Тип статьи: научная
УДК 621.43:629.3
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-3-72-86

ТЕХНОЛОГИЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ И ПОДАЧИ КОМПЛЕКСНОГО ТОПЛИВА ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ АВТОТРАКТОРНОЙ ТЕХНИКИ

Юрий Викторович Родионов [1]***, Сергей Иванович Данилин*** [2]***,***
Александр Егорович Ломовских [3]***, Алексей Алексеевич Свиридов*** [4]***,***
Андрей Александрович Волокитин [5]
[1]*Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Россия*
[1,2,3]*Мичуринский государственный аграрный университет, г. Мичуринск, Россия*
[1]rodionow.u.w@rambler.ru, [3]lomovskih1979@yandex.ru
[3,4,5]*ВВА им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина, г. Воронеж, Россия*
[5]andvolokitin@yandex.ru

Автор, ответственный за переписку: Александр Егорович Ломовских, lomovskih1979@yandex.ru
Corresponding author: Alexander Lomovskih, lomovskih1979@yandex.ru

Реферат. *Предложена технология приготовления и подачи комплексного топлива для улучшения эксплуатационно-технических характеристик дизельных двигателей автотракторной техники (АТТ), а также технические средства для её реализации. Проведённый анализ работы образцов АТТ, показал, что ее эксплуатация происходит с небольшими скоростями движения в полевых условиях и большими нагрузками на двигатель внутреннего сгорания (ДВС), при этом повышается его тепловая напряжённость и в камере сгорания ухудшается процесс сгорания, приводящий к образованию нагара. Для решения этой проблемы предлагается способ и технические средства для очистки деталей двигателя от образовавшегося нагара без его разбора в процессе повседневной эксплуатации с целью улучшения эксплуатационно-технических характеристик техники, от которых будет напрямую зависеть готовность образцов машинно тракторного парка. Разработанный способ основан на прямом смешивании топлива с водой, диспергации полученной смеси и подачи в камеру сгорания ДВС при превышении температуры топлива заданной величины, и в зависимости от температуры, а также количества оборотов ДВС и с разных уровней смесительного бака. Универсальность разработанных устройств для реализации предлагаемого способа состоит в том, что их можно применять не только в условиях стационарного применения, но и на борту техники в процессе её эксплуатации. Реализация разработанного способа и технических устройств обеспечит эффективное удаление нагара за счёт взаимодействия раскалённых частиц нагара с каплями воды (пара), что приведёт к увеличению ресурса дизельных ДВС, восстановлению эксплуатационно-технических характеристик особенно изношенных дизельных ДВС и в конечном итоге повысит готовность отдельных образцов АТТ и в целом техническую готовность машинно-тракторного парка.*

Ключевые слова*: дизельный двигатель внутреннего сгорания, автотракторная техника, нагар, техническое обслуживание, техническое устройство, безразборная очистка деталей от нагара.*

TECHNOLOGY OF PREPARATION AND SUPPLY OF COMPLEX FUEL TO IMPROVE THE OPERATIONAL AND TECHNICAL CHARACTERISTICS OF DIESEL ENGINES OF AUTOMOTIVE EQUIPMENT

Yuri Rodionov [1]***, Sergey Danilin*** [2]***, Alexandr Lomovskih*** [3]***, Alexey Sviridov*** [4]***, Andrey Volokitin*** [5]
[1]*Tambov state technical university, Tambov, Russia*

[1,2,3]*Michurinsk State Agrarian University, Michurinsk, Russia*
[1]rodionow.u.w@rambler.ru, [3]lomovskih1979@yandex.ru
[3,4,5]*Air force Academy named after Professor N. E Zhukovsky and Y. A. Gagarin, Voronezh, Russia*
[5]andvolokitin@yandex.ru

Abstract. *The technology of preparation and supply of complex fuel is proposed to improve the operational and technical characteristics of diesel engines of automotive equipment, as well as technical means for its implementation. The analysis of the work of the ATT samples showed that its operation occurs with low speeds in the field and heavy loads on the internal combustion engine (ICE), while its thermal tension increases and the combustion process worsens in the combustion chamber, leading to the formation of carbon deposits. To solve this problem, a method and technical means are proposed for cleaning engine parts from the formed carbon deposits without parsing it during daily operation in order to improve the operational and technical characteristics of equipment, on which the readiness of samples of the machine and tractor fleet will directly depend. The developed method is based on direct mixing of fuel with water, dispersion of the resulting mixture and feeding into the combustion chamber of the internal combustion engine when the fuel temperature exceeds a given value, and depending on the temperature, as well as the number of revolutions of the internal combustion engine and from different levels of the mixing tank. The versatility of the developed devices for the implementation of the proposed method is that they can be used not only in stationary conditions, but also on board the equipment during its operation. The implementation of the developed method and technical devices will ensure effective removal of carbon deposits due to the interaction of red-hot carbon particles with water droplets (steam), which will lead to an increase in the resource of diesel internal combustion engines, restoration of operational and technical characteristics of especially worn-out diesel internal combustion engines and ultimately increase the readiness of individual samples of ATT and, in general, the technical readiness of the machine and tractor fleet.*

Keywords: *diesel internal combustion engine, automotive equipment, carbon deposits, maintenance, technical device, non-disassembly cleaning of parts from carbon deposits.*

Для цитирования: Родионов Ю.В., Данилин С.И., Ломовских А.Е., Свиридов А.А., Волокитин А.А. Технология приготовления и подачи комплексного топлива для улучшения эксплуатационно-технических характеристик дизельных двигателей автотракторной техники// Наука в Центральной России. 2023. Т. 63, № 3. С. 72-86. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-3-72-86.

For citation: Rodionov Y, Danilin S., Lomovskih A., Sviridov A., Volokitin A. Technology of preparation and supply of complex fuel to improve the operational and technical characteristics of diesel engines of automotive equipment. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2023; 63(3): 72-86. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-3-72-86.

Введение. В настоящее время сельхозпроизводители остро испытывают проблему поддержания на необходимом уровне работоспособности автотракторной техники (АТТ), которая входит в состав машинно-тракторного парка (МТП), что в свою очередь влияет на техническую готовность образцов АТТ. Если рассматривать иерархическую схему, то современный МТП, можно представить в виде суперсистемы, а АТТ входящую в состав данного парка, как техническую систему, состоящую в свою очередь из подсистем (трансмиссии, ходовой системы, силовая установка, тормозная система и др.). Таким образом, можно сделать вывод, что техническая готовность МТП будет зависеть от готовности каждого элемента системы, то есть образца АТТ. Если рассмотреть образец АТТ, состоящий из подсистем, то соответственно на его готовность будет влиять уровень работоспособности каждого агрегата, механизма, узла и детали. Самым сложным и дорогостоящим агрегатом АТТ является двигатель внутреннего сгорания (ДВС), который состоит из систем и механизмов, представленных на рисунке 1.

