трансмиссии, минимизацию износов деталей, в конечном счете повышение уровня тягово-скоростных свойств ПА, его производительности, экономичности и долговечности.

В ходе сезонного технического обслуживания перед началом осенне-зимнего периода эксплуатации в сливные отверстия картеров элементов силовой передачи ПА вместо штатной пробки устанавливают пробку с вмонтированным в нее электрическим подогревателем максимальной мощностью, адекватной минимальным температурам воздуха данного пожарно-спасательного гарнизона.

Весной при проведении сезонного технического обслуживания пробка с подогревателем заменяется штатной.

Ожидаемым результатом предложенного технического решения является компенсация диссипации конвекцией теплоты, выделяющейся при работе агрегатов трансмиссии ПА посредством подогрева ТЭНами смазочного масла в их картерах, что особенно важно в суровых климатических условиях. Это позволит интенсивнее нагревать имеющийся запас масла. При использовании электроподогревателя априори будут увеличиваться КПД и долговечность данных узлов зимой, т. к. указанные показатели во многом зависят от температуры трансмиссионного масла в них.

В конечном счете применением активной тепловой защиты элементов силовой передачи достигается повышение приспособленности парка ПА исполнения У к низким температурам окружающего воздуха, повышение их тягово-скоростных качеств, снижение величин социально-экономических потерь от пожаров и других ЧС, при оборудовании ТЭНами агрегатов силовой передачи на осенне-зимний период.

### 3. Методические вопросы проведения эксперимента

Для предварительной оценки эффективности предлагаемого технического решения полигонные эксперименты были проведены весной 2019 г. на технике ПЧ-12 ОГПС Республики Саха (Якутия) № 40 по МО «Городской округ Якутск».

Задачей эмпирических исследований являлось установление закономерностей взаимосвязей изучаемых явлений и проверка высказанных теоретических предположений.

Программа проведения экспериментов была разработана в соответствии с поставленными задачами исследования.

#### 3.1. Разработка методики проведения эксперимента

Для решения научных задач методикой проведения экспериментов предусматривались сравнительные ходовые испытания ПА в низкотемпературных условиях.

При этом были смоделированы основные фазы несения службы ПА, находящегося в расчете: его следование по типовому маршруту (транспортный режим работы), на стоянках как на месте вызова (пожара), а также после возвращения ПА в гараж подразделения, т. е. при несении службы в режиме ожидания в условиях естественной конвекции на спокойном воздухе.

Анализ парка ПА Республики Саха (Якутия) и гарнизона г. Якутск показал, что самой распространенными являются пожарные автомобили на базовом шасси УРАЛ. Поэтому для исследования температурных режимов мостов трансмиссии передвижная лаборатория была создана на пожарной автоцистерне АЦ-5,0-40 (3255) (рис. 2).



Рисунок 2. Общий вид пожарного автомобиля АЦ-5,0-40 (3255)

Для проверки эффективности предложенного технического решения по форсированию прогрева масла в ведущем мосту пожарная автоцистерна проходила определенный маршрут. В ходовых испытаниях моделировался типовой 3,6 км маршрут движения ПА «по тревоге» в городе со средней

интенсивностью транспортного потока, на горизонтальном, ровном участке дороги. В ходе экспериментов ПА управлял один и тот же опытный водитель со стажем более десяти лет. Движение осуществлялось на высшей передаче, на максимально возможной

для данного теплового состояния ДВС и агрегатов трансмиссии скорости и в соответствии со складывающейся дорожной обстановкой. При этом строго выдерживались требования ПДД РФ.

Основные тактико-технические характеристики ПА приведены в табл. 1.

Таблица 1  
Основные тактико-технические характеристики АЦ-5,0-40 (3255)

Базовое шасси	УРАЛ – 3255-3013-79Е5
Колесная формула	6×6
Снаряженная масса, кг	11 600
Полная масса, кг	13800
Распределение полной массы, кг	На передний мост: 5800 На заднюю тележку: 8000
Максимальная скорость, км/ч	90
Двигатель	ЯМЗ -53623-10, рядный (ЭК-5)
Номинальная мощность (брутто), л.с.	240
Максимальная частота вращения, мин. <sup>-1</sup>	2300
Коробка передач	ЯМЗ-1105 механическая, 5-ступенчатая
Раздаточная коробка	АО «АЗ «УРАЛ», 2-ступенчатая с межосевым дифференциалом
Ведущие мосты	АО «АЗ «УРАЛ», передаточное число 7,49
Кабина	Тип - над двигателем
Габаритные размеры, мм	9770×2500×3303

Для проведения экспериментов был выделен резервный ПА. Перед началом экспериментов АЦ-5,0-40 (3255) была подвергнута диагностированию и техническому обслуживанию. Рассмотрим установку аппаратуры и ее тарировку.

Опыты по оценке эффективности предлагаемого активного средства локальной тепловой подготовки элементов ПА

проводили с передним ведущим, управляемым мостом, который был заправлен трансмиссионным маслом класса вязкости 75W в количестве 8 л. В маслосливную пробку моста был вмонтирован трубчатый электрический подогреватель (ТЭН) (рис. 3). ТЭН получал питание от двух автономных аккумуляторов, соединенных последовательно, т. е. с результирующим напряжением 24 В.

