СавинМихаилАлександровичПовышениеэффективностиэксплуатациидвигателейосновныхпожарныхавтомобилейвусловияхотрицательныхтемпературдиссертациякандидататехническихнаукМосквасилРГБОД

**МИНИСТЕРСТВО ВНУТРЕННИХ ДЕЛ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Академия Государственной противопожарной службы

**На правах рукописи**

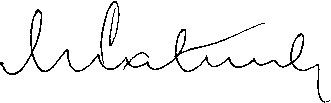
**САВИН МИХАИЛ АЛЕКСАНДРОВИЧ**

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ДВИГАТЕЛЕЙ ОСНОВНЫХ ПОЖАРНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ В УСЛОВИЯХ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУР**

Специальность 05.26.03 - Пожарная и промышленная безопасность

(технические науки, транспорт)

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук



**НАУЧНЫЕ РУКОВОДИТЕЛИ:**

кандидат технических наук,

C:\Users\Pavel\AppData\Local\Temp\Rar$DIa0.110\media\image2.png

кандидат технических наук, доцент СКОМОРОХОВ А.И.

**МОСКВА 2001**

ОГЛАВЛЕНИЕ

Условные обозначения и сокращения 6

ВВЕДЕНИЕ 8

ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ 14

1Л. Сокращение времени прибытия пожарных расчетов -

важная социально-экономическая проблема 14

1. Дорожно-климатические особенности Уральского, Сибирского и Дальневосточного Федеральных округов 19
2. Дифференциация регионов России по показателям обстановки с пожарами с учетом климатических факторов 20
3. Природно-транспортное районирование зоны Севера и Северо-востока страны 24
4. Дорожные условия Северных и Северо-восточных регионов 32
5. Влияние климатических условий и режимов эксплуатации на оперативно-технические показатели пожарных автомобилей 35
6. Режимы эксплуатации пожарных автомобилей 35
7. Статистические характеристики режимов работы пожарных автомобилей 38
8. Влияние температурного режима системы жидкостного охлаждения на мощность и экономичность двигателя 42
9. Износы двигателей пожарных автомобилей 50
10. Экологические аспекты 64
11. Основные выводы и задачи исследования 69
12. Общая методика исследования 77

ГЛАВА 2. СРЕДСТВА И СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ТЕПЛОУСТОЙЧИВОСТИ ДВИГАТЕЛЕЙ ПОЖАРНЫХ

АВТОМОБИЛЕЙ ЗИМОЙ 80

1. Основные положения теории теплоустойчивости 81
2. Теплоустойчивость системы охлаждения двигателя ПА 91
3. Тепловой баланс двигателя 92
4. О некоторых возможностях регулирования теплового режима двигателя 98
5. Регулирование температуры охлаждающей жидкости

дросселированием воздуха, проходящего через радиатор 101

1. Температуры основных функциональных систем двигателя в процессе послепускового прогрева 105
2. Охлаждение радиатора автомобильного двигателя 108
3. Оценка теплоотдачи радиатора конвекцией 109
4. Оценка теплообмена радиатора излучением 111
5. Тепловой баланс радиатора 112
6. Выводы 113

ГЛАВА 3. МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ СИСТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ ПА 115

* 1. Методика испытаний 117
     1. Аппаратура и методика ходовых испытаний 118
     2. Методика экспериментов по замедлению остывания

двигателей и их элементов 123

* 1. Объекты экспериментального исследования и их подготовка к дорожным испытаниям 126
  2. Оценка погрешности измерений. Точность измерений 133

ГЛАВА 4. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ,

ИХ АНАЛИЗ И РЕКОМЕДАЦИИ . 139

4Л. Эксперименты по ускорению послепускового прогрева у двигателей в условиях отрицательных температур 139

1. Тепловое поле двигателей при работе на холостом ходу .... 139 V
2. Тепловой режим работы двигателя ЗИЛ-130 автоцистерны при следовании по вызову 146
3. Сокращение времени прибытия ПА по вызову посредством компенсации запаздывания поступления моторного масла на детали ЦПГ 151
4. Измерение величины компрессии двигателей 153
5. Исследование возможности ускорения послепускового прогрева двигателя применением смеси топлива и моторного масла 155
6. Оценка приспособленности дизеля ЯМЗ-236 для эксплуатации в зимних условиях. Меры по улучшению его адаптации 160
   1. Результаты экспериментов по замедлению темпов остывания двигателей после их останова 167
      1. Динамика охлаждения двигателя ЗИЛ-130 168
         1. Влияние разобщения рубашки охлаждения и радиатора на темп остывания двигателя 171
      2. Исследования остывания дизеля ЯМЗ-236 174
      3. Определение темпов охлаждения радиаторов двигателей... 178
   2. Выводы и рекомендации 186