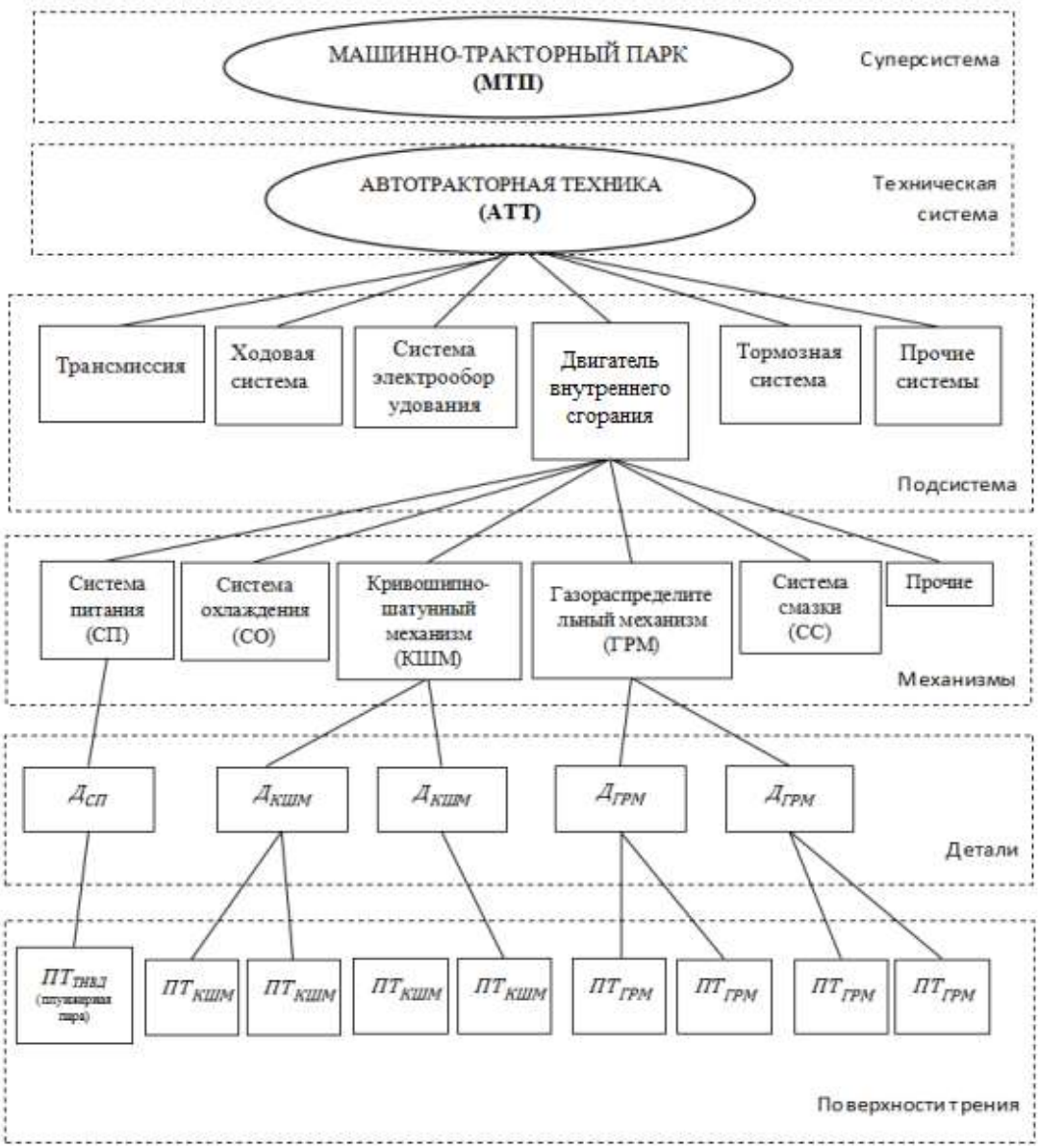


Рисунок 1 – Иерархическая схема современного МТП

На современных образцах АТТ в основном используются дизельные ДВС. В процессе эксплуатации АТТ дизельные двигатели работают, как правило, в тяжёлых условиях и при повышенной нагрузке на все агрегаты, узлы и механизмы. Вследствие такой работы существенно снижается ресурс двигателей, а также интервал регламентных работ, которые трудно определить от номинальных значений без разборки СУ и проведения его деффектовки. В таких условиях работы образца АТТ, характерными небольшими скоростями движения техники при выполнении технологических операций в поле и большими нагрузками на ДВС, повышается его тепловая напряжённость и в камере сгорания ухудшается процесс сгорания. Все это приводит к дополнительному образованию нагароотложений на теплонапряженных деталях (стенках цилиндров, клапанах, поршнях, форсунках, выпускных коллекторах и др.). В наиболее сложных

условиях по тепловой напряжённости находятся огневые днища головки блока цилиндров и поршня, температурные поля которых характеризуются значительной неравномерностью в различных зонах.

Проведённый анализ работ [1, 2], выявил, что нагар негативно влияет на эксплуатационно-технические характеристики дизельных ДВС. В качестве примера можно привести, что при эксплуатации грузовой дизельной техники в среднем за 100 тыс. км пробега на поршне образуется более 3 мм нагара, который в свою очередь повышает температуру днища поршня более чем на 300 °С из-за ухудшения отвода тепла от поршня, несмотря на подачу масла в его каналы масляного охлаждения. Поэтому резко увеличивается трение поршня о стенки цилиндра, приводя к усиленному процессу износа деталей цилиндро-поршневой группы. Также образующийся нагар уменьшает камеру сгорания в каждом цилиндре, в результате чего, повышается температурный режим, поэтому в процессе эксплуатации не только увеличивается толщина нагара, но и его твёрдость. Это негативно влияет на работу поршневых колец, так как нагар в процессе его накопления и затвердевания между кольцами и канавками поршня, приводит к потере их подвижности и «залеганию». Все перечисленное значительно снижает ресурс ДВС. Следует отметить, что при проведении технического обслуживания АТТ не предусмотрено технологических операций связанных с очисткой деталей ДВС от нагара, а также то что его полностью можно очистить только после частичной разборки двигателя. Поэтому это очень трудоёмкий и дорогостоящий процесс и его никто не выполняет. В связи с этим для обеспечения заявленного заводом-изготовителем ресурса ДВС необходимо не допускать образования нагароотложений в камере сгорания двигателя, а так как это выполнить практически дорого и не возможно, тогда остаётся только максимально снизить его образование в процессе эксплуатации двигателей АТТ.