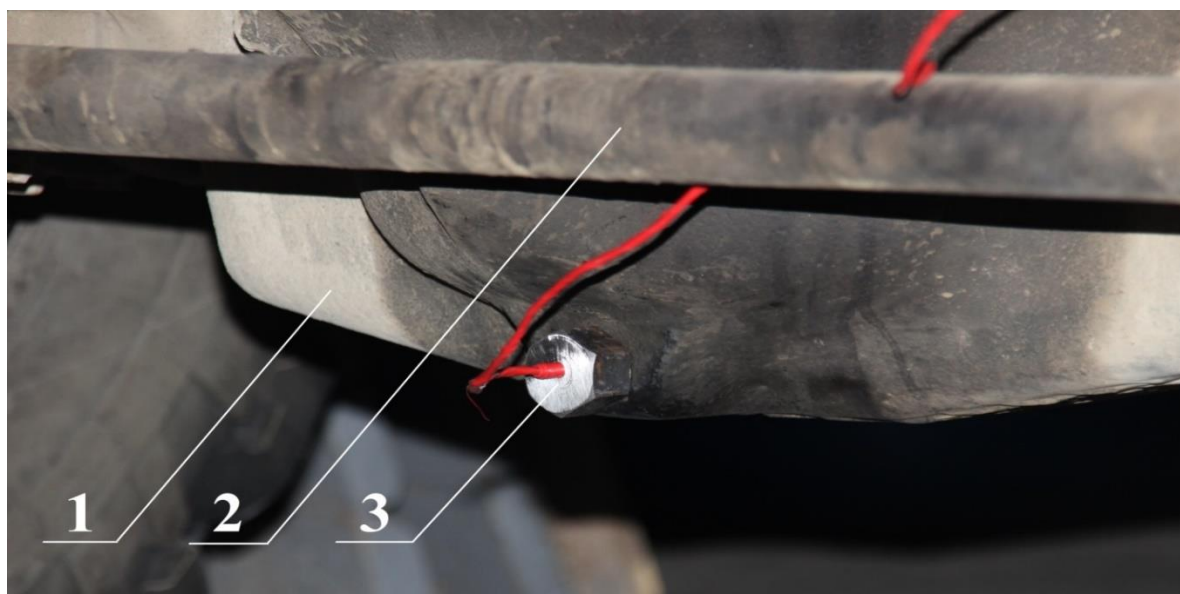


Рисунок 3. Вид ведущего моста АЦ-5,0-40 (3255) с электрическим подогревателем трансмиссионного масла, вмонтированного в пробку сливного отверстия:  
1 – картер ведущего моста; 2 – поперечная рулевая тяга; 3 – трубчатый электронагреватель

Основные свойства и тактико-технические характеристики электроподогревателя были определены экспериментально и приведены в табл. 2. Полагаем необходимым отметить, что элементы конструкции и, соответственно, мощность изготовленного

ТЭНа самодельной конструкции (рис. 4) была рассчитана таким образом, чтобы быть одного порядка с мощностью электроподогрева узлов трансмиссии канадского снегоболотохода «Foremost Husky 8» [9].

Таблица 2  
Свойства и технические характеристики самодельного подогревателя (ТЭН)

Наименование	Ед. изм.	Значение	
Напряжение питания	В	24	12
Сопротивление	Ом	5	5
Сила тока	А	4,8	2,4
Мощность	Вт	115,2	28,8



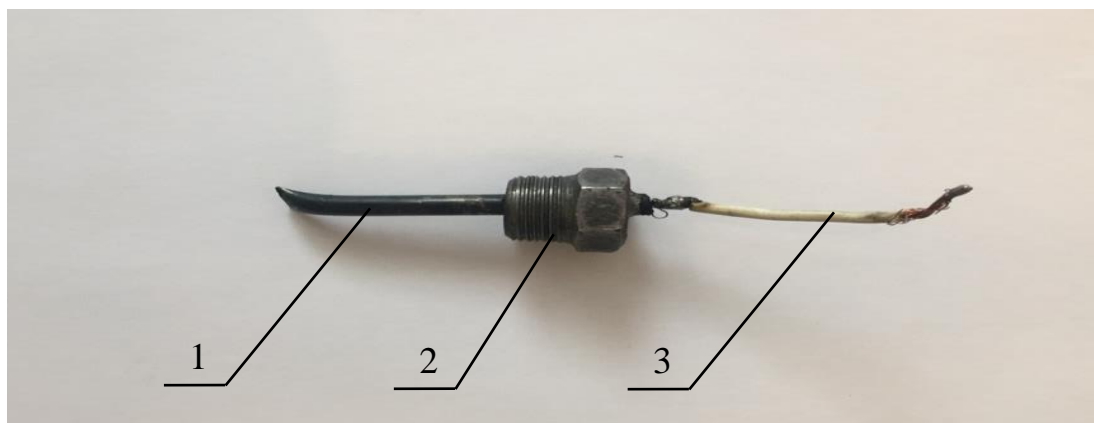


Рисунок 4. Внешний вид самодельного трубчатого электрического нагревателя – ТЭНа, вмонтированного в маслосливную пробку ведущего моста шасси ПА:  
1 – чехол с нагревательным элементом ТЭНа; 2 – пробка маслосливная;  
3 – кабель электропитания

Датчик температуры масла располагался в пробке контрольного отверстия картера моста (рис. 5), причем при его монтаже ПА располагали в положении «на подъем»

на соответствующем продольном уклоне. Технические характеристики датчика приведены в табл. 3.



