Грузовик

5
2019

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

Учредитель ООО "Научно-техническое издательство "Инновационное машиностроение"

Главный редактор С.Н. ПЕДЕНКО

Редакционный совет

В.С. Антипенко, д-р техн. наук, проф.
Е.В. Балакина, д-р техн. наук, проф.
Д.Х. Валеев, д-р техн. наук
Ю.Э. Васильев, д-р техн. наук, проф.
В.А. Волчков, "Autotransportnik.ru"
С.М. Гайдар, д-р техн. наук, проф.
Л.В. Грехов, д-р техн. наук, проф.
В.А. Зорин, д-р техн. наук, проф.
М.Ю. Карелина, д-р техн. наук, проф.
Н.Т. Катанаев, д-р техн. наук, проф.
В.Н. Козловский, д-р техн. наук, проф.
В.В. Комаров, канд. техн. наук
А.В. Кочетков, д-р техн. наук, проф.
В.А. Марков, д-р техн. наук, проф.
Л.Б. Миротин, д-р техн. наук, проф.
А.Н. Новиков, д-р техн. наук, проф
А.Н. Ременцов, д-р пед. наук, проф.
О.Н. Румянцева, генеральный директор ООО "Изд-во Инновационное машиностроение"
А.Ф. Синельников, канд. техн. наук, проф.
А.А. Солнцев, д-р техн. наук, проф.
В.С. Устименко, канд. техн. наук
Х.А. Фасхиев, д-р техн. наук, проф.
Н.Д. Чайнов, д-р техн. наук, проф.

Корпункт:
Я.Е.Карповский (г.Минск)

Адрес редакции:
107076, Москва, Колодезный пер., дом 2-а, стр. 12
Тел. (499) 269-48-96
E-mail: gruzovik@mashin.ru; http://www.mashin.ru

Адрес издательства:
107076, Москва, Колодезный пер., дом 2-а, стр. 2
Тел.(495) 661-03-36

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор). Регистрационный номер ПИ № ФС77-63955 от 09.12.2015 г.

Подписной индекс:
по объединенному каталогу
"Пресса России" 39799

ООО «Издательство «Инновационное машиностроение», "Грузовик", 2019

Перепечатка материалов из журнала «Грузовик» возможна при обязательном письменном согласовании с редакцией журнала. При перепечатке материалов ссылка на журнал «Грузовик» обязательна.

За содержание рекламных материалов ответственность несет рекламодатель.

В НОМЕРЕ:

Конструкция

3 *Карелина М. Ю., Климов А. В.* Гибридный амортизатор с рекуперативным эффектом

6 *Гаевский В. В., Хаваев Д. А., Муравьев И. И.* Увеличение эксплуатационного ресурса элементов силовых установок

Энергетическое машиностроение

10 *Костюков А. В., Надарейшвили Г. Г.* Перспективы использования газотурбинных двигателей на транспортных средствах. Часть 1

15 *Карелина М. Ю., Филатов В. В.* Комбинированный привод гибридного транспортного средства

Эксплуатация. Ремонт

19 *Рогов В. Р., Ершов В. С., Акулов А. А.* Исследование обработки кузова легковых автомобилей антикоррозийными составами после ремонтно-восстановительных работ

Исследования. Расчет

22 *Волков А. А., Гайдар М. С.* Использование фторсодержащих ПАВ в лакокрасочных материалах для защиты автотраторной техники

27 *Пыдрин А. В., Будник А. О., Шуваева Н. С.* Влияние ингибиторов коррозии на свойства рабоче-консервационного масла

31 *Демин В.А.* Актуализация разработки методов и моделей функционирования грузового автомобильного транспорта

Практика

34 *Черепнина Т. Ю., Кузнецов А. А., Петров А. С.* Технологии повышения износостойкости поверхностей трибосопряжений узлов и деталей машин физико-химическими методами

37 *Кудряшов Б. А., Атаманенко Н. В., Деев Н. С.* Ультразвуковая очистка деталей грузового автомобиля как фактор повышения эффективности ремонтных работ

41 *Бекетов А. Б., Цупиков А. Г., Стародумов А. С.* Методы повышения износостойкости ковша экскаватора

45 *Дмитревский А. Л., Сорокин И. О., Сергеев А. Ю., Попугаев Н. С.* Технология плазменного напыления с одновременной электромеханической обработкой

Журнал входит в Перечень утвержденных ВАК РФ изданий для публикации трудов соискателей ученых степеней http://perechen.vak2.ed.gov.ru/
Система Российского индекса научного цитирования www.elibrary.ru. Двухлетний импакт-фактор РИНЦ 2017 г. — 0,542. Место в рейтинге SCIENCE INDEX за 2017 г. по тематике "Транспорт" — 27; по тематике "Машиностроение" — 52.

Информация на сайте "Autotransportnik.ru"

Truck

5
2019

SCIENTIFIC-TECHNICAL AND INDUSTRIAL MAGAZINE

Founder JSC Scientific and Technical Publishing House "Innovative Engineering"

Editor-in-Chief S.N. PEDENKO

Editorial council

V.S. Antipenko, dr. en. s., prof.
E.V. Balakina, dr. en. s., prof.
D.H. Valeev, dr. en. s.
Ju.E. Vasilyev, dr. en. s., prof.
B.A. Volchkov, «Autotransportnik.ru»
S.M. Gaidar, dr. en. s., prof.
L.V. Grekhov, dr. en. s., prof.
V.A. Zorin, dr. en. s., prof.
M.Ju. Karelina, dr. en. s., prof.
N.T. Katanaev, dr. en. s., prof.
V.N. Kozlovsky, dr. en. s., prof.
V.V. Komarov, cand. tehn. s.
A.V. Kochetkov, dr. en. s., prof.
V.A. Markov, dr. en. s., prof.
L.B. Mirotin, dr. en. s., prof.
A.N. Novikov, dr. en. s., prof.
A.N. Rementsov, dr. hab, phd in en. s.
O.N. Rumyantseva, gen. dir. JSC "Publisher "Innovative Engineering"
A.F. Sinelnikov, cand. tehn. s., prof.
A.A. Solntsev, dr. en. s., prof.
V.S. Ustymenko, cand. tehn. s.
J.A. Faskhiyev, dr. en. s., prof.
N.D. Chaynov, dr. en. s., prof.

Correspondent's office:
Ya.E. Karpovsky (Minsk)

Address of the editorial office:
107076, Moscow, Kolodezny Lane, house 2-a, str. 12
Ph. (499) 269-48-96
E-mail: gruzovik@mashin.ru; snp748@yandex.ru
http://www.mashin.ru

Address of publishing house:
107076, Kolodezny Lane, house 2-a, str. 2
Ph. (495) 661-03-36

The magazine is registered by the Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology and Mass Communications (Roskomnadzor).
Registration number PI number FS77.-63955 on December 9, 2015

Subscription index:
according to the integrated catalog "Press of Russia" 39799

JSC Innovatsionnoye mashinostroyeniye Publishing House, "Truck", 2019

Грузовик

Уважаемые подписчики и читатели журнала "Грузовик"!