Если далее рассмотреть подсистему ДВС, то самым дорогостоящим и сложным в его составе является система питания, а если взять ещё уже, то непосредственно топливный насос высокого давления (ТНВД). А если учесть тот факт, что многие сельхозпроизводители не задумываясь о последствиях, с целью получения быстрой прибыли, идут по пути снижения затрат связанных с закупкой горюче-смазочных материалов и используют для работы АТТ дешёвое, дизельное топливо низкого качества. То в результате данные обстоятельства, не только приводят к описанным выше последствиям, но и вызывают преждевременный износ топливной аппаратуры (особенно плунжерной пары ТНВД) системы питания ДВС.

При решении задачи, связанной с надёжностью образцов техники МТП, только качественной оценки недостаточно, поэтому количественную оценку таких свойств надёжности, как безотказность, ремонтопригодность, сохраняемость и долговечность можно выполнить с помощью единичных критериев, как показано на рисунке 2.

Но в нашем случае целесообразно использовать комплексный критерий, характеризующий одновременно несколько свойств надёжности это коэффициент готовности образца АТТ, который определяется по формуле:

$$К_г = \frac{t_н}{t_н - t_в}, \quad (1)$$

где $t_н$ – средняя наработка на отказ образца АТТ, за расчётный период (средняя продолжительность работоспособного состояния) час; $t_в$ – среднее время восстановления образца АТТ (средняя продолжительность неработоспособного состояния по внутренней причине), час.

В среднем, по предприятиям АПК, коэффициент готовности образцов техники МТП не должен быть ниже 0,85, но как показывает проведённый анализ эксплуатации сильно изношенной техники, во многих сельскохозяйственных предприятиях, он существенно ниже этой цифры (до 0,75). Таким образом, необходимо увеличить наработку на отказ образца АТТ, которая будет определяться техническим состоянием ДВС и непосредственно его надёжностью (согласно рисунка 2) и напрямую зависеть от качества проведения технического обслуживания (ТО) ДВС.

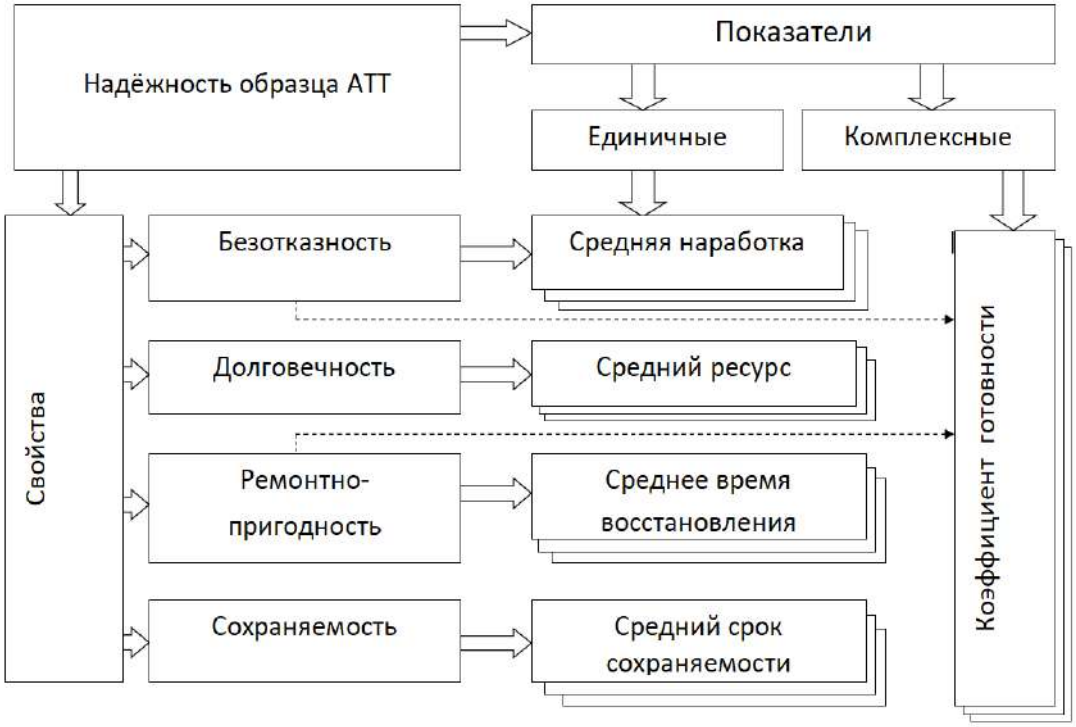


Рисунок 2 – Взаимосвязь свойств и показатели надёжности образца АТТ

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

разработать способ и технические средства для очистки деталей двигателя от образовавшегося нагара без его разбора, желательно в процессе повседневной эксплуатации АТТ, а также полного или частичного исключения дальнейшего его образования с целью улучшения эксплуатационно-технических характеристик техники и непосредственно увеличения ресурса ДВС, от которого будет напрямую зависеть готовность образца АТТ и в целом техническая готовность МТП;

внедрить технические решения в состав штатной системы питания ДВС, не изменяя существенно её конструкции и не снижая ресурс;

практически реализовать разработанные способ и технические устройства в системе ТО двигателей с целью повышения его безотказности.

Материалы и методы. Для решения этих задач необходимо вначале провести комплексный анализ существующих способов и технических средств для очистки деталей ДВС от образовавшегося нагара, а затем произвести синтез отдельных составляющих, обособленных при анализе, в качестве единого целого для изучения взаимосвязей между ними.

Для снятия показателей дизельного двигателя ЯМЗ-236НЕ и получения внешней скоростной характеристики использовали нагрузочный центр КИ-5540 (рисунок 3).

Экспериментальные исследования проводились в строгом соответствии с требованиями ГОСТ 14846-81, ГОСТ Р 52408-2005, ГОСТ Р 52033-2003 [3-5]. При этом температура ДВС и моторного масла поддерживалась в пределах, указанных в технической документации на ДВС. В экспериментальных исследованиях использовались следующие средства измерений (таблица 1).

Рисунок 3 – Внешний вид нагрузочного стенда КИ-5540 для проведения экспериментальных исследований

Таблица 1 – Перечень применяемых при исследовании стандартных средств измерений

№ п/п	Наименование прибора	Единица измерения	Диапазон измерения	Погрешность измерения, %.
1	Термометр	°С	0 ÷ 200	± 1
2	Преобразователь электрический	В	0 ÷ 300	± 1
3	Тахометр электронный типа ТЭСА-5	об/мин	0 ÷ 10000	± 5
4	Вольтметр универсальный В7-47 по ГОСТ 17.2.205-86	В	0 ÷ 250	± 1
6	Манометр	МПа	0 ÷ 0,1	± 1
7	Секундомер ПВ-53А	сек.	0÷~	± 1
8	Расходомер ИП-179ПС	л/ч	5÷100	± 1,5

Проведённые испытания дизельного ДВС позволили установить, что работа двигателя на всех режимах стабильна, сбоев не выявлено.