Литература 193

Приложения 208

Приложение 1. Расчет экономической эффективности 209

Приложение 2. Акты внедрения 214

Условные обозначения и сокращения

г - время, с; *р* - плотность, кг/м3; *т -* масса, кг;

*g -* ускорение свободного падения, м/с2; э.д.с. - электродвижущая сила, мВ;

Т - температура, К;

Т0 - начальная температура системы, К;

Тпд - предельно допустимая температура, К;

Туст - установившаяся температура системы, К;

*At-* разность температур (температурный напор), К;

С - теплоемкость, Дж/кг;

*Ср -* удельная теплоемкость, Дж/(кг-К); *а* - коэффициент теплоотдачи, Вт/(м К);

*К* - коэффициент теплопередачи, Вт/(м -К);

*X* - коэффициент теплопроводности, Вт/(м-К); *к -* темп охлаждения, К'1;

Vx - скорость прогрева (охлаждения) системы, К/с;

*Рг* - число Прандтля;

*Ra -* число Рэлея;

*Gr -* число Грасгофа;

*Nu* - критерий Нуссельта;

*Кту -* критерий теплоустойчивости, Кху = ХЕр / (CVX);

IRP - результирующая тепловая нагрузка на систему, Вт; £ЕП - тепловая нагрузка, подводимая к системе, Вт;

ЕЕ0Х - тепловая нагрузка, отводимая от системы, Вт;

*Кт -* параметр теплоустойчивости, Кх = Туст /Тпд;

v - кинематическая вязкость, м2 /с;

'З

Q - подача, м /с (л/с);

Н - напор насоса, м. вод. ст.;

АТС - автомобильное транспортное средство;

ПА - автомобиль пожарный;

АЦ - автоцистерна пожарная;

ДВС - двигатель внутреннего сгорания; *щ* - коэффициент полезного действия - КПД; *щм* - механический КПД двигателя; т/е - эффективный КПД двигателя;

*Ni -* индикаторная мощность двигателя, Вт;

*Ne-* эффективная мощность двигателя, Вт;

*п -* частота вращения, мин'1;

*ge* - удельный расход топлива, г/(кВт-ч);

ЦПГ - цилиндро-поршневая группа двигателя;

СО - система охлаждения;

ОЖ - охлаждающая жидкость;

ГСМ - горюче-смазочные материалы;

ОГ - отработавшие газы ДВС;

ПДК - предельно допустимая концентрация, мг/м ;

ЕТО - ежедневное техническое обслуживание;

ГПС - Государственная противопожарная служба;

НПБ - нормы пожарной безопасности;

СНиП - строительные нормы и правила;

АТЕ - административно-территориальные единицы России.

ВВЕДЕНИЕ

Пожары - это мощный фактор, негативно влияющий на социально­экономическое состояние страны. Ежегодно в России происходит более 264 тыс. пожаров, в результате которых гибнет более 13,5 тыс. человек. Полные потери от пожаров, составляют более 22 млрд. руб., т.е. почти 5% от бюджета 1999 года. Полные потери от пожаров в стране почти в 10 раз превышают сумму средств (2,4 млрд. руб.), выделяемых отдельной строкой в бюджете для Государственной противопожарной службы МВД России [1]. При общих положительных данных относительные показатели случаев гибели людей на пожарах в России остаются в 5... 12 раз выше, чем в других странах. Таким образом, степень негативного влияния их последствий на состояние социальной, техногенной и экологической безопасности недопустимо высока.

За год подразделениями ГПС МВД России совершаются более 1,8 млн. выездов. В условиях заметного роста интенсивности дорожного движения средняя скорость движения ПА на пожар постоянно снижается, увеличивается время подачи первого ствола, что объективно приводит к возрастанию количества жертв и материальных убытков. Так среднее время следования ПА по вызову выросло в 1992... 1996 гг. в городах с 7,66 до 8,08 мин, а на селе с 15,41 до 18,9 мин [2]. В 1999 году среднее время прибытия первого пожарного расчета по вызову составило немногим более 11 мин. Среднее время ликвидации - порядка 35 мин. [3].

Оперативно-техническая деятельность службы отличается многообразием операций различной энергоемкости, которые выполняются с помощью основных, специальных и вспомогательных ПА [4] при изменяющихся воздействиях внешней среды.