Просим сообщить на e-mail: snp748@yandex.ru свой электронный адрес, имя или название организации с указанием:

"ПОДПИСЧИК" или **"Хотел бы подписаться"**

CONTENTS:

Design

3 *Karelina M. Yu., Klimov A. V.* Hybrid regenerative shock absorber

6 *Gaevsky V. V., Khavaev D. A., Muravyev I. I.* Directions of increasing the operational life of power plants

Power engineering

10 *Kostyukov A. V., Nadareishvili G. G.* Prospects for the use of gas turbine engines in vehicles. Part 1

15 *Karelina M. Yu., Filatov V. V.* Combined powertrain of hybrid vehicle

Exploitation. Renovation

19 *Rogov V. R., Ershov V. S., Akulov A. A.* The research of processing of the body of cars anticorrosive compounds after repairand restoration work

Research. Calculation

22 *Volkov A. A., Gaydar M. S.* Use of fluorine-containing surfactants in varnish and paint materials for protection of automotive machinery

27 *Pydrin A. V., Budnik A. O., Shuvaeva N. S.* The effect of corrosion inhibitors on the properties of working-conservation oil

31 *Demin V. A.* Akutualization of development of methods and models of functioning of the cargo motor transport

Practice

34 *Cherepnina T. Yu., Kuznetsov A. A., Petrov A. S.* Technologies of increase wear resistance of surfaces of tribounit of machine units and parts by chemical and physical methods

37 *Kudryashov B. A., Atamanenko N. V., Deev N. S.* Ultrasound cleaning of cargo parts, as a factor of increasing the efficiency of repair works

41 *Beketov A. B., Tsupikov A. G., Starodumov A. S.* Methods to improve the wear resistance of the excavator ladle

45 *Dmitrevskiy A. L., Sorokin I. O., Sergeev A. Y., Popugaev N. S.* Hardening the working surfaces of the cutting equipment of construction and road machines with plasma spraying technology with simultaneous electromechanical processing

Information on the site "Autotransportnik.ru" The reprint of materials from the "Truck" magazine is possible at obligatory written coordination with editorial office of the magazine. At the link to the "Truck" magazine is obligatory for a reprint of materials.

For contents of advertizing materials responsibility is born by the advertiser.

УДК 62-97/-98

М. Ю. Карелина, д-р техн. наук, профессор, e-mail: karelinamu@mail.ru,
А. В. Климов, аспирант, Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), e-mail: klimmanen@mail.ru

ГИБРИДНЫЙ АМОРТИЗАТОР С РЕКУПЕРАТИВНЫМ ЭФФЕКТОМ

В статье приводится оценка демпфирующих усилий, развиваемых гидравлическими амортизаторами и амортизаторами с рекуперативным эффектом. Ввиду недостаточности демпфирующего усилия последних приводится суждение о необходимости либо увеличивать массо-габаритные характеристики последних, либо применять гибридные конструкции. Представлен вариант конструкции гибридного амортизатора с рекуперативным эффектом, с гидравлической ступенью, который также повышает надежность системы.

Ключевые слова: *амортизатор с рекуперативным эффектом, демпфирующее усилие, гибридный амортизатор, гидравлическая ступень.*

The article provides an assessment of the damping forces developed by hydraulic shock absorbers and shock absorbers with regenerative effect. In view of the insufficiency of the damping force of the latter, a judgment is given about the need to either increase the size of the latter, or to apply hybrid structures. A variant of the design of a hybrid shock absorber with a regenerative effect, with a hydraulic stage, which also increases the reliability of the system.

Keywords: *Regenerative shock absorber, damping force, hybrid regenerative shock absorber, hydraulic stage.*

По различным оценкам, примерно до 30 % энергии транспортные средства (далее ТС) с двигателями внутреннего сгорания расходуют на движение. Остальная энергия теряется в двигателе, трансмиссии, вспомогательных агрегатах и т.п. Одним из факторов, влияющих на энергоэффективность ТС, являются потери в демпфирующих элементах (далее — ДЭ) при движении по неровностям опорного основания. Создание системы подрессоривания (далее — СП), способной рекуперировать механическую энергию колебания подрессоренных масс ТС, которая в традиционной СП рассеивается в амортизаторах в виде тепла в окружающее пространство, дает возможность увеличить энергоэффективность не только ТС с двигателями внутреннего сгорания, но также гибридных ТС и электромобилей. Проблема повышения энергоэффективности особо остро стоит для грузовых ТС, так как данные автомобили широко используются в народном хозяйстве.

Из анализа демпфирующих характеристик грузовых автомобилей следует, что максимальная демпфирующая сила на ходе сжатия составляет не более 2500 Н. На ходе отбоя же величина силы составляет от 8000 до 12000 Н. Усилие на ходе отбоя реализовать в конструкции амортизатора с рекуперативным эффектом с применением электрической машины не представляется возможным.

На рис. 1 приведены расчетные зависимости амортизаторов различных типов при отбое и возникающей демпфирующей силы от скорости штока АРЭ. Эти зависимости получены с помощью математической модели [1]. Размеры амортизаторов при расчете соответствовали серийному гидравлическому. Для сравнения приведена характеристика серийного гидравлического заднего амортизатора подвески автомобиля КАМАЗ.

Как видно из графика, линейный генератор значительно проигрывает вращательному в зоне малых скоростей штока. Исходя из вышеизложенного, целесообразнее реализовать конструкцию амортизатора с рекуперативным эффектом на

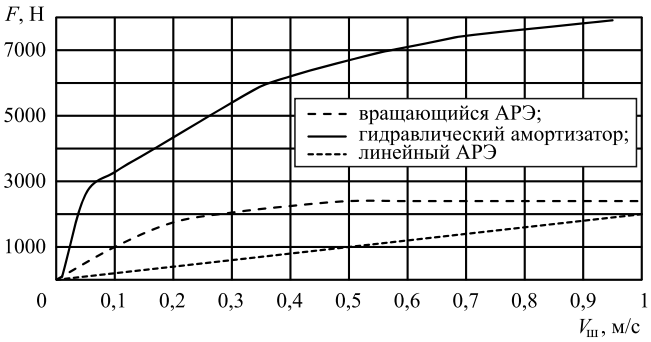


Рис. 1. Демпфирующая характеристика амортизаторов различных типов при отбое

основе ротационного синхронного генератора с постоянными магнитами, найдя при этом способ механического преобразования возвратно-поступательного движения штока во вращение генератора в условиях больших динамических нагрузок. Из графиков на рис. 1 видно, что демпфирующая характеристика АРЭ с вращательным генератором не может полностью повторить демпфирующую характеристику на ходе отбоя гидравлического амортизатора, устанавливаемого на грузовых автомобилях в тех же габаритных размерах. Поэтому для идентичного соответствия демпфирующих характеристик необходимо либо применять АРЭ с измененными габаритными размерами, либо использовать гибридную конструкцию АРЭ.

На рис. 2 представлен гибридный амортизатор с рекуперативным эффектом.