Точность и достоверность полученных результатов основывалось на правильности выбора средств измерений, а также на выборе места расположения приборов, которое было выбрано из условия обеспечения минимальных помех, оказываемых работой ДВС на показания приборов. Расчёт предельной относительной погрешности часового расхода топлива осуществлялся по выражениям:

$$G_T = \frac{3{,}6 \times m_T}{t}, \text{ (кг/ч)} \quad (2)$$

$$\delta(G_т) = \sqrt{\delta(m_т)^2 + \delta(t)^2} = \sqrt{0{,}67^2 + 0{,}17^2} = 0{,}69\ \% \quad (3)$$

где m_T – масса израсходованного топлива, кг; t – время работы ДВС, с.

Совокупная погрешность по всем производимым измерениям не превышает ± 5 %.

Результаты и их обсуждение. В рамках решения первой задачи исследования был изучен процесс образования нагара на основных деталях ДВС, который описывается в источнике [1, 2] в рамках диссертационной работы, который представлен в виде схемы, изображённой на рисунке 4.

Изучение данной схемы позволяет установить, что образование нагара существенно зависит от конструктивных особенностей дизельного ДВС и непосредственно условий, в которых осуществляется его эксплуатация.

Нагароотложения, в зависимости от температурных режимов работы дизельного двигателя АТТ, а также качества применяемых горюче-смазочных материалов могут разниться по своему составу, способности скрепления с поверхностью деталей и твёрдости. Проведённые исследования [2, 6] показывают, что нагар в основном образуется в результате сгорания дизельных топлив, насыщенных сернистыми соединениями, который отличается от других значительной твёрдостью и плотностью.

Рисунок 4 – Схема образования нагара на деталях дизельного ДВС

Эксплуатационные исследования образования нагароотложений проводились в работе [7], в которых была установлена динамика формирования нагара. Экспериментально установлено, что при наработке дизельных образцов АТТ около 1000 мото-часов толщина нагара колеблется в районе 1 мм, а его твёрдость уже находится около 2Т...3Т, то есть он очень твёрдый и удалить его возможно только путём разборки ДВС.

Таким образом, можно установить, что нагарообразование – это сложный процесс и его последствия негативно влияют на эксплуатационно-технические характеристики дизельных двигателей АТТ, которые проявляются в виде внезапных отказов, что в целом снижает техническую готовность парка техники, эксплуатируемой предприятиями АПК. На процесс образования нагара влияет большое количество факторов, поэтому предотвратить его появление полностью невозможно, поэтому необходимо разработать технологию безразборной очистки деталей ДВС от нагара непосредственно в процессе эксплуатации АТТ.

В настоящее время для очистки деталей ДВС существует множество разнообразных присадок, добавляемых как в моторное масло, так и в топливо [6, 8]. Кроме того, на выбор используемых присадок влияет их способность смешиваться с выбранными маслами и топливом, чтобы обеспечить совместимость с другими присадками в их составе и экономическую эффективность. Некоторые присадки действуют непосредственно в масле или топливе (например, антиокислительные), а другие на поверхности металла (например, противоизносные присадки и ингибиторы). К недостаткам данных методов относится: недолгий срок службы (для очистки от нагара необходимо регулярная работа на присадках, что не всегда экономически целесообразно), рынок данных товаров заполнен подделками, которые могут негативно влиять на рабочие параметры двигателя, присадки на основе минеральных порошков могут вывести масляные каналы из строя, а присадки с металлоплакирующими свойствами, при постоянном использовании, могут стереть маслоудерживающие риски со стенок цилиндра и т. д.

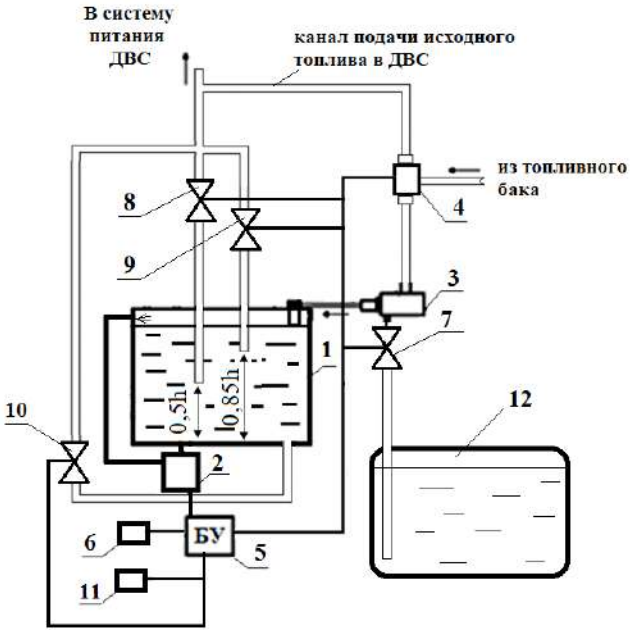
Также для очистки деталей ДВС от нагара применяются различные устройства, которые могут быть по-разному связаны с топливной системой [9, 10].

Выявлен самый дешёвый и наиболее перспективный способ и устройство для его реализации [9], в котором во впускной коллектор двигателя подаётся вода при работе ДВС пропорционально

часовому расходу топлива. Основной недостаток в том, что происходит перемешивание топлива во впускном коллекторе и формируются капли больших размеров (500…750 мкм), воздействуя на нагар такие капли, могут дробить его путём откалывания на очень большие частицы. Так как частицы нагара твёрдые, если они попадут в зазор между поршнем и цилиндром возникнут царапины (задиры), что может привести к дорогостоящему ремонту двигателя. В связи с этим, недостаток этого способа заключается в низкой степени очистки деталей цилиндро-поршневой группы из-за некачественного размягчения твёрдых смолисто-лако-коксовых отложений, в частности на поршнях и гильзах. Поэтому отколовшиеся на начальном этапе твёрдые частички нагара частично попадают между поршнем, поршневыми кольцами и гильзой цилиндра, приводя в процессе очистки к задирам на этих деталях. Но к самому главному недостатку этого способа следует отнести то, что его реализация происходит стационарно, путём вывода техники из эксплуатации.

Поэтому данный способ [9], основанный на смешивании топлива с водой, диспергации полученной смеси и подачи в камеру сгорания ДВС будет использован для дальнейшего совершенствования.