Рисунок 5. Вид ведущего моста АЦ-5,0-40 (3255) с датчиком температуры трансмиссионного масла, вмонтированного в пробку контрольного отверстия:  
1 – картер ведущего моста; 2 – пробка с датчиком температуры

Таблица 3

Основные технические характеристики датчика ДТС014-50М.В3.20/3

Наименование	Значение
Тип	ДТСХХ4
Диапазон измеряемых температур, °С	-50...+150
Класс допуска	В
Показатель тепловой инерции, с, не более	10
Минимальная глубина погружения, мм	80
Рабочий ток, мА, не более	1
Сопротивление изоляции, МОм, не менее	100
Степень защиты арматуры	IP54
Материал защитной арматуры	латунь
Группа климатического исполнения	С4; Р2
Схема соединения	3

Перед началом экспериментов датчик подвергался тарировке с помощью образцового термометра. Тарировочные графики – линейные.

Показывающий прибор – реле-регулятор с таймером марки ТРМ501 был размещен на панели приборов кабины водителя АЦ (рис. 6). Технические характеристики данного прибора приведены в табл. 4.



Рисунок 6. Расположение показывающего прибора ТРМ501 на панели приборов в кабине водителя: 1 – прибор ТРМ501

Таблица 4

## Основные технические характеристики показывающего прибора ТРМ501

Параметр	Значение
Питание	
Напряжение питания	12 В (постоянного или переменного тока)
Допустимое отклонение напряжения питания	-10...+10 %
Потребляемая мощность, не более	3 ВА
Входы	
Время опроса входных каналов, не более	1 с
Предел допустимой основной приведенной погрешности изменения входной величины (без учета погрешности датчика)	±0,5 %
Напряжение низкого (активного) уровня на управляющем входе («ПУСК/СТОП»)	0...0,8 В
Напряжение высокого уровня на управляющем входе («ПУСК/СТОП»)	2,4...30 В
Выходное сопротивление устройства внешнего управления таймером	Не более 1кОм

Показывающий прибор и датчик температуры получали питание постоянным током напряжением 12 В от соответствующих контактов в кабине водителя (рис. 7).

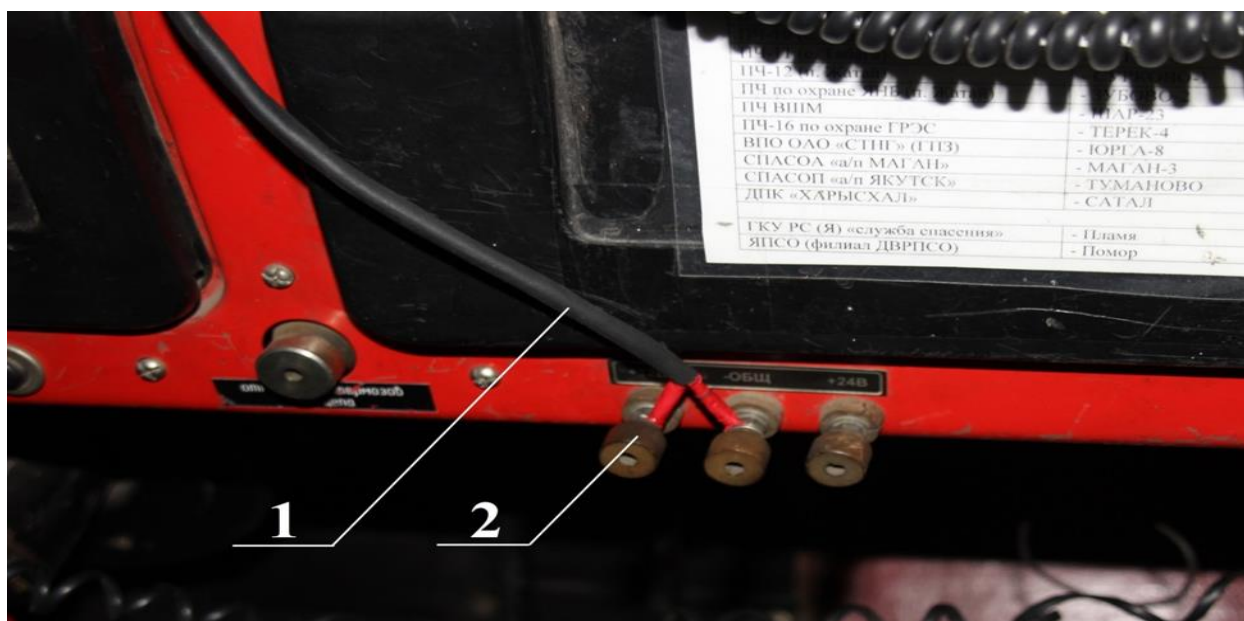


Рисунок 7. Место подключения показывающего прибора ТРМ501 к бортовой сети 12 В: 1 – соединяющий кабель; 2 – клеммы бортовой сети

При внегаражном пребывании ПА, т. е. на месте вызова (пожара), имел место практически полный штиль, а температуры окружающего воздуха при проведении опытов находились в диапазоне минус  $20 \pm 2$  °С. Температура воздуха в депо в экспериментах по остыванию масла в мосту составляла от +14 до +16 °С.