В 1999 году в подразделениях ГПС МВД России эксплуатировалось 17302 основных ПА, при штатной положенное™ 23294 (т.е. оснащенность составила лишь 74%) [3]. Из основных ПА 39,37% находились на

вооружении УГПС холодных климатических районов России [5], в т.ч. в оперативных подразделениях ГПС Уральского, Сибирского и Дальневосточного Федеральных округов - *35,45%.* Кроме того, 7928 единицы техники (34,03%) отработали свой срок и, тем не менее, активно эксплуатируются.

В обширных регионах Уральского, Сибирского и Дальневосточного Федеральных округов, где сосредоточен экспортный и значительная часть оборонного потенциала государства в частности, в осенне-зимний период, характеризующийся низкими температурами окружающего воздуха и различной степенью загрузки силового агрегата ПА, производится более 56*%* (без учета ложных вызовов) годового объема работ данных оперативных подразделений ГПС по обслуживанию защищаемых объектов и территорий [6].

ПА, как известно, приспособлены для эксплуатации только в интервале температур +35° до - 35°С. Зимой из-за пониженного теплового состояния ДВС и агрегатов трансмиссии снижается оперативно-технические показатели ПА (возрастает время следования к месту вызова), топливная экономичность и ресурс. Поэтому особую актуальность приобретает проблема повышения эффективности использования имеющегося достаточно изношенного парка ПА, решение которой невозможно без совершенствования и поддержания в работоспособном состоянии двигателей ПА, при изменяющихся в широком диапазоне внешних воздействиях.

Существенная зависимость выходных показателей ДВС от теплового состояния предопределяет повышенные требования к температурам рабочих

сред основных функциональных систем. В условиях отрицательных температур, из-за пониженного теплового режима, становится весьма проблематичным не только реализация потенциальных возможностей, но даже сохранение работоспособности ДВС. Так, в условиях холодного климата появляются трудности с созданием и последующим поддержанием, при работе на привод спецагрегата, оптимального теплового режима работы двигателей ПА. Это особенно относится к дизелям. Низкая температура в СО способствует образованию смолистых и окисляющих веществ. При этом резко увеличивается отложение нагара и ускоряется износ поршней, поршневых колец и стенок цилиндров. Эксплуатация ДВС при температуре ОЖ до +5 5°С приводит к увеличению износов в 4 раза по сравнению с износом при номинальном тепловом режиме, до +40°С - в 12 раз, а при +30°С - в 20 раз [7].

Поэтому разработка комплекса технических решений и мероприятий по адаптации двигателей ПА к эксплуатации в условиях отрицательных температур имеет важное научно-практическое, и, в конечном счете, социально-экономическое значение. Результаты данных исследований могут быть использованы при создании ДВС для АТС "северного исполнения", а также для приспособления двигателей ЗИЛ и дизелей ЯМЗ к работе в условиях низких температур окружающего воздуха.

Подобные проблемы зимней эксплуатации справедливы и для механических транспортных средств, состоящих на вооружении других оперативных и специальных служб, пассажирского и грузового автотранспорта, сельского и лесного хозяйства, строительной, дорожной, коммунальной служб и т.д.

Из вышеизложенного следует, что наиболее напряженно используются ПА в зимних условиях. Поэтому до настоящего времени актуальна проблема обеспечения эффективности и надежности эксплуатации двигателей ПА при тушении пожаров в условиях низких температур.

На основании изложенного целью данной работы является повышение эффективности эксплуатации ДВС основных ПА в условиях отрицательных температур окружающего воздуха, т.е. уменьшению количества жертв и материальных убытков от пожаров на основе сокращения времени прибытия ПА к месту вызова, которое может быть достигнуто, прежде всего, максимальным сохранением тепла в агрегатах и механизмах ПА, форсированием послепускового прогрева ДВС, наряду с улучшением их топливно-экономических и экологических показателей, максимальным сохранением остаточного моторесурса.

Реализация цели достигалась различными методами. Был проведен статистический анализ пожаров в России в целом, а также по Свердловской области и по административно-территориальным АТЕ Сибири и Дальнего Востока помесячно и по сезонам за три последних года. Для сокращения времени прибытия ПА к месту вызова, на основе ускорения послепускового прогрева ДВС, предложены следующие технические решения: модульный (т.е. имеющий помимо основного также дополнительный экран - жалюзи / шторку - на фронте со стороны вентилятора) радиатор, а также комбинированный способ питания ДВС. Экспериментально проверена их эффективность. Для реализации этой части работы были созданы на базе пожарных автоцистерн АЦ-40(130) модель 63Б (базовое шасси ЗИЛ-130) и АЦП-6/3 -40(5 5 5 7) (базовое шасси УРАЛ-5557) специальные испытательные лаборатории. С их использованием были проведены экспериментальные исследования работоспособности предложенных систем охлаждения и питания двигателей ПА и обоснованы мероприятия по улучшению адаптивности карбюраторных и дизельных ДВС для эксплуатации при отрицательных температурах окружающего воздуха.