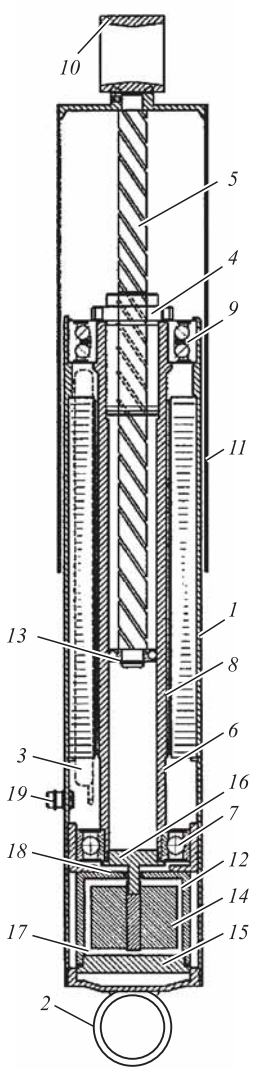


Рис. 2. Гибридный амортизатор с рекуперативным эффектом

Амортизатор содержит внутреннюю трубку *1*, соединенную в торцевой части с нижней проушиной *2*, которая предназначена для закрепления амортизатора на направляющем элементе подвески. На внутренней стенке внутренней трубки *1* расположены выступы, на которые намотаны обмотки *3* генератора с постоянными магнитами. В амортизаторе применен механизм шарико-винтовой передачи, состоящий из гайки *4* и винтового стержня *5*, для преобразования поступательного движения во вращательное движение. Причем винтовой стержень *5* имеет выполненную на нем наружную резьбу и введен в зацепление с гайкой *4* таким образом, что между винтовым стержнем *5* и гайкой *4* удерживаются несущие шарики.

Вал *6* электродвигателя, выполненный полым, на одном конце установлен в подшипник *9*, а на другом конце установлен в подшипник *7*, которые, в свою очередь, закреплены на внутренней стенке внутренней трубки *1*. Внутрь вала *6* с одного из концов установлена гайка *4*. Внутренний диаметр вала *6* электродвигателя позволяет винтовому стержню *5* свободно перемещаться внутри него. На внешней стороне вала *6* закреплены постоянные магниты *8*, являющиеся частью ротора электродвигателя. Верхний соединительный элемент *10* соединен с внешней трубкой *11* в ее торцевой части и предназначен для крепления амортизатора к несущей системе транспортного средства, при этом верхний соединительный элемент *10* является продолжением винтового стержня *5* шарико-винтовой пары, расположенного внутри внешней трубки *11*. Внешняя трубка *11* служит для предотвращения попадания внутрь амортизатора воды и пыли. На противоположном от верхнего соединительного элемента *10* конце винтового стержня *5* установлен распор *13*, скользящий при движении винтового стержня *5* по внутренней поверхности полого вала *6* электродвигателя и обеспечивающий соосность винтового стержня *5* и полого вала *6* электродвигателя.

На противоположном от гайки *4* конце вала *6* электродвигателя установлена крышка *16* с валом. Камера *12* с текучей средой закреплена рядом с крышкой *16* с валом и имеет отверстие для прохождения вала крышки *16* с валом внутрь камеры *12* с текучей средой. Сальник *18* надет на вал крышки *16* с валом для герметизации отверстия в камере *12* с текучей средой. Внутри камеры *12* с текучей средой на вал крышки *16* с валом установлены лопасти *14*, которым передается вращение от полого вала *6* электродвигателя. В камеру *12* заливается текучая среда *17* определенной вязкости, создающая сопротивление вращению лопастей *14*.

Камера *12* с текучей средой герметично закрыта крышкой *15*. Кабельный ввод *19* установлен на внутреннюю трубку и предназначен для герметизации вывода проводов обмоток *3* электродвигателя, идущих во внешнюю электронную систему управления электромагнитным амортизатором.

Возвратно-поступательные движения винтового стержня *5* при сжатии и отбое амортизатора преобразуются в механизме шарико-винтовой пары во вращательное движение вала *6*, закрепленного на гайке *4*. Вращение закрепленных на внешней стороне вала *6* постоянных магнитов *8* наводит ЭДС в размещенных на внутренней стенке внутренней трубки *1* обмотках *3* статора электродвигателя, преобразуя, таким образом, механическую энергию возвратно-поступательного движения амортизатора в электрическую

энергию. При этом двигатель работает в режиме генератора и производит механическое усилие, демпфирующее колебания кузова транспортного средства, осуществляя, таким образом, амортизирующую функцию. Уровень демпфирующего усилия электромагнитной части гибридного амортизатора зависит от скорости перемещения винтового стержня *5* и задается внешней электронной системой управления гибридным амортизатором за счет вариации электрической нагрузки, подключенной к электромагнитной части гибридного амортизатора.

Вращение вала *6* электродвигателя передается лопастям *14*, расположенным в герметичной камере *12* с текучей средой. Текучая среда *17* создает гидравлическое сопротивление вращению лопастей *14*, что приводит к появлению дополнительного демпфирующего усилия. Таким образом, в нормальном режиме работы демпфирующее усилие гибридного амортизатора состоит из электромеханического усилия генератора электромагнитного амортизатора и гидравлического сопротивления текучей среды, а в аварийном режим — только из гидравлического сопротивления.

Благодаря размещению в гибридном амортизаторе камеры с текучей средой, в которой при вертикальных перемещениях винтового стержня вращаются лопасти, возможно в габаритах серийных гидравлических амортизаторах создать конструкцию с рекуперативным эффектом. Применение вращающихся лопастей в текучей среде для создания гидравлического сопротивления позволяет получить более компактный амортизатор по сравнению с применением гидравлического демпфера с текучей средой с вертикально перемещающимся внутри поршнем, расположенным соосно с винтовым стержнем. При этом создается дополнительное демпфирующее усилие, вызванное гидравлическим сопротивлением текучей среды вращению лопастей, не связанное с работой электроники, управляющей электромагнитной частью амортизатора.

Применение гибридных амортизаторов позволяет повысить надежность системы путем исключения возможности полного пропадания демпфирующей функции гибридного амортизатора при возможном выходе из строя внешней электронной системы управления, управляющей электромагнитной частью амортизатора, благодаря введению в конструкцию гидравлической части амортизатора с вращающимися лопастями, работа которой не зависит от электроники.

Оценка демпфирующих усилий, развиваемых гидравлическими и электромагнитными амортизаторами с идентичными габаритными размерами, показывает недостаточность усилия, развиваемого последними. Данное явление особенно критично при работе амортизаторов на ходе отбоя. Для решения данной проблемы необходимо либо увеличивать габаритные размеры амортизаторов, либо применять гибридные конструкции. Последний вариант позволяет сохранить массо-габаритные характеристики амортизаторов на уровне гидравлических, что важно вследствие ограниченности установочного пространства на ТС.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Киреев А. В., Кожемяка Н. М., Бурдюгова А. С., Назаренко С. В., Климов А. В.** Регенеративный амортизатор в системе подвески автомобиля. Международный журнал прикладных инженерных исследований // International Journal of Applied Engineering Research. — 2017. — Т. 12. — № 22 (2017). — С. 12390—12394.
2. **Климов А. В., Карелина М. Ю.** Выбор типа конструкции и определение параметров и характеристик амортизатора с рекуперативным эффектом // Труды НАМИ. — 2017. — № 3 (270). — С. 74—81.
3. **Климов А. В., Малахов Д. Ю.** Численное моделирование динамики подрессоренной части быстроходной гусеничной машины // Теоретические и экспериментальные исследования многоцелевых гусеничных и колесных машин: Сборник научных трудов МАДИ. — 2010. — С. 104—110.
4. **Климов А. В.** Анализ энергетических характеристик систем подрессоривания колесных машин" // Труды НАМИ. — 2014. — Выпуск 257. — С. 83—87.
5. **Маликов Р. Р., Смирнов А. А., Климов А. В.** Оценка возможности рекуперации энергии колебаний в системе подрессоривания двухосного грузового автомобиля // Известия МГТУ "МАМИ". Транспортные машины. Транспортно-технологические средства и энергетические установки. — 2016. — № 4 (30). — С. 42—49.
6. **Киреев А. В., Кожемяка Н. М., Бурдюгова А. С., Назаренко С. В., Климов А. В.** Обзор электромагнитной энергии — регенеративных амортизаторов // Журнал инженерных и прикладных наук (Journal of Engineering and Applied Sciences). — 2016. — Т. 11. — С. 2551—2556.
7. **Киреев А. В., Кожемяка Н. М., Бурдюгова А. С., Назаренко С. В., Климов А. В.** Стендовые испытания электромагнитного регенеративного амортизатора // Международный журнал прикладных инженерных исследований (International Journal of Applied Engineering Research). — 2017. — Т. 12. — № 17. — С. 6354—6359.
8. **Гайдар С. М.** Планирование и анализ эксперимента: учебник. — М.: изд-во ФГБНУ "Росинформагротех", 20015. 548 с.