Радиус выезда АЦ составил 3,6 км – что находится в соответствии с СНиП II – 89-80\* для промышленных объектов (2...4 км).

Измерения величин температур трансмиссионного масла в течение каждой серии экспериментов по его прогреву при следовании ПА к месту вызова проводились

с шагом 20 с, при нахождении на месте стоянки – 5 мин. Их результаты фиксировались и протоколировались.

Таковы разработанное техническое решение, инструментарий, конструктивные особенности передвижной лабораторной установки на базе АЦ-5,0-40 (3255) и методика проведения экспериментов.

#### 4. Результаты экспериментов и их анализ

#### 4.1. Температурные режимы запаса трансмиссионного масла в ведущем мосту при следовании пожарного автомобиля по вызову

##### 4.1.1. Ускорение прогрева масла в ведущем мосту при следовании пожарного автомобиля по вызову

На рис. 8 приведены кривые изменения температуры трансмиссионного масла в переднем ведущем мосту АЦ-5,0-40 (3255) при следовании по вызову. Температура окружающего воздуха в опытах составляла минус 20 °С.

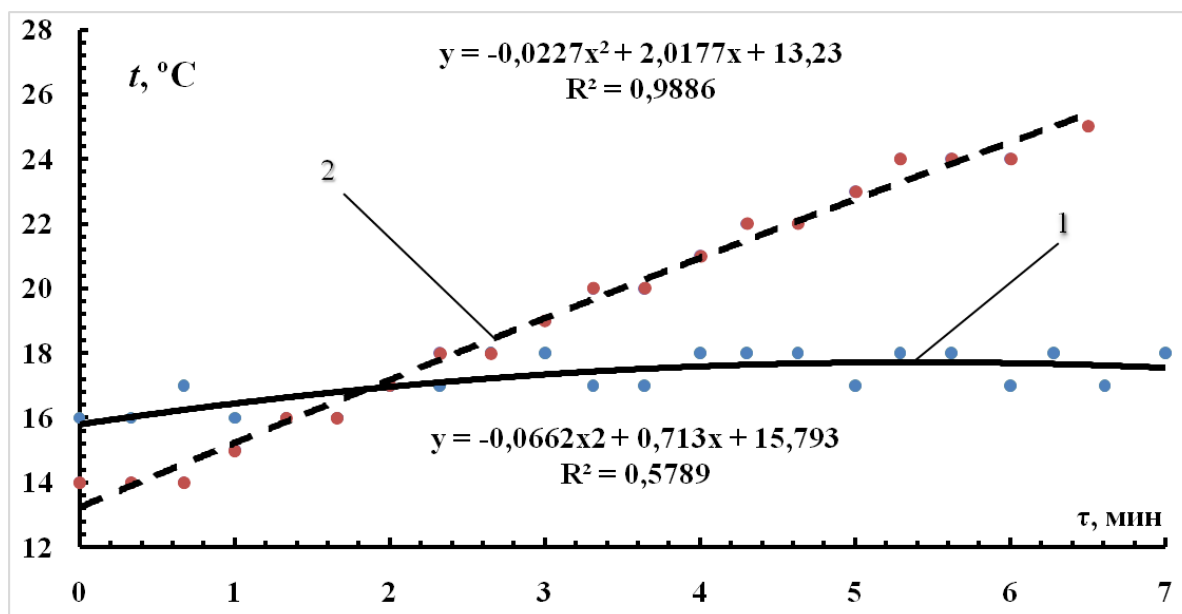


Рисунок 8. Динамика прогрева трансмиссионного масла в ведущем переднем мосту пожарного автомобиля АЦ-5,0-40 (3255) при следовании по вызову (радиус выезда 3,6 км):  
1 – температура масла в мосту типового исполнения, т. е. без нагревателя;  
2 – температура смазочного масла в мосту с включенным ТЭНом

Прежде всего из графиков видно, что ПА с модернизированным приводным мостом проходил маршрут в среднем на одну минуту быстрее, чем с мостом типового исполнения.

Далее, температура масла в мосту типового исполнения, т. е. не оборудованного электрическим подогревателем изменилась незначительно: с 16 °С достигла 18 °С к концу 7 минуты от начала следования ПА.

Напротив, температура смазочного масла в мосту с работающим ТЭНом за 6 минут выросла существенно – с 14 °С до 24 °С.

На основании имеющихся экспериментальных данных были получены аппроксимирующие зависимости указанных процессов.