Кроме того, прошло экспериментальную проверку на эффективность техническое устройство, позволяющего замедлить темп остывания силового агрегата ПА после его останова.

Новизна полученных в работе результатов характеризуется следующим.

1. Аналитически изучена возможность ускорения послепускового прогрева ДВС за счет реструктуризации внешнего теплового баланса (например: уменьшением теплоотвода радиатором, а также внешними поверхностями собственно ДВС). Сокращение такого неблагоприятного, в смысле тепловой и механической напряженности деталей, увеличения износов, ухудшения экономических и экологических показателей, периода в работе двигателя возможно посредством применения дополнительного экрана радиатора с фронта, обращенного к вентилятору и повышением нагрузки ДВС;
2. В диапазоне температур 0...- 30°С установлена степень приспособленности для эксплуатации в условиях отрицательных температур силовых агрегатов ПА наиболее распространенных в подразделениях ГПС и исследована эффективность технических решений, позволяющих осуществить форсирование послепускового прогрева двигателей ПА для сокращения времени прибытия к месту вызова, а также замедление их остывания после останова.
3. Выведены рациональные формулы для определения режима и темпов охлаждения радиатора (или любого другого элемента) ДВС в условиях естественной конвекции. Последующая экспериментальная проверка их адекватности позволили утверждать, что процесс охлаждения в условиях естественной конвекции не является регулярным и темп охлаждения зависит от времени и текущей температуры.

Практическая ценность полученных результатов заключается в следующем.

1. Использование результатов исследований в практике оперативных подразделений ГПС позволит решить проблему повышения эффективности эксплуатации двигателей ПА при отрицательных температурах путем сокращения времени их прибытия к месту вызова: при радиусе выезда 6 км время прибытия пожарных автоцистерн уменьшается соответственно на 2,0 минуты АЦ-40(130)-63Б и на 1,8 минуты АЦП-6/3- 40(5557), которое достигнуто форсированием послепускового прогрева основных функциональных систем ДВС до оптимальных температур. Апробированный способ питания карбюраторного двигателя ЗИЛ-130 топливно-масляной смесью при прогреве также позволяет уменьшить время следования отделения на АЦ-40(130)-63Б на 0,7 минуты.
2. Обоснованные, экспериментально проверенные на адекватность, математические модели позволяют рассчитывать интенсивность охлаждения ДВС и их отдельных элементов на спокойном воздухе при различных значениях его температуры.
3. Технические решения и рекомендации по улучшению адаптации двигателей ПА к изменяющимся воздействиям внешней среды предложены для использования оперативным подразделениям ГПС, получили практическое применение в учебном процессе, а также могут быть использованы заводами-изготовителями.

Основные результаты, выносимые на защиту:

1. Направления обеспечения эффективной эксплуатации

двигателей основных пожарных автомобилей в условиях отрицательных температур.

1. Исследований степени адаптивности различных силовых

агрегатов к эксплуатации в осенне-зимних условиях на всех режимах.

1. Исследований эффективности технических решений,

позволяющих осуществить форсирование послепускового прогрева двигателей пожарных автомобилей в ходе следования к месту вызова, а также замедлению их остывания после останова и проверки адекватности полученных формул.

1. Исследований по экономической и экологической

целесообразности оптимизации теплового состояния двигателей пожарных автомобилей в осенне-зимний период эксплуатации.

Работа выполнена на кафедре «Тракторы и автомобили» Уральской Государственной сельскохозяйственной академии.

1. Выводы и рекомендации
2. Анализ исследований показал, что зимой, в связи с изменением теплофизических свойств воздуха, увеличивается период послепускового прогрева ДВС, резко снижаются его мощностные качества, уменьшается средняя скорость движения ПА, что объективно приводит к увеличению количества жертв и материальных потерь от пожаров.

В результате проведенного исследования предложено решение актуальной научно-практической задачи повышения эффективности эксплуатации двигателей ПА при отрицательных температурах окружающего воздуха, которое может быть достигнуто посредством интенсификации послепускового прогрева ДВС для сокращения времени прибытия ПА к месту вызова, что имеет важное значение для общества и национальной экономики.