УДК 621.43.057

В. В. Гаевский, д-р техн. наук, профессор, **Д. А. Хаваев,** студент, **И. И. Муравьев,** студент,
Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)
E-mail: vit-life@rambler.ru

УВЕЛИЧЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО РЕСУРСА ЭЛЕМЕНТОВ СИЛОВЫХ УСТАНОВОК

В статье предложены и охарактеризованы основные пути повышения износостойкости газораспределительного механизма двигателя внутреннего сгорания. Обозначены преимущества каждого из методов, определены области применения.

Ключевые слова: *газораспределительный механизм (ГРМ), износостойкость, надежность, методы повышения износостойкости, узлы и агрегаты газораспределительного механизма (ГРМ).*

The article proposes and characterizes the main ways to improve the wear resistance of the gas distribution mechanism of the internal combustion engine. The advantages of each of the methods are indicated, the areas of application are defined.

Keywords: *gas distribution mechanism, wear resistance, reliability, methods of improving wear resistance, components and assemblies of the gas distribution mechanism.*

Увеличение эксплуатационного ресурса автотранспортных средств определяется, как правило, ресурсом силовой установки и ее элементов. Газораспределительный механизм (ГРМ) — механизм, обеспечивающий своевременное наполнение рабочей камеры сгорания топливовоздушной смесью с последующим удалением продуктов сгорания посредством циклического открытия и закрытия клапанов. Работа газораспределительного механизма заключается в синхронном движении валов — коленчатого и распределительного. Параллельное вращение валов обеспечивает своевременное открытие и закрытие впускных и выпускных клапанов цилиндров двигателя.

Во время вращения распределительного вала его кулачки воздействуют на толкатели, которые в то же время передают усилие на стержни клапанов, что и приводит к открытию клапанов. При дальнейшем вращении распределительного вала клапаны закрываются благодаря возвращению кулачков в их начальное положение. Подавляющее большинство четырехтактных ДВС имеют верхнее расположение распределительных валов (OHV). При таком размещении узел имеет более высокую жесткость и меньшую массу.

Для более эффективной работы двигателя при различных нагрузках применяются устройства, управляющие моментами открытия и закрытия клапанов (фазами газораспределения), а также высотой их подъема, позволяя изменять коэффициент наполнения цилиндров путем изменения перекрытия клапанов [1]. Изменение положения, в зависимости от работы двигателя, распределительного вала относительно его начального положения — один из самых распространенных способов регулирования фаз газораспределения. В определенный момент электронный блок управления (ЭБУ) дает сигнал соленоиду, открывая клапан подачи масла. Давление масла смещает плунжер вверх, освобождая крыльчатку, в результате чего под действием давления масла лопатки крыльчатки и фазорегулятор поворачиваются в направлении максимального запаздывания закрытия впускных клапанов.

После снятия напряжения на электромагнитном клапане лопатки крыльчатки возвращаются в начальное положение под действием вращения двигателя, после чего плунжер блокирует всю систему в положении минимального запаздывания впускных клапанов. Наиболее известные системы — VTEC (Honda), VVT-i (Toyota), CVVT (KIA).

Электронные системы управления работой дизельных двигателей практически не отличаются от схем управления бензиновыми двигателями. Отсутствуют только система зажигания и электронные форсунки [2].

Экспериментально установлено, что с износом кулачков распределительного вала происходит снижение мощности двигателя, увеличивается расход топлива и увеличивается количество угле-

водородов в отработавших газах. До 50 % отказов двигателя приходится на долю механизма газораспределения. Наиболее распространенными являются изнашивание и разрушение посадочных седел и фасок клапанов, рабочих поверхностей кулачков и толкателей, поломки клапанных пружин, зависание и обрыв клапана, сбой регулировки теплового зазора [3].

Детали распределительного механизма в конструкциях ряда двигателей эксплуатируются в условиях высоких контактных нагрузок, в результате чего возникает усталостное изнашивание, которое характеризуется выкрашиванием материала с рабочей поверхности и появлением раковин. Усталостное выкрашивание часто встречается на кулачках распределительного вала, толкателях и торцах стержней клапанов [4]. В процессе износа кулачка распределительного вала нарушаются его параметры: уменьшаются время, высота подъема клапана и изменяются фазы газораспределения. При работе ГРМ периодически повторяются упругие деформации изгиба, сжатия, кручения в отдельных элементах, которые вызывают колебания, нарушающие работу всего механизма и смещающая геометрические фазы газораспределения [5]. Износ ГРМ напрямую зависит от жесткости клапанных пружин, вследствие чего появляются высокие нагрузки на кулачки распределительного вала. Под действием силы сжатия клапанной пружины в месте контакта кулачка с тарелкой толкателя возникают высокие удельные контактные напряжения.

Методы повышения износостойкости газораспределительного механизма делятся на конструктивные, производственные, эксплуатационные.

Повышение износостойкости ГРМ — одна из актуальных проблем современного автомобилестроения. На данный момент существует несколько методов повышения долговечности механизма:

1) использование высококачественных смазок и триботехнических составов с целью уменьшения износа пар трения механизма;

2) использование более технологичных методов изготовления элементов механизма;

3) математическое и графическое моделирование изнашивания ГРМ и рабочих процессов ДВС с использованием разработанных алгоритмов и современных программных средств.

Конструктивно для повышения надежности, уменьшения сил трения, а также уменьшения износа ГРМ используют роликовые или гидравлические толкатели.

Роликовые толкатели бывают двух основных видов. Торцевые: толкатель выполнен в виде

Рис. 1. Роликовые толкатели:
а — торцевой; *б* — рычажный

цилиндрического стержня, в нижней части которого через игольчатый подшипник установлен стальной ролик, а в верхнем торце предусмотрено углубление под штангу (рис. 1, *а*). Рычажные: толкатель выполнен в виде рычага с одной опорой, на плече которого установлен ролик и находится углубление под штангу (рис. 1, *б*). Устройства данного типа наиболее широко применялись в двигателях с нижним расположением распределительного вала. На новых силовых агрегатах они практически не встречаются.