Проведённый патентный поиск [9, 10] позволил разработать способ и его реализацию с помощью технического устройства, результатом которого будет повышение степени очистки деталей двигателя за счёт первоначального размягчения нагара. Способ и техническое решение для его реализации представлены на рисунке 5.



1 – смесительная ёмкость; 2 – диспергатор; 3 – смеситель-дозатор, 4 – двухканальный управляемый клапан с датчиком температуры топлива; 5 – блок управления; 6 – датчик температуры охлаждающей жидкости двигателя; 7, 8, 9, 10 – управляемые клапаны; 11 – датчик оборотов двигателя; 12 – ёмкость с водой

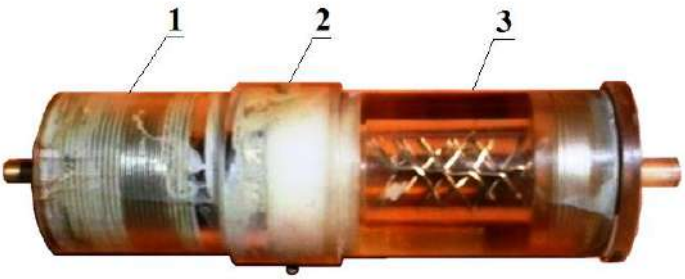
Рисунок 5 – Схема разработанного технического решения

Способ включает подачу топлива и воды при заборе водно-топливной эмульсии из бака 12 в зависимости от температурного режима работы ДВС, который отличается от известных тем, что в предлагаемом способе подача смеси топлива и воды в камеру сгорания осуществляется при превышении температуры топлива до заданной величины, и в зависимости от температуры, а также количества оборотов ДВС и с разных уровней смесительного бака 1. При этом подача смеси топлива и воды в камеру сгорания осуществляется при превышении температуры топлива

относительно заданной величины, и в зависимости от температуры и количества оборотов двигателя забор осуществляется с разных уровней смесительного бака. Температура застывания получаемой водно-топливной эмульсии является важной эксплуатационной характеристикой, которую необходимо учитывать при работе двигателя в холодное время, в связи с этим для сохранения регламентированного ресурса двигателя целесообразно реализацию способа осуществлять при температуре топлива и соответственно окружающей среды выше плюс 5 °С, при этом осуществляется забор из смесительной ёмкости с уровня 0,85h водно-топливной эмульсии, где воды содержится менее 5%, а размеры её капель менее 2 мкм в режиме пуска и прогрева двигателя при tдв. ≤ 90 °С и nдв ≤ 1000 мин-1, где h – высота уровня топлива от дна бака, nдв – обороты двигателя, tдв – температура ДВС, с уровня 0,5h водно-топливной эмульсии, где воды содержится около 10%, а размеры её капель 5…10 мкм в режиме средних нагрузок двигателя при tдв. ≥ 90 °С и 1500 мин-1 ≤ nдв ≥ 1000 мин-1, со дна смесительной ёмкости водно-топливной эмульсии, где воды содержится около 20%, а размеры её капель более 10 мкм в режиме максимальных нагрузок двигателя при tдв. ≥ 90 °С и nдв ≥ 1500 мин-1 в штатную систему питания двигателя через управляемые клапаны, регулируемые блоком управления. В смесительной ёмкости происходит процесс её коагуляции, то есть процесс разрушения коллоидной системы за счёт объединения мелких капель воды в более крупные и их последующего оседания на дно ёмкости из-за физико-химических свойств жидкости и избыточного давления в её объёме. Поэтому в верхней части смесительной ёмкости, находится вода с размерами капель менее 2 мкм, а её содержание в объёме топлива составляет до 5%, затем по мере опускания на дно образуются капли воды 10…50 мкм, а содержание увеличивается до 20% по отношению к объёму топлива. Дальнейшее увеличение подачи воды (например, до 30%) возможно путём изменения регулировок в смесителе-дозаторе 3, но не целесообразно, так как вода может негативно повлиять на топливную аппаратуру системы питания, в результате снижения активности жидкости, что обусловлено уменьшением эффективности диспергирования.

Управляемые клапаны 4, 7, 8, 9, 10 предназначены для закрытия и открытия каналов подачи топлива и водно-топливной эмульсии, могут быть выполнены в виде электромагнитных клапанов, при этом клапан 4 имеет датчик температуры, блок управления 5 предназначенный для управления управляемыми клапанами 4, 7, 8, 9, 10 и диспергатором 2. Он может быть выполнен в виде контролера Atmega8, также датчика температуры охлаждающей жидкости двигателя предназначенного для подачи сигнала о рабочей температуре охлаждающей жидкости двигателя в блок управления 5. Для этого может использоваться штатный датчик температуры двигателя, датчик оборотов двигателя, предназначенный для подачи информации об оборотах двигателя в блок управления 5, может быть использован штатный датчик оборотов двигателя. Ёмкость с водой 12 назначение понятно из названия и может быть выполнена в виде пластикового бака.

В качестве диспергатора был разработан статический аппарат для приготовления водно-топливной эмульсии, схема которого представлена на рисунке 6.



1 – секция №1; 2 – секция №2; 3 – секция №3
Рисунок 6 – Статический аппарат для приготовления водно-топливной эмульсии

Устройство работает следующим образом. При условии, что температура топлива и окружающей среды выше заданного значения, физика процессов взаимодействия смеси разной

концентрации при других параметрах двигателя приводит к необходимости регулировать уровень забора водно-топливной эмульсии.

Когда двигатель работает в режиме пуска и прогрева до достижения температуры $t_{дв.}$ = 90 °С и оборотах двигателя $n_{дв} \leq 1000$ мин$^{-1}$, при этом топливо подаётся через двухканальный управляемый клапан 4 в смеситель-дозатор 3, который дозирует в струю проходящего топлива установленное количество воды, из ёмкости с водой 12. Одновременно с датчиков температуры 6 и датчика оборотов 11 двигателя сигнал поступает в блок управления 5, в котором формируется сигнал для закрытия подачи топлива в систему питания ДВС и сигнал для открытия двухканального клапана 4 на подачу топлива в устройство только при заданном значении температуры топлива (более 10 ºС), в смеситель-дозатор 3 и одновременно открывает управляемый клапан 9 и 7, а также включает деспиргатор 2, который циклично перемешивает топливо и воду до получения водно-топливной эмульсии высокой дисперсности, где размеры капель воды менее 2 мкм и которые равномерно распределены по всему объёму топлива. Затем из смесительной ёмкости 1 осуществляется забор водно-топливной эмульсии с уровня 0,85h, где воды содержится менее 5% в топливе, а размеры ее капель менее 2 мкм, через управляемый клапан 9 штатным топливным насосом и дальнейшая подача такого топлива в систему питания ДВС. На таком топливе двигатель работает пока не прогреется до рабочей температуры 90 °С.