1. Теоретически обоснованы и получили экспериментальное подтверждение технические решения по сокращению времени послепускового прогрева ДВС, включающие установку дополнительного экрана радиатора жидкостной СО с фронта, обращенного к вентилятору; дополнительной теплоизоляции как радиатора, так и ДВС в целом, а также применением в первый период после пуска ДВС топливно-масляной смеси. На эти технические решения получены патенты РФ на изобретения.
2. В работе дано теоретическое обоснование целесообразности и возможности реструктуризации внешнего теплового баланса ДВС. Поскольку эффективность даже исправных термостатов невелика, то идея реструктуризации практически реализована дополнительным экранированием радиатора СО, что позволило уменьшить рассеивание тепла и сократить время прогрева ДВС до эксплуатационных температур. Как следствие, в условиях низких температур (от 0 до -30°С) время прибытия к месту вызова пожарных автоцистерн АЦ-40(130)63Б и АЦП- 6/3-40(5557) может быть сокращено на 1,8 ...2,0 минуты.
3. ПА выезжают на пожар в течение суток в случайные промежутки времени. Поэтому стало необходимым изучить динамику охлаждения ДВС после останова в условиях гаража. Для оценки изменения теплового состояния ДВС находящегося в гараже получены формулы для определения режима и темпов остывания ДВС. Экспериментально установлено, что уже через 2...3 часа пребывания ПА в гараже необходим интенсивный послепусковой прогрев ДВС. Для уменьшения темпов остывания требуется обеспечить более эффективную теплоизоляцию радиатора и ДВС в целом.
4. Реализация задач исследования позволит получить следующие социальный и экономический эффекты: одна минута

среднестатистического пожара в 1999 году обошлась российскому обществу более чем 1,5 тыс. рублей полного ущерба. Кроме того, в масштабе страны сокращение времени прибытия оперативных расчетов всего на одну минуту могло бы спасти 1404 жизни (а на 1 сек - соответственно 23,4 чел) или в пересчете на 100 пожаров - 4,25 человек.

Расчетный годовой экономический эффект в эксплуатации от внедрения разработанных мероприятий на одну пожарную автоцистерну

типа АЦ-40(130)63Б, находящуюся на боевом дежурстве в объектовой части УГПС ГУВД Свердловской области составил 1111, 82 руб.

В дальнейшем необходимо продолжить исследования по общему подогреву ПА и их двигателей в гаражах.

При эксплуатации ПА с двигателями ЗИЛ-130 и ЯМЗ-236 в условиях отрицательных температур рекомендуется:

1. В обязательном порядке утеплять чехлом не только облицовку радиатора, но и капот.
2. В гараже боевых машин осуществлять как общий подогрев ПА, так и местный подогрев ДВС тем, или иным способом.
3. Предусмотреть отключение вентилятора от ДВС.
4. В перспективе радиаторы ДВС оснастить дополнительными жалюзи / шторкой. В настоящее же время целесообразно все дизели ЯМЗ- 236 дооборудовать дополнительным экраном радиатора (пластик, резинотекстиль, фанера или какого либо другой листовой материал), разместив последний в имеющемся зазоре между радиатором и кожухом вентилятора.

ЛИТЕРАТУРА

1. Серебренников Е.А. Пожарная безопасность как составная часть национальной безопасности России. Пожарная безопасность - 2000 комплексные решения, техника, оборудование, услуги. Специализированный каталог,- М.: Гротек, 2000. - 192с.
2. Пожитной С.В. Особенности эксплуатации пожарных автомобилей в зимний период // Проблемы деятельности ГПС регионов Сибири и Дальнего Востока. Материалы 1-ой Сибирской научно-практической конференции. - Иркутск: ВИСИ МВД России, 1998. - 238с.
3. Пожары и пожарная безопасность в 1999г. Статистический сборник. Часть 2. Ресурсы пожарной охраны и показатели ее деятельности. - М.: ВНИИПО МВД России, 2000. - 164с.
4. Боевой устав пожарной охраны (БУПО-95). Приказ МВД России от 05.07.1995 г. №257.
5. Наставление по технической службе ГПС МВД России. Приказ МВД России от 24.01.1996 г. № 34.
6. Андреев Ю.А., Амельчугов С.П. и др. Возникновение и предупреждение пожаров на объектах Сибири и Дальнего Востока // Сибирский вестник пожарной безопасности. 1999, № 1.
7. Бардышев О.А. Повышение эффективности эксплуатации строительной техники в зимних условиях. - Л.: ЛДНТП, 1976. - 20с.
8. Микеев А.К. Пожар. Социальные, экономические, экологические проблемы. - М.: Пожнаука, 1994. - 385с.
9. ГОСТ 12.1.004-91 Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования. - М.: Изд-во стандартов,

1991.