Гидравлические толкатели (гидрокомпенсаторы) — наиболее современное решение, которое используется в основном на всех ДВС (рис. 2). Толкатели данного типа имеют встроенный гидравлический механизм регулировки тепловых зазоров, который в автоматическом режиме устанавливает зазоры и обеспечивает оптимальную работу двигателя. Основу конструкции толкателя составляет корпус. Он также выполняет функцию плунжера. Внутри корпуса располагается подвижный цилиндр с обратным клапаном, который делит цилиндр на две полости. На наружной поверхности корпуса гидравлического толкателя выполнена канавка с отверстиями для подачи к цилиндру масла от системы смазки двигателя. Гидрокомпенсатор устанавливается на верхнюю часть стержня клапана, при этом канавка на его корпусе совмещается с масляным каналом в головке блока цилиндров. В процессе работы

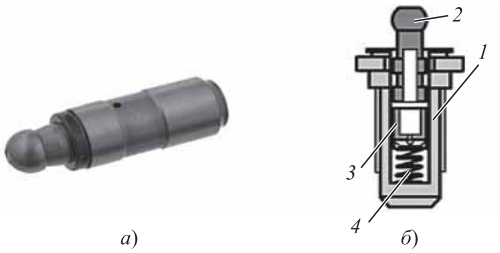


Рис. 2. Гидрокомпенсаторы:
а — внешний вид; *б* — устройство; *1* — корпус гидрокомпенсатора; *2* — верхняя часть плунжерной пары (плунжер); *3* — нижняя часть плунжерной пары (поршень с обратным клапаном); *4* — возвратная пружина

двигателя, периодического нагрева и охлаждения элементы механизма изнашиваются и изменяют свои первоначальные габариты, что приводит к изменению зазоров в сопряжениях. Гидравлические толкатели компенсируют эти изменения, всегда обеспечивая отсутствие зазоров и корректное функционирование всего механизма.

Для повышения надежности валов их жесткость повышают, а также проектируют конструкцию как однопролетную для лучшего восприятия больших нагрузок, которые возникают из-за высоких частот вращения валов.

Привод распределительных валов осуществляется с помощью цилиндрических шестерен с косыми зубьями; конических шестерен промежуточными торсионными валами; металлических цепных передач различных типов (рис. 3, *а*) и передач зубчатыми ремнями из неопрена со стекловолокном, армированными стальными тросиками, покрытыми слоем нейлона для уменьшения коэффициента трения и повышения износостойкости (рис. 3, *б*) [5].

При проектировании механизма задача инженеров состоит в минимизации расстояния между клапанами и распределительным валом, что позволяет уменьшить движущиеся массы и увеличить общую жесткость механизма привода.

При выборе законов движения клапанов стремятся обеспечить их максимальное время-сечение, так как клапанная щель является основным источником аэродинамического сопротивления: на ее долю приходится 75...90 % общего сопротивления канала головки цилиндра [6]. Однако при проектировании профиля кулачков не учитываются процессы изнашивания кулачковой пары и других элементов механизма, которые могут привести к ухудшению эксплуатационных характеристик двигателя [3].

Эксплуатационным методом износостойкость деталей определяется целым рядом внешних факторов, среди которых следует выделить:

1) условия смазки, обеспечивающие отсутствие непосредственного контакта деталей;

а) *б*)

Рис. 3. Привод распределительных валов:
а — цепной передачей; *б* — зубчатым ремнем

2) условия охлаждения, препятствующие перегреву деталей в зоне контакта (в том числе вследствие уменьшения теплового зазора при нагреве);

3) качественная фильтрация масла, топлива и воздуха [4].

Для повышения износостойкости узлы ГРМ могут быть покрыты антифрикционным материалом. Антифрикционное покрытие представляет собой композицию твердых смазочных веществ с очень малыми размерами частиц (дисульфид молибдена, графит), распределенных в органическом связующем агенте (полиамиде). Твердые смазочные материалы при нанесении связываются между собой и с поверхностью детали с помощью полимерной связующей матрицы и образуют после испарения растворителя сухую пленку со смазочными защитными функциями толщиной до 20 мкм [7].

Покрытие предназначено для постоянной смазки пар трения, которые работают при высоких нагрузках.

В настоящее время находят применение технологии по улучшению эксплуатационных характеристик ДВС с применением наноматериалов [8]. Экспериментально доказано, что сформированный молекулярный слой на поверхностях трибосопряжений двигателя, за счет сил адсорбции, позволяет улучшить эксплуатационные свойства масел и, как следствие, эксплуатационные характеристики ДВС [9]. Так, например, экспериментальное изучение возможности использования фторсодержащих ПАВ в трибосопряжениях в качестве антифрикционных и противоизносных наноматериалов подтвердило их высокую триботехническую эффективность.

Применение данной нанотехнологии позволяет защитить поверхности трибосопряжений с помощью пленки фторированных ПАВ как при граничном трении, так и при гидродинамическом. Указанная защитная пленка выполняет функцию "компенсатора" в трибосопряжениях при различных режимах смазывания.

Нанесение фторсодержащих ПАВ на поверхности трибосопряжений можно осуществлять в процессе сборки агрегатов и машин или в процессе эксплуатации через рабочую среду, представляющую собой ультрадисперсную систему масло — фторорганические ПАВ [10].

Существуют два способа формирования мономолекулярной пленки на поверхностях изделий:

— нанесение на поверхность раствора ФторПАВ во фторуглеродных и фторхлоруглеродных растворителях методом распыления, погружения или тампонирования [11, 12];

— нанесение Фтор-ПАВ через рабочую среду, эмульгируя его в топливо.

Формирование монослоя происходит в результате двух процессов:

— физической адсорбции молекул на поверхности;

— хемосорбции молекул на поверхности.

Особенностями полученной нанопленки является то, что функциональные группы молекулы образуют химическую связь с поверхностью, а вторая часть молекулы — фторуглеродный радикал — занимает положение перпендикулярно поверхности, придавая ей антиадгезионные свойства благодаря своей химической инертности [13].

Применение различных технологий нанесения Фтор-ПАВ позволяет достигать повышения долговечности и экономичности силовых установок [14].

Производственный метод влияния на износостойкость и ресурс пар трения связан с шероховатостью поверхности [4].

Большому износу подвергаются зубчатые колеса. Их изготавливают методом наката, позволяющим получить локальный наклеп, что увеличивает жесткость детали. Шестерни, валы, кулачки, толкатели и другие агрегаты ГРМ изготавливают, как правило, из сталей с содержанием 0,3...0,5 % С, таких как 40Х, 30ХН, 45. При производстве элементы ГРМ подвергают термообработке в виде улучшения (закалка + высокий отпуск). Вследствие чего детали имеют структуру зернистого сорбита. Для повышения износостойкости поверхности агрегатов проводят закалку токами высокой частоты (ТВЧ) (реже — цементацию, азотирование и другие методы поверхностного упрочнения).