Когда двигатель прогрелся до рабочей температуры $t_{дв.} \geq 90$ °С и при оборотах двигателя 1500 мин$^{-1}$ $\leq n_{дв} \geq$ 1000 мин$^{-1}$, целесообразно производить процесс очистки при движении (эксплуатации) образца АТТ. При этом сигнал от датчика температуры охлаждающей жидкости 6 и датчика оборотов 11 двигателя поступает в блок управления 5, который закрывает управляемый клапан 7 и одновременно открывает управляемый клапан 8, деспиргатор 2 продолжает постоянно работать и циклично перемешивать топливо и воду до получения водно-топливной эмульсии высокой дисперсности (2 мкм). Затем из смесительной ёмкости 1 осуществляется забор водно-топливной эмульсии штатным топливным насосом и дальнейшая подача ее в систему питания ДВС, в которой воды содержится около 10% в топливе, а размеры её капель составляют 5…10 мкм, уже с уровня 0,5h, через управляемый клапан 8. На таком топливе двигатель работает в режиме средних нагрузок.

При увеличении оборотов ДВС выше $n_{дв} \geq 1500$ мин$^{-1}$, то есть перейти в режим максимальных нагрузок и повысить скорость движения образца АТТ. При этом сигнал от датчика оборотов 11 двигателя поступает в блок управления 5, который закрывает управляемый клапан 8 и одновременно открывает управляемый клапан 10. При этом из смесительной ёмкости 1 осуществляется забор водно-топливной эмульсии со дна ёмкости штатным топливным насосом и дальнейшая подача её в систему питания ДВС в которой уже воды содержится около 20 % в топливе, а размеры её капель составляют более 10 мкм, через управляемый клапан 10. На таком топливе двигатель работает в режиме максимальных нагрузок.

При дальнейшей эксплуатации ДВС, с установленным на нем устройством для очистки деталей двигателя от нагара, с помощью датчика оборотов 11 двигателя и блока управления 5 происходит автоматическое изменение забора водно-топливной эмульсии на уровень 0,5 h, как только обороты двигателя уменьшаются, а при дальнейшем снижении оборотов на уровень 0,85 h, и наоборот [11].

Такое точное дозирование воды при различных размерах её капель в зависимости от оборотов коленчатого вала и нагрузки на ДВС позволяет эффективно очистить детали от нагара и без негативных последствий для самого двигателя.

Режим очистки продолжается до тех пор, пока не будет полностью удалён нагар с деталей ДВС, который можно контролировать, например, с помощью видеоэндоскопа, через отверстие под свечу зажигания или под форсунку.

По полученным результатам замеров была построена внешняя скоростная характеристика дизельного двигателя ЯМЗ-236НЕ при работе на водно-топливной эмульсии, подаваемой в систему питания двигателя, которая представлена на рисунке 7.

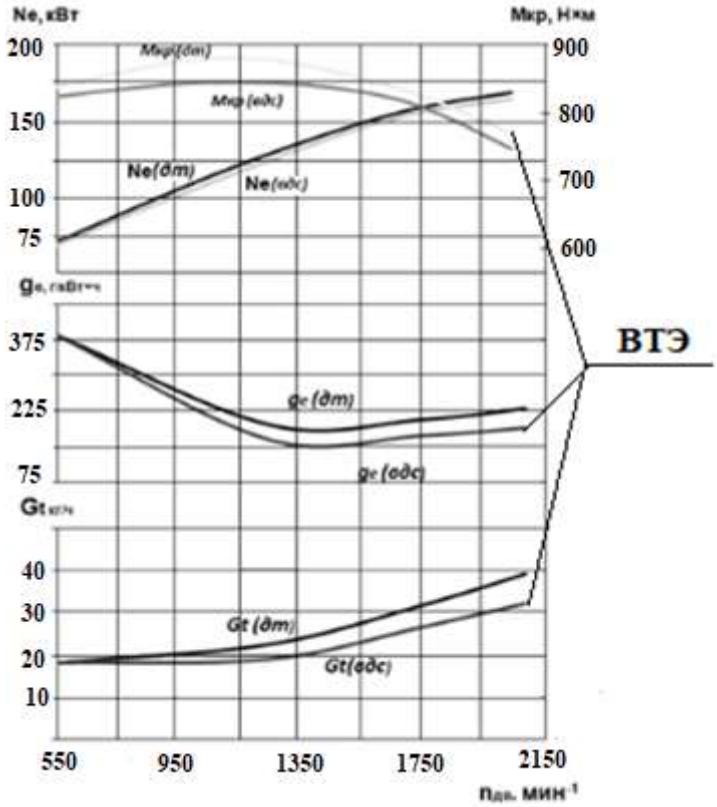


Рисунок 7 – Внешняя скоростная характеристика двигателя ЯМЗ-236 НЕ
при работе на водно-топливной эмульсии

Таким образом, можно сделать вывод, что разработанные технические решения не только не ухудшают эксплуатационно-технические характеристики дизельного ДВС, но и даже улучшают, так как вода в камере сгорания позволяет снизить цикловые давления и температуры в камере сгорания ДВС. Протекание химических реакции между парами воды и дизельного топлива записывается выражением:

$$C_m H_n + m H_2O + Q = mCO + (2m+n)H_2/2 . \quad (4)$$

Химическая активность воды при T ≥ 1000 ^oC в камере сгорания определяется следующими выражениями.

Когда коэффициент избытка воздуха α>1 (смесь бедная), то в соответствии с уравнением:

$$C + 2H_2O = CO_2 + 2H_2, \quad (5)$$

Когда коэффициент избытка воздуха α<1 (смесь богатая), то в соответствии с уравнением:

$$C + H_2O = CO + H_2. \quad (6)$$

Затраты тепла на испарение воды компенсируются горением H_2, который выделяется в ходе представленных (4–6) химических реакциях. В связи с этим при добавке до 20% воды не происходит снижение мощности дизельного ДВС [12].