Экстраполяция кривой 2 позволяет прогнозировать дальнейшее увеличение температуры запаса масла в приводном мосту при следовании к месту вызова. Однако чрезмерный нагрев трансмиссионного масла не желателен. При принятии решения о величине потолка температуры прогрева масла учитывалось следующее. Прежде всего были приняты во внимание результаты



исследования, проведенного Е. М. Желваковым [6]. Им была обоснована и экспериментально подтверждена величина минимальной температуры масла в коробке передач ПА в условиях гаража +40 °С. Кроме того, с ростом температуры масла уменьшается его вязкость, что с износом и старением уплотнений приводит к его утечкам. Между тем устранение любых неисправностей в суровых условиях весьма трудоемко. Наконец, с увеличением градиента температур масла и окружающей среды соответственно интенсифицируется теплоотдача свободной конвекцией, для компенсации которой пришлось бы увеличить мощность, потребляемую ТЭНом. Другими словами, мощность нагревателя должна быть пропорциональна градиенту температур масла и окружающего воздуха. Поэтому в ходе дальнейшей проработки и широкого применения данного технического решения необходимо предусмотреть наличие автоматического терморегулятора с обратной связью. В процессе же данных экспериментов схема электроподогрева была дополнена тумблером для отключения питания ТЭНа. Таким образом, в ходе опытов температуре масла не позволяли подниматься выше реперной величины +40 °С.

#### 4.1.2. Расчет тепловой мощности нагревателей, необходимой для нагрева запаса масла в агрегатах трансмиссии АЦ-5,0-40 (3255)

Ниже приведен ориентировочный расчет тепловой мощности нагревателей –  $N$  (кВт), необходимой для нагрева запаса масла во всех агрегатах силовой передачи АЦ-5,0-40 (3255) от температуры воздуха в депо плюс 15 °С до вышеобоснованного потолка температуры прогрева в гараже непосредственно перед выездом плюс 40 °С, т. е. за одну минуту, по следующей зависимости [12]

$$N = C_p \cdot m \cdot \Delta t / \tau,$$

где  $C_p = 1,678$  кДж / (кг·°С) – изобарная теплоемкость масла при температуре 15 °С [12];  $m$  – суммарный запас трансмиссионного масла в агрегатах базового шас-

си – трех ведущих мостах  $3 \cdot 8 = 24$  л, коробке перемены передач и раздаточной коробке  $2 \cdot 5,5 = 11$  л, всего 35 л, или, с учетом плотности масла,  $m = 35 \cdot 0,950$  кг/л = 33,25 кг;  $\Delta t$  – градиент температур от температуры воздуха в депо 15 °С до вышеобоснованного потолка температуры подогрева масла в гараже 40 °С. Принимаем  $\Delta t = 25$  °С;  $\tau$  – время подогрева, регламентировано нормативами ПСП для оперативного выезда ПА из гаража, 60 с.

Отсюда  $N = 23,25$  кВт, что соразмерно с мощностью электрогенератора канадского снегоболотохода «Foremost Husky 8» [9]. При напряжении сети 12 В суммарная величина потребляемого тока всеми пятью ТЭНами составит 1937,5 А.

Исправная, полностью заряженная стартерная аккумуляторная батарея марки Ст 190 обладает номинальной емкостью 190 А·ч или  $190 \cdot 3600 = 684\,000$  А·с и напряжением на клеммах 12 В. Тогда питание всех пяти ТЭНов от Ст 190 при подогреве током 1937,5 А может продолжаться в течение  $684\,000$  А·с /  $1937,5$  А = 353 с. Таким образом, автономная аккумуляторная батарея Ст 190 при варианте включения ТЭНов «Перед выездом ПА по вызову» сможет обеспечить лишь 5,9 подогревов масла в агрегатах силовой передачи АЦ-5,0-40 (3255). И это без учета объективной необходимости подогрева масла при стоянке ПА на месте вызова. Также очевидно, что при напряжении сети 24 В количество циклов подогрева трансмиссионного масла в агрегатах перед следованием от одной батареи Ст 190 увеличится вдвое.

#### 4.2. Результаты измерений температуры масла на местах стоянок

##### 4.2.1. Температурные режимы запаса трансмиссионного масла в ведущем мосту при стоянке пожарной автоцистерны на месте вызова

На рис. 9 изображены графики остывания и прогрева трансмиссионного масла в редукторе переднего ведущего моста при стоянке ПА на месте вызова.