Выводы

В настоящее время автопроизводители совершенствуют механизмы двигателя, добиваясь максимальных показателей эффективности. Для этого приходится отказываться от традиционных способов исполнения агрегатов, совершенствуя старое или изобретая новое. Для увеличения надежности и износостойкости газораспределительного механизма необходимо комплексно применять все методы по улучшению его параметров, начиная с проектирования, заканчивая подбором смазочных материалов, используемых для работы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Автомобильные двигатели:** учебник для студ. высш. учеб. заведений / М. Г. Шатров, К. А. Морозов, И. В. Алексеев и др.; под ред. М. Г. Шатрова. 2-е изд., испр. — М.: Издательский центр "Академия", 2011. — 464 с.
2. **Электронные системы** управления работой дизельных двигателей: учеб. пособие / М. Ю. Карелина, И. Н. Кравченко, А. В. Коломейченко, С. И. Головин, А. А. Жосан, М. Н. Ерофеев. — М.: Издательский Дом "Инфра-М", 2017. — 160 с.
3. **Попов Д. В.** Повышение долговечности механизма газораспределения и показателей двигателя на основе совершенствования закона движения толкателя: дис. ... канд. техн. наук. Волгоградский гос. техн. ун-т, Волгоград, 2006.
4. **Хрулев А. Э.** Ремонт двигателей зарубежных автомобилей: производственно-практ. издание. — М.: За рулем, 1998. — 440 с.
5. **Гладкевич О. С.** Механизм газораспределения двигателей внутреннего сгорания // Патент России № 2373404. 2009.
6. **Васильев А. В.** Повышение эффективности и надежности системы газораспределения ДВС на основе комплексного подхода к синтезу ее характеристик: автореферат дис. ... д-ра техн. наук. Волгоградский гос. техн. ун-т, Волгоград, 2000.
7. **Антифрикционные покрытия** Molykote для деталей ГРМ — URL: http://atf.ru/articles/materialy_dlya_avtotekhniki/antifriktsionnye_pokrytiya_molykote_dlya_detaley_grm/ (дата обращения 28.12.2018).
8. **Карелина М. Ю.** Улучшение эксплуатационных характеристик двигателей внутреннего сгорания с применением наноматериалов // Строительные и дорожные машины. — 2015. — № 7. — С. 16—19.
9. **Карелина М. Ю.** Влияние фторорганических поверхностно-активных веществ на эксплуатационные характеристики ДВС // Технико-технологические проблемы сервиса. — 2015. — № 1 (31). — С. 12—16.
10. **Гайдар С. М., Карелина М. Ю.** Адсорбция Фтор-ПАВ и ее влияние на смазку трибосопряжений в условиях граничного и гидродинамического трения // В книге: От наноструктур, наноматериалов и нанотехнологий к наноиндустрии: тезисы докладов пятой Международной конференции. — 2015. — С. 44—45.
11. **Гайдар С. М.** Способ снижения образования низкотемпературных отложений во впускной системе двигателя внутреннего сгорания // Ремонт. Восстановление. Модернизация. — 2010. — № 3. — С. 48—51.
12. **Гайдар С. М.** Модификация консистентных смазок с использованием нанотехнологии // Техника в сельском хозяйстве. — 2010. — № 2. — С. 38—40.
13. **Карелина М. Ю.** Лиофобизация поверхностей топливной системы двигателей внутреннего сгорания // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). — 2015. — № 2(41). — С. 20—24.
14. **Карелина М. Ю.** Повышение долговечности и экономичности силовых установок и передач модифицированием соединений поверхностно-активными веществами: автореферат дис. ... д-ра техн. наук. Рос. гос. аграр. ун-т, Москва, 2016.
15. **Гайдар С. М.** Планирование и анализ эксперимента: учебник. — М.: изд-во ФГБНУ "Росинформагротех", 20015. — 548 с.

УДК 621.438.082

А. В. Костюков, канд. техн. наук, профессор, Московский Политех, e-mail: Kostukov123@yandex.ru,
Г. Г. Надарейшвили, канд. техн. наук, ФГУП НАМИ, e-mail: Givi.nadareishvili@nami.ru

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ НА ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВАХ. ЧАСТЬ 1

Рассмотрены перспективы использования газотурбинных двигателей на транспортных средствах. Рассмотрен состав газотурбинных двигателей (ГТД), термодинамические циклы работы и основные направления совершенствования двигателей. Проведен анализ разработки и конструкций основных производителей микро ГТД.

Ключевые слова: *газотурбинный двигатель, термодинамические циклы, регенерация, транспортные средства.*

The prospects for the use of gas turbine engines in vehicles are considered. The composition of the gas turbine engine, thermodynamic work cycles and the main directions of engine improvement are considered. The analysis of the design and construction of the main manufacturers of micro-GTDs was carried out.

Keywords: *gas turbine engine, thermodynamic cycles, regeneration, vehicles.*

Одной из старейших концепций двигателя внутреннего сгорания (ДВС) является газотурбинный двигатель (ГТД). Газовая турбина появилась значительно раньше, чем поршневой двигатель, однако применительно к транспорту не была материализована в качестве реального источника энергии до конца Второй мировой войны. Коммерческое развитие ГТД было стимулировано успешным применением турбореактивных двигателей в самолетах в конце этой войны в СССР, Германии и Англии. Этот успех, в свою очередь, базировался на улучшении эффективности центробежных воздушных компрессоров, достигнутом в русле улучшения турбонагнетателей для военного использования. Более позднее развитие высокоэффективных многоступенчатых осевых компрессоров также было важным фактором, особенно для больших газотурбинных установок и для авиации [1, 2]. Однако, в отличие от поршневого ДВС, интерес к ГТД, как к автомобильному двигателю, пробудился довольно поздно, только в конце 1940-х годов.

Одна из первых оценок автомобильных ГТД небольшой мощности, в частности применительно к легковым автомобилям, была выполнена в 1949 г. [3]. В этой работе были отмечены такие преимущества ГТД, как хорошая характеристика крутящего момента, плавность работы двигателя, нечувствительность к типу топлива, отсутствие обычной (водяной) системы охлаждения, несущественность проблемы смазки и простота системы зажигания, а также идентифицированы 11 нерешенных проблем, требующих дальнейших исследований:

— высокий расход топлива, особенно на частичной нагрузке;

— себестоимость двигателя;

— пространство, требуемое для установки двигателя;

— отсутствие торможения двигателем;

— удаление большого объема горячих выпускных газов;

— шумность двигателя;

— чувствительность характеристик к окружающей температуре;

— низкая мощность, требуемая для применения на автомобиле;

— необходимость новых устройств, контролирующих двигатель;

— требование высокоскоростной передачи;

— стоимость технического обслуживания.

В течение последующих лет существенные улучшения были сделаны практически по всем пунктам этого перечня, в том числе они включали различные меры по конструкции двигателя, разработке вспомогательных устройств и выбору областей применения ГТД [4].

Прогресс, достигнутый в решении этих проблем в 1950—1970 гг., демонстрируют автомобильные двигатели ряда компаний. Первый в мире легковой автомобиль с газотурбинным двигателем был представлен фирмой Rover в 1950 г. [5]. Вскоре компания Boeing установила ГТД на грузовой автомобиль Kenworth [6]. Корпорация General Motors анонсировала свой первый ГТД в 1954 г. [7]. Одна из версий этого двигателя была установлена на автобус Turbocruiser I. В каждом из этих автомобильных газотурбинных двигателей был применен простой цикл без регенерации. Улучшенный цикл с регенерацией тепла выпускных газов был реализован в 1954 г. компанией Chrysler применительно к легковому автомобилю [8]. Появились двигатели с двухвальной и трехвальной схемой. Наиболее существенный вклад в улучшение показателей ГТД, особенно в первые 5 пунктов, внесли следующие разработки этого периода времени.

Теплообменник (регенератор). Его применение позволило использовать теряемую энергию выпускных газов для предварительного подогрева воздуха, поступающего в камеру сгорания, с целью уменьшения расхода топлива, особенно на частичных нагрузках. Кроме того, он уменьшил шум и охладил выпускные газы. Недостаток — рост стоимости и габаритов ГТД.