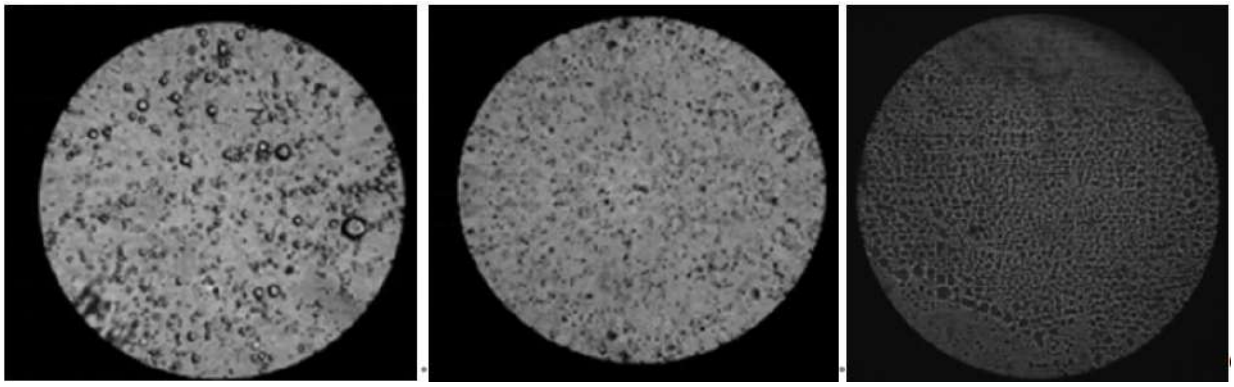
Для определения размеров капель воды в водно-топливной эмульсии использовался оптический способ, который осуществлялся с помощью цифрового микроскопа с

четырёхсоткратным увеличением и персональным компьютером с установленным программным продуктом «LevenukLite» (рисунок 8).

Рисунок 8 – Внешний вид оборудования для определения размеров капель воды

С помощью цифрового микроскопа были установлены капли воды на различных уровнях в смесительной ёмкости 1 (рисунок 5).

В ёмкости с уровне 0,85h водно-топливной эмульсии, где воды содержится менее 5%, размеры её капель составили около 2 мкм, на уровня 0,5h, где воды содержится около 10%, средние размеры её капель находились в пределах 5…10 мкм, а на дне смесительной ёмкости, где воды содержится около 20%, размеры её капель были более 10 мкм. Внешний вид капель воды под микроскопом, представлен на рисунке 9.



а) б) в)

а) на уровне 0,85h; б) на уровня 0,5h; в) на дне ёмкости

Рисунок 9 – Внешний вид капель воды под микроскопом

Следует отметить, так как капля воды в водно-топливной эмульсии обволакивается сверху тяжёлыми фракциями дизельного топлива, поэтому её контакт с металлическими поверхностями рабочих поверхностей деталей топливной аппаратуры будет практически исключён. Так как размеры капелек воды очень маленькие, а количество её не большое, то при такой подаче водно-топливной эмульсии в систему питания ДВС никаких негативных последствий не произойдёт.

В качестве рекомендаций по реализации разработанного способа необходимо отметить следующее.

1. Практическое использование разработанного способа очистки деталей ДВС от нагара и технических устройств для его реализации необходимо совмещать с проведением на образцах АТТ технического обслуживания номер 2 (ТО-2) или с проведением сезонного обслуживания (СО), то есть два раза в год, путём установки непосредственно на технику в этот период и эксплуатации ДВС на водно-топливной эмульсии в течении одного рабочего дня, то есть не более 6...8 часов. За это время необходимо полностью очистить детали дизельного ДВС от нагара, а затем снять данное техническое устройство с техники. В связи с этим все элементы устройства целесообразно установить на одной переносной и компактной платформе.

2. Прежде чем начинать подачу воды, то есть подать питание в разработанное устройство, необходимо проведение этой операции спланировать со скорой заменой масла (с проведение технического обслуживания включающего замену масла), так как процесс очистки от нагара приведёт к сильному загрязнению моторного масла.

3. При большом сроке эксплуатации образца АТТ более 10 лет или более 100 тыс км для грузовой техники или более 1250 мото-часов для сельскохозяйственной техники первоначальный процесс очистки следует производить в режиме минимальной подаче воды из смесительной ёмкости с уровня 0,85h водно-топливной эмульсии, где воды содержится менее 5%, а размеры её капель менее 2 мкм. При этом количество нагара в камере сгорания ДВС большое, его слой более 2 мм., а твёрдость его соответственно тоже большая около 2Т...3Т, поэтому чтобы его размягчить без негативных последствий нужно проработать на таком топливе в режиме холостого хода не менее 30 минут, которого достаточно для размягчения нагара. Также не большие размеры капель воды в водно-топливной эмульсии не позволят отколоть от нагара большие частички. Следует учесть тот факт, что чем толще слой нагара на деталях, тем дольше должен проработать ДВС в таком режиме и на таком топливе. После этого можно осуществлять очистку нагара уже на повышенных оборотах и с большим количеством воды.

4. При работе дизельного ДВС на водно-топливной эмульсии подачу возврата топлива в топливный бак необходимо отключить и перенаправить её в смесительную ёмкость 1 (см. рисунок 3).

5. После выполнения всех операций по очистке от нагара необходимо очистить все топливные фильтра от водно-топливной эмульсии, путём откручивания сливных пробок, расположенных в нижней части корпуса и удаления эмульсии.

Далее необходимо перейти ко второму этапу исследований и установить в течении какого периода эксплуатации образцов АТТ на водно-топливной эмульсии произойдёт полное очищение деталей ДВС от накопившегося нагара, а также с какой периодичностью повторять очистку.

Заключение. Особенность разработанного способа заключается в том, что способ безразборной очистки деталей ДВС от нагара реализуется при осуществлении забора с различных уровней смесительной ёмкости водно-топливной эмульсии, что приводит к наилучшему техническому результату, обеспечивается максимальная степень очистки деталей и соответственно восстановление рабочих характеристик двигателя, когда подача водно-топливной эмульсии (смеси топлива и воды) происходит с разных уровней смесительной ёмкости и разного состава (5…20% воды) и качества (с размерами капель воды от 2 до 10 мкм) в штатную систему питания двигателя через управляемые клапаны, регулируемые блоком управления.

Предлагаемый способ обеспечит эффективное удаление нагара за счёт взаимодействия раскалённых частиц нагара с каплями воды (пара), а устройство для его реализации является универсальным, так как может устанавливаться параллельно штатной системы питания как бензинового, так и дизельного двигателя. Использование разработанного способа также не требует вывода техники из эксплуатации, так как осуществляется на борту АТТ при работе ДВС на всех режимах. В целом внедрение разработанного способа и технических устройств позволит в конечном итоге повысить готовность отдельных образцов АТТ и в целом техническую готовность МТП.

Список источников

1. Катаев, Ю.В. Технология очистки двигателей от нагара: спец. 05.20.03 «Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве»: дис.... канд. техн. наук / Катаев Юрий Владимирович. Москва, 2013. 135 с.

2. Картошкин, А.П. Разработка метода и стенда для ускоренной оценки влияния эксплуатационных факторов на нагарообразование в дизелях: автореф. дис.... канд. техн. наук / Картошкин Александр Петрович. Л., 1984. 17 с.