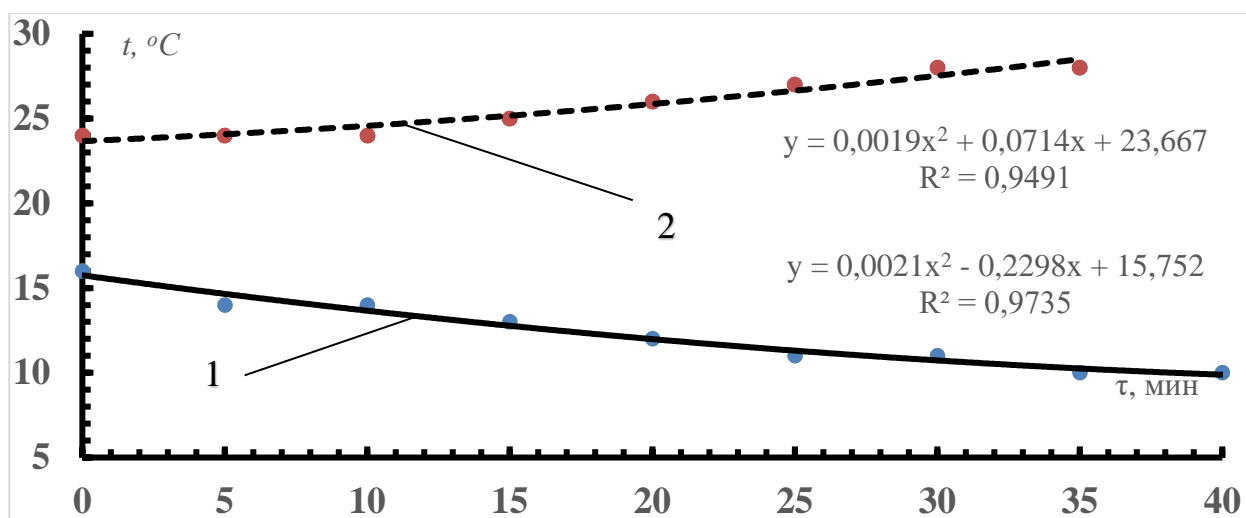


Рисунок 9. Динамика изменения температуры масла в ведущем мосту АЦ-5,0-40 (3255) при стоянке на месте вызова при температуре окружающего воздуха  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ : 1 – температура трансмиссионного масла в мосту, без нагревателя; 2 – температура масла в мосту с включенным ТЭНом

Графики показывают, что температура масла в мосту типового исполнения понижается за 40 мин весьма существенно с  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ , т. е. со скоростью  $0,144\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{мин}$ . Для сравнения: температура смазочного масла в мосту с постоянно включенным нагревателем повысилась с  $24\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $28\text{ }^{\circ}\text{C}$  за 35 мин, соответственно скорость процесса составила  $0,114\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{мин}$ .

На основании имеющихся экспериментальных данных получены аппроксимирующие зависимости процессов изменения температуры (охлаждения и прогрева) трансмиссионного масла при стоянке на месте вызова.

Таким образом, предложенное техническое решение по подогреву масла в картере ведущего моста обеспечило длительное сохранение необходимой температуры трансмиссионного масла моста, что гарантирует ПА возможность продолжительное

время находиться в положении готовым к следованию.

#### 4.2.2. Измерение температуры масла в редукторе ведущего моста при стоянке пожарного автомобиля в депо

На рис. 10 приведены кривые изменения температуры смазочного масла переднего ведущего моста АЦ при стоянке в депо. Графики свидетельствуют, что температура масла в мосту типового исполнения за 40 мин понизилась с  $18\text{ }^{\circ}\text{C}$  до температуры воздуха в депо  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$  и практически стабилизировалась. Таким образом, скорость охлаждения составила  $0,075\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{мин}$ , что было ожидаемо и практически в два раза меньше чем при стоянке на месте вызова при температуре окружающего воздуха минус  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Температура масла в картере с работающим ТЭНом прогнозируемо поднялась за 10 мин с отметки  $32\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ , после чего он был отключен.