Турбомашина. Улучшение знаний в области гидродинамики турбомашин позволило повысить эффективность компрессора и турбины, уменьшить расход топлива и габариты двигателя.

Температура на входе в турбину. Была повышена допустимая температура газов перед турбиной на ~190 °С по сравнению с ГТД ранней конструкции за счет улучшения материала. Хотя более высокие температуры возможны, если применить охлаждаемые лопатки турбины.

Технологии литья. Технологии точного литья аэродинамических поверхностей (ротор турбины, сопловые кольца) без финишной механической обработки позволили уменьшить себестоимость двигателя, в том числе благодаря исключению дорогой поцедуры сборки.

Контроль температуры на частичных нагрузках. Применение в двигателе соплового аппарата с изменяемой геометрией позволило повысить температуру на входе в турбину на частичных нагрузках. Это обеспечило улучшение топливной экономичности и торможение двигателем.

Несмотря на достигнутые успехи в разработке ГТД, своего дальнейшего разрешения (особенно в отношении двигателей малой мощности) требуют следующие проблемы:

— низкая топливная экономичность;
— плохая работа на переходных режимах;
— высокая стоимость используемых материалов;
— большая масса теплообменников и воздухоочистителей.

Решение этих проблем связывают с разработкой эффективной комбинации небольшого газотурбинного двигателя и электрической машины — микротурбинной энергетической установки (МТЭУ). Такую комбинацию активно разрабатывают с конца 1980 годов применительно к гибридным электрическим автомобилям (особенно автобусам) и компактным автономным системам комбинированного тепло- и электроснабжения малых хозяйственных и социальных объектов.

Работы по автономным системам тепло- и электроснабжения связаны с реализацией концепции децентрализованного энергоснабжения, согласно которой устройства выработки тепловой и электрической энергии (когенерационные установки) должны быть максимально приближены к потребителям. Причем для ее реализации одним из приоритетных направлений в большинстве индустриальных стран мира становится широкое использование автономных систем тепло- и энергоснабжения малой мощности, среди которых заметное место занимают микротурбинные энергоустановки.

Научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы в этом направлении поощряются многими государствам. В Российской Федерации комплекс таких работ был выполнен в 2000 годы ФГУП "НАМИ" в рамках государственного контракта по теме "Разработка технологий и создание оборудования для производства энергии из биомассы". Из зарубежных стран можно выделить работы таких крупных компаний, как AlliedSignal, Garrett AiResearch, Honeywell (США), которые имеют многолетний опыт работ в авиационной и аэрокосмической отраслях. С учетом перспективности данного направления к исследованиям в данной области подключились научные коллективы университетов и вновь созданных фирм. Ярким примером является компания Capstone Turbine Corporation, образованная в 1993 г. специально для разработки МТЭУ по заказам NASA и ставшая сегодня одним из ведущих мировых поставщиков микротурбинных энергоустановок для систем малой автономной энергетики.

Применительно к наземному транспорту микротурбины наиболее успешно используются в гибридных электрических автобусах и в военной технике для снижения расхода топлива и вредных выбросов. Выбор автобуса для применения микро-

турбины не случаен. В этом случае стоимость микротурбины менее проблематична, поскольку она составляет только небольшой процент стоимости автобуса. Микротурбина увеличивает запас хода по сравнению с электробусом и позволяет иметь меньшие аккумуляторные батареи. Микротурбина имеет относительно небольшие габариты, так как должна обеспечивать только среднюю мощность. Пиковую мощность для ускорения автомобиля обеспечивает аккумуляторная батарея. В результате расход топлива обычно составляет от половины до трети расхода обычного автобуса. Наконец, одним из наиболее важных атрибутов микротурбины является низкий уровень вредных выбросов, особенно предназначенных для городских автобусов.

Термодинамика микротурбины

Работа газотурбинного двигателя с непрерывным сгоранием топлива любой мощности, в том числе небольшой, обычно идеализируется гипотетическим циклом Брайтона [9, 10]. Обратимый цикл Брайтона изображает диаграмма зависимости температуры от энтропии на рис. 1. Величина температуры показывает содержание энергии в газе. Чем выше его температура, тем большей энергией он обладает. Преобразование энергии в работу требует расширения газа от высокого к пониженному давлению. Энтропия отражает доступную для преобразования в работу энергию, содержащуюся в газе. Чем больше энтропия газа с заданным содержанием энергии, тем меньше она доступна для совершения работы.

В цикле Брайтона газ сжимается от точки *1* до точки *2* в результате работы сжатия компрессора W_c. Тепло Q_{in} подводится в камере сгорания при сгорании при постоянном давлении от точки *2* до точки *4*. Горячий сжатый газ затем изоэнтропически расширяется в турбине от точки *4* к точке *6*, совершая работу W_t. Разницу в кривых постоянного давления на диаграмме температура-энтропия обеспечивает то, что работа турбины W_t превышает работу компрессора W_c. Наконец, тепло Q_{out} отводится при постоянном давлении в окружающую среду. Термический кпд этого идеального цикла:

$$\eta_t = \frac{Q_{in}+Q_{out}}{Q_{in}} = \frac{W_t - W_c}{Q_{in}} = 1 - \frac{1}{\pi^{(k-1)/k}}, \qquad (1)$$

где $\pi = \frac{p_2}{p_1}$ — степень повышения давления в компрессоре.

Важно отметить, что термический кпд этого идеального цикла зависит только от отношения давлений P_2/P_1, показателя адиабаты k и не зависит от температуры на входе в турбину T_4. Однако при расмотрении реального цикла эта независимость кпд турбины от температуры на ее входе исчезает.

Более реалистичный цикл наложен на идеальный цикл на рис. 2. Необратимость сжатия приводит к тому, что температура сжатия в точке *2'* выше, чем температура T_2 идеального цикла. Поэтому работа реального компрессора, которая пропорциональна ΔT_c, больше, чем работа W_c в идеальном цикле.

Потери давления могут иметь место на входе в компрессор, в камере сгорания и выпускных каналах между выходом из турбины и окружающей атсосферой. Для термодинамических целей все эти цикловые потери давления могут быть распределе-