3. ГОСТ 14846-81. Двигатели автомобильные. Методы стендовых испытаний. М.: Изд-во стандартов. 42 с.

4. ГОСТ Р 52408-2005, Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Выбросы вредных веществ с отработавшими газами. Измерения в условиях эксплуатации. Ч. 2. М.: Изд-во стандартов. 30 с.

5. ГОСТ Р 52033-2003. Автомобили с бензиновыми двигателями. Выбросы загрязняющих веществ с отработавшими газами. Нормы и методы контроля при оценке технического состояния. М.: Изд-во стандартов. 31 с.

6. Папок, К.К. Нагары, лаковые отложения и осадки в автомобильных двигателях / К.К. Папок [и др.]. М.: Машгиз, 1956. 256 с.

7. Проскурин, А.И. Исследование безразборного удаления нагара с деталей цилиндро-поршневой группы двигателей сельскохозяйственных тракторов в условиях эксплуатации: дис. ... канд. техн. наук / А.И. Проскурин. Л: Пушкин, 1983. 158 с.

8. Катаев, Ю.В. Безразборная очистка двигателя от нагара / Ю.В. Катаев // Сельский механизатор. 2011. № 9. С. 34–35.

9. Пат. №109423 РФ, МПК B08B 3/00 (2006.01). Установка для очистки от нагара деталей двигателя внутреннего сгорания /Ю.В. Катаев, В.М. Корнеев, А.С. Дорохов; заявитель и патентообладатель Катаев Ю.В. № 2011119539/06; заявл. 16.05.2011; опубл. 20.10.2011, Бюл. № 29. 2 с.: ил.

10. Пат. № 2708000, РФ, МПК 6 F 02M2/5(022). Устройство для безразборной очистки деталей двигателя внутреннего сгорания от нагара / Ломовских А.Е., Тещин М.А., Егоров Д.С., Стародубцев Д.А., Волокитин А.А.; заявитель и патентообладатель ВУНЦ ВВС «ВВА» г. Воронеж № 2019112121; заявл. 22.04.2019; опубл. 03.12.2019, Бюл. № 34. 8 с.: ил.

11. Безразборный процесс очистки поверхностей деталей цилиндро-поршневой группы от нагара / А.Е. Ломовских, Д.А. Стародубец, А.А. Волокитин, Е.А.Галныкин. Сборник статей по материалам докладов IV НПК 17 мая 2017 г. Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА», 2017. С. 267–271.

12. Способ продления ресурса военной автомобильной техники при повседневной эксплуатации / А.Е. Ломовских, Е.В. Носов, С.В. Митрофанова. Электронное периодическое издание «Воздушно-космические силы. Теория и практика». Издательство: ФГКВОУ ВО ВУНЦ ВВС «ВВА» имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина. МО РФ (Воронеж) 2020 г. №13. С. 165–174.

References

1. Kataev, Yu.V. Technology of cleaning engines from carbon deposits: spec. 05.20.03 "Technologies and means of maintenance in agriculture": dis.... Candidate of Technical Sciences / Kataev Yuri Vladimirovich. Moscow, 2013. 135 p.

2. Kartoshkin, A.P. Development of a method and a stand for accelerated assessment of the influence of operational factors on carbon formation in diesel engines: abstract. dis.... Candidate of Technical Sciences / Kartoshkin Alexander Petrovich. L., 1984. 17 p.

3. GOST 14846–81. Automotive engines. Methods of bench tests. M.: Publishing House of standards. 42 p.

4. GOST R 52408–2005, Piston internal combustion engines. Emissions of harmful substances with exhaust gases. Measurements under operating conditions. Part 2. M.: Publishing House of standards. 30 p.

5. GOST R 52033–2003. Cars with gasoline engines. Emissions of pollutants from exhaust gases. Norms and methods of control in the assessment of technical condition. M.: Publishing House of standards. 31 p.

6. Papok, K.K. Nagars, varnish deposits and sediments in automobile engines / K.K. Folders [et al.]. Moscow: Mashgiz, 1956. 256 p.

7. Proskurin, A.I. Investigation of non-selective removal of carbon deposits from the cylinder-piston group of engines of agricultural trucks under operating conditions: dis. ... Candidate of Technical Sciences / A.I. Proskurin. L: Pushkin, 1983. 158 p.

8. Kataev, Yu.V. Non-selective cleaning of the engine from carbon deposits / Yu.V. Kataev // Rural mechanizer. 2011. No. 9. pp. 34–35.

9. Pat. No.109423 of the Russian Federation, IPC V08B 3/00 (2006.01). Installation for cleaning of internal combustion engine parts from carbon deposits /Yu.V. Kataev, V.M. Korneev, A.C. Dorokhov; applicant and patent holder Kataev Yu.V. No. 2011119539/06; application 16.05.2011; publ. 20.10.2011, Bul. No. 29. 2 p.: ill.

10. Pat. No. 2708000, RF, IPC 6 F 02M2/5(022). Device for non-disassembly cleaning of internal combustion engine parts from carbon deposits / Lomovskikh A.E., Teschin M.A., Egorov D.S., Starodubtsev D.A., Volokitin A.A.; applicant and patent holder of the VUNC VVS "VVA" Voronezh No. 2019112121; application No. 22.04.2019; publ. 03.12.2019, Bul. No. 34. 8 p.: ill.

11. The non-disassembly process of cleaning the surfaces of parts of the cylinder-piston group from carbon deposits / A.E. Lomovskikh, D.A. Starodubets, A.A. Volokitin, E.A.Galnykin. Collection of articles based on the materials of the IV NPC reports on May 17, 2017 Voronezh: VUNTS VVS "VVA", 2017. pp. 267–271.

12. The method of prolonging the resource of military automotive equipment during daily operation / A.E. Lomovskikh, E.V. Nosov, S.V. Mitrofanova. Electronic periodical "Aerospace Forces. Theory and practice". Publishing house: FGKVOU VUNTS VVS "VVA" named after Professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin. Ministry of Defense of the Russian Federation (Voronezh) 2020 No. 13. pp. 165–174.

Информация об авторах

Ю.В. Родионов - доктор технических наук, профессор; С.И. Данилин - кандидат сельскохозяйственных наук, профессор; А.Е. Ломовских – кандидат технических наук; А.А. Свиридов – кандидат педагогических наук; А.А. Волокитин – соискатель.

Information about the authors

Yu. Rodionov - doctor of technical sciences, professor; S. Danilin - candidate of agricultural sciences, professor; A. Lomovskikh - candidate of technical sciences; A. Sviridov - candidate of pedagogical sciences; A. Volokitin - applicant.

Вклад авторов все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: *all authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication*.

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 03.06.2023 Принята к публикации (Accepted): 24.06.2023