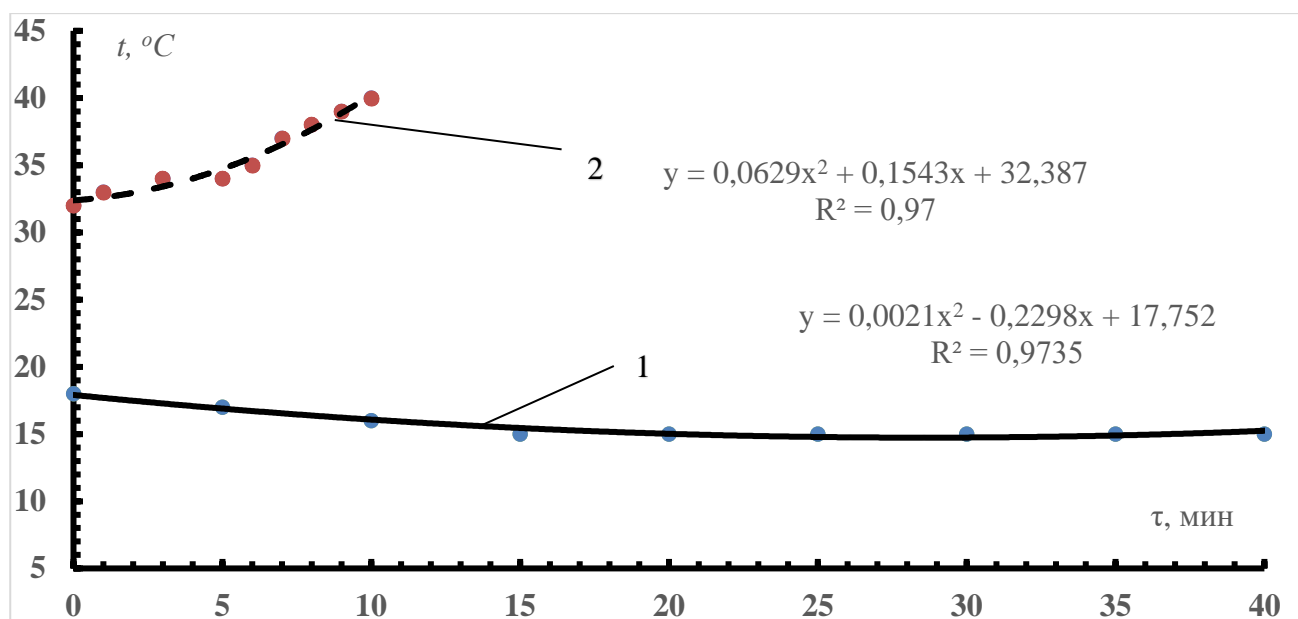


Рисунок 10. Динамика изменения температуры масла в ведущем мосту пожарного автомобиля АЦ-5,0-40 (3255) при стоянке в депо (температура воздуха в депо 15 °С):

1 - температура трансмиссионного масла в мосту типового исполнения;  
2 - температура масла в мосту, с включенным ТЭНом

На основании имеющихся экспериментальных данных получены аппроксимирующие зависимости процессов остывания и прогрева масла при стоянке ПА в депо.

### Выводы

1. Результаты поисковых исследований в виде сравнительных ходовых испытаний, моделирующих все основные фазы эксплуатации ПА, состоящего в расчете, убедительно свидетельствуют об определенной эффективности подогрева ТЭНом трансмиссионного масла в редукторе приводного моста АЦ-5,0-40 (3255) в низкотемпературных условиях. Действительно, при электроподогреве появляется техническая возможность изменить тепловой баланс агрегата и направить дополнительно получаемую теплоту на усиленный подогрев запаса масла. Причем этот эффект имеет место во всех перечисленных фазах оперативного применения ПА: при следовании к месту вызова, при его стоянке на месте вызова, а также и при несении службы в режиме ожидания в депо.

2. Так, электроподогрев смазочного масла в мосту обеспечил прохождение маршрута ПА протяженностью 3,6 км с модернизированным приводным мостом при

температуре воздуха до минус 20 °С на одну минуту быстрее, чем с мостом типового исполнения.

Результаты сравнительных ходовых испытаний, моделирующих следование ПА к месту вызова, позволяют также констатировать, что ввиду значительного темпа повышения температуры трансмиссионного масла в редукторе приводного моста ПА при электроподогреве и при указанной температуре окружающей среды достаточно чтобы ТЭН генерировал меньшую тепловую мощность, чем была реализована в опытах.

3. На графиках температурных режимов масла в редукторе моста ПА при стоянке на месте вызова при температуре окружающей среды порядка минус 20 °С скорости процессов остывания трансмиссионного масла у моста типового исполнения и его прогрева ТЭНом примерно одинаковы. Поскольку достигнутая температура прогрева масла ТЭНом достаточно близка к реперной поэтому в первом приближении можно полагать, что в данной случае был бы оптимален ТЭН, с мощностью примерно в два раза менее апробированной, т. е. ≈ 50 Вт.

4. При несении службы ПА в депо при температуре воздуха +15 °С также следует еще более уменьшить мощность ТЭНа в ведущем мосту, чем была при стоянке на месте вызова при температуре окружающей среды минус 20 °С. Как вариант, это может быть достигнуто, например, питанием ТЭНа от сети напряжением 12 В.

5. Очевидно, что в суровых климатических условиях целесообразно устанавливать ТЭНы на всех агрегатах силовой передачи ПА. Для этого необходимо принимать соответствующие меры для обеспечения баланса электроэнергии ПА (установка дополнительной либо автономной аккумуляторной батареи, системы ее автоматической подзарядки на стоянке в пожарном депо, применение более мощного (по сравнению со штатным) бортового источника электроэнергии либо комплектация ПА автономным электрогенератором).

6. При применении электронного или автотронного [13] управления ТЭНами,

смонтированными во всех агрегатах трансмиссии и при *перспективном* варианте их включения «Перед выездом ПА по вызову» целесообразно разработать алгоритм регулирования мощности каждого ТЭНа во времени, характеризующийся квадратичной нелинейностью. В первую минуту после пуска ДВС и в начале следования к месту вызова программа должна обеспечить форсированный нагрев запаса масла, находящегося в каждом агрегате до температуры порядка плюс 40 °С, а затем стабилизировать ее на этой отметке.

7. Целесообразно продолжить эмпирические исследования по повышению адаптации парка ПА исполнения У к суровым климатическим условиям Севера посредством комплексного эффективного электроподогрева масла в картерах всех ведущих мостов и агрегатов силовой передачи при различных температурах окружающей среды.

#### Литература

1. Пассивный способ повышения приспособленности трансмиссий пожарных автомобилей к зимним условиям функционирования / В. Н. Ложкин и др. // Техносферная безопасность. 2018. № 3 (20). С. 72–91. URL: [http://uigps.ru/sites/default/files/jurnal/ТБ%203%20\(20\)/10.pdf](http://uigps.ru/sites/default/files/jurnal/ТБ%203%20(20)/10.pdf).
2. Веттегрень В. И., Ложкин В. Н., Савин М. А. Эффективная эксплуатация основных пожарных автомобилей при низких температурах: монография (в 2 частях). Екатеринбург, 2019. 383 с.
3. Об организации материально-технического обеспечения системы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий: приказ МЧС России от 18.09.2012 № 555. М., 2012. 244 с.
4. Об утверждении Боевого устава подразделений пожарной охраны, определяющего порядок организации тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ: приказ МЧС России от 16.10.2017 № 444.
5. Терещенко В. В., Подгрушный А. В. Пожарная тактика. Основы тушения пожара. Екатеринбург, 2008. 512 с.
6. Желваков Е. М. Обеспечение технической готовности и работоспособности пожарных автоцистерн объектов пожарных частей в условиях низких температур: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 2002. 24 с.
7. На основании испытаний в условиях эксплуатации разработать научно-обоснованные рекомендации по повышению приспособленности автомобилей ЗИЛ-130 к работе в условиях низких температур: отчет НИР (заключ.). / НИИАТ ВС филиал. Иркутск. 68 с.
8. Бардышев О. А. и др. Техническая эксплуатация строительных машин на Севере. Л., 1981. 184 с.
9. [www.foremost.ca/ru](http://www.foremost.ca/ru) (дата обращения: 21.05.2019).
10. Афанасьев Л. Л. Повышение эффективности работы автомобильного транспорта. М., 1977. 123 с.
11. Пожарно-спасательный автомобиль ПСА-С6,0-40/100(6339) модель 40ВР исполнения ХЛ производство ОАО «Варгашинский завод противопожарного оборудования»: рук-во по эксплуатации 40ВР-00-00-00РЭ.
12. Михеев М. А., Михеева И. М. Основы теплопередачи. М., 1973. 320 с.
13. Соснин Д. А. Электронное, электронное и автотронное оборудование легкового автомобиля (Автотроника-3). М., 2010. 383 с.

#### References

1. Passivnyi sposob povsheniia prispособlennosti transmиссии pozharnih avtomobilei k simnim usloviyam funkcionirovaniia / V. N. Lozhkin et al. // Tekhnosfernaia besopasnost. 2018. № 3(20). С. 72–91. URL: [http://uigps.ru/sites/default/files/jurnal/ТБ%203%20\(20\)/10.pdf](http://uigps.ru/sites/default/files/jurnal/ТБ%203%20(20)/10.pdf).



2. Vettegren V. I., Lozhkin V. N., Savin M. A. Effektivnaya ekspluatatsiya osnovnih pozharnih avtomobilei pri nizkih temperaturah: monografiya (v 2 chastiakh). Ekaterinburg, 2019. 383 p.
3. Ob organizatsii materialno-tehnicheskogo obespechenia sistemi Ministerstva Rossijskoi Federatsii po delam grazhdanskoj oboroni, chrezvichajnim situatsijam i likvidatsii posledstvij stikhijnih bedstvij: prikaz MCHS Rossii ot 18.09.2012 № 555.
4. Ob utverzhdenii Boevogo ustava podrasdelenii pozharnoi okhrany, opredelivshchego poriadok organizatsii tusheniia pozharov i provedeniia avariino-spatatelnykh rabot: prikaz MCHS Rossia ot 16.10.2017 № 444.
5. Terebnev V. V., Podgrushnii A. B. Pozharnaia taktika. Osnovi tusheniia pozhara. Ekaterinburg, 2008. 512 p.
6. Zhevlakov E. M. Obespechenie tehnicheskoi i rabotosposobnosti pozharnih avtozistern obektovy pozharnih chastei v usloviakh nizkih temperature: avtoref. diss. kand. tekhn. nauk. M., 2002. 24 p.
7. Na osnovanii ispitaniia v usloviakh ekspluatatsii rasrabotat nauchno-obosnovannii rekomendatsii po povisheniiu prispособlennosti avtomobilei ZIL-130 k rabote v usloviakh nizkih temperature: otchet NIR (sakliuch.) / NI-IAT VS filial. Irkutsk. 68 p.
8. Bardishev O. A. et al. Tekhnicheskaiia ekspluatatsiya stroitelnykh mashin na Severe. L., 184 p.
9. [www.foremost.ca/ru](http://www.foremost.ca/ru) (data obrashcheniia: 21.03.2019).
10. Afanasiev L. L. Povishenie effektivnosti raboti avtomobilnogo transporta. M., 1977. 123 p.
11. Pozharno-spatatelnyi avtomobil KhL (PSA-S) PSA-S C6,0-40/100(6339) model 40VR: ruk-vo po ekspluatatsii 40VR-00-00-00RE OAO «Vargashinskii savod pronbvopozharnogo i sprzialnogo oborudovaniia». 2011. 40 p.
12. Mikheev M. A., Mikheeva I. M. Osnovi teploperedachi. M., 1973. 320 p.
13. Sosnin D. A. Elektricheskoe, elektronnoe i avtotrooe oborudovanie legkovogo avtomobilia (Avtotronika-3). M., 2010. 383 p.