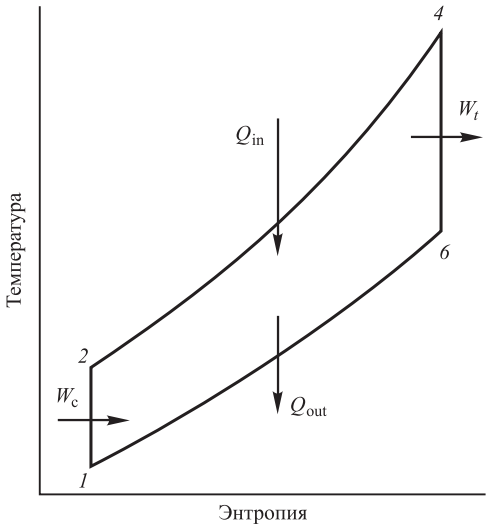


Рис. 1. Идеальный цикл Брайтона

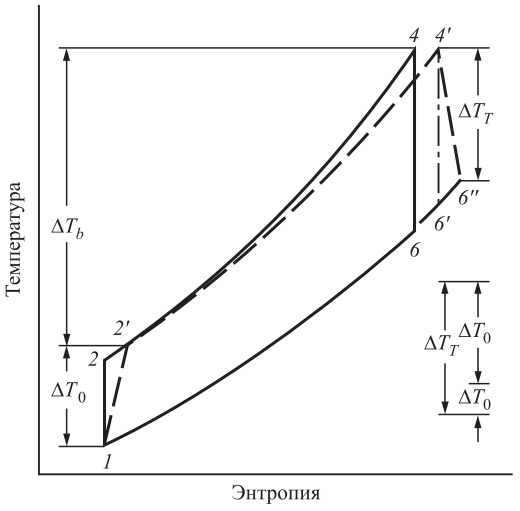


Рис. 2. Сравнение реального и идеального циклов Брайтона

ны между компрессором и турбиной. При рассмотрении таких потерь состояние на выходе из камеры сгорания обозначено как *4′*. Увеличение температуры ΔT_b происходит в камере сгорания одинаково в идеальном и реальном цикле, но потеря давления приводит к уменьшению доступной энергии газа, выходящего из камеры сгорания, что показано увеличением энтропии в точке *4′*. Это отражено в уменьшении доступного тепла, подводимого к турбине, от $(T_4—T_6)$ до $(T_4' - T_6')$. Необратимость в турбине дополнительно увеличивает энтропию при расширении до 6″. Это уменьшает работу, совершаемую турбиной, пропорционально ΔT_t.

Анализ рис. 2 показывает, что цикловые потери давления уменьшают работу и термический кпд идеального цикла. Результаты расчета эффективного удельного расхода топилива g_e (величины, обратной термическому кпд ГТД) этого простого цикла в зависимости от степени повышения давления π, температуры на входе в турбину T_4', и с учетом цикловых потерь давления (адиабатной эффективности компресора $\eta_к$) и эффективности собственно газовой турбины $\eta_т$ показаны на рис. 3 [4].

Приведенные кривые показывают, что кпд действительного цикла со сгоранием при постоянном давлении является функцией:

$$\eta_{ГТД} = f(T_4'/T_1,\ \pi,\ \eta_т,\ \eta_к).$$

Кпд улучшается, когда повышается температура на входе в турбину и/или понижается на входе в компрессор. Кривые на графике показывают также наличие оптимальной степени повышения давления π, которая увеличивается с ростом температуры на входе в турбину при фиксированных кпд компрессора и турбины. Следует отметить, что повышение температуры приблизительно в 1,5 раза (от 1250 до 1850 °F — от 662 до 995 °C) уменьшает удельный расход топлива почти в 1,8 раза. Такие кривые зависят от кпд собственно газовой турбины и потерь давления в цикле (кпд компрессора), которые использованы в расчете. Повышенная эффективность компрессора и турбины уменьшает удельный расход топлива и увеличивает оптимальную степень повышения давления.

Две заштрихованые области на рис. 3 обозначают зоны, представляющие особый интерес. Левая область показывает зону работы на полной нагрузке в ГТД без регенерации, типичную для 1950 годов. Успехи, достигнутые с тех пор, сделали возможным и более высокие температуры на входе в турбину и гораздо более высокую степень повышения давления. Заштрихованная область справа показывает возможную работу на полной нагрузке в современном двигателе без регенерации. Значительное улучшение топливной экономичности очевидно, хотя еще уступает топливной экономичности дизеля.

В последние годы ведутся исследования по улучшению показателей ГТД за счет охлаждения воздуха на впуске. В работе [28] исследовано и подтверждено положительное влияние испарительного охлаждения воздуха с помощью увлажнителя, установленного на входе, на эффективность цикла и выбросы несгоревших углеводородов, при этом наблюдался небольшой рост выбросов NO_x и CO.

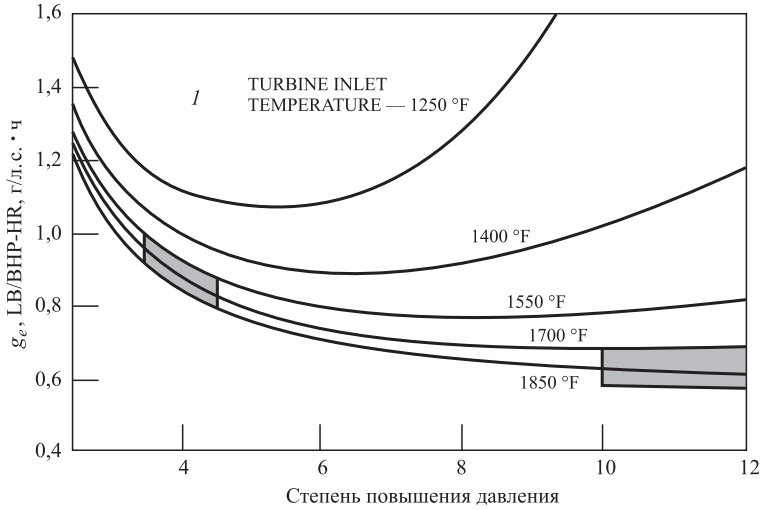


Рис. 3. Изменение удельного расхода топлива g_e в простом цикле Брайтона:

1 — температура на входе в турбину; °F = 1,8 °C + 32; lb/BHP-HR× 453,6 = = г/л.с·ч [4]

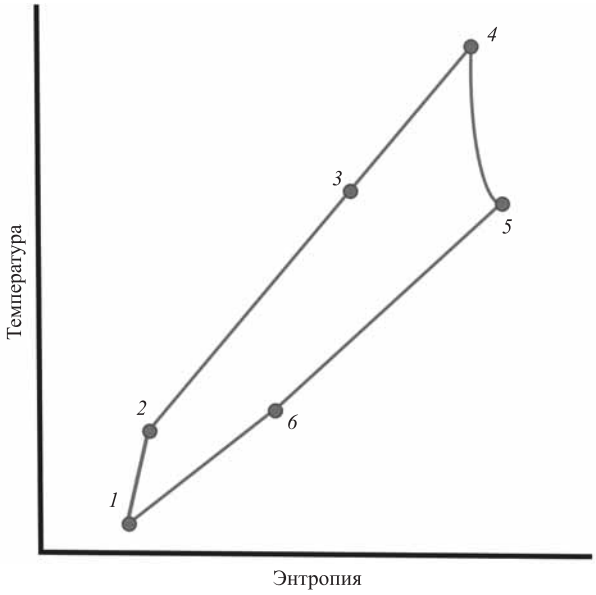


Рис. 4. Цикл Брайтона с регенерацией

Другой путь уменьшения расхода топлива — введение теплообменника, который обеспечивает цикл Брайтона с регенерацией. Этот цикл показан на рис. 4. Очевидно, что температура воздуха на выпуске из турбины T_6 является более горячим источником тепла, чем воздух, покидающий компрессор при температуре T_2. В идеале, при бесконечной площади передачи тепла, воздух из компрессора может быть нагрет до температуры T_6 до его подачи в камеру сгорания. В теплообменнике реального размера достигается некоторая более низкая температура T_3. В теплообменнике сжатый воздух проходит через комплект трубок или пластин, в то время как горячие выпускные газы циркулируют между трубок или пластин. Таким способом воздух нагревается от температуры T_2 до T_3, и поэтому меньше топлива необходимо для сгорания (поскольку подводимое тепло увеличивает температуру от T_3 до T_4 скорее, чем от T_2 до T_4). Одновременно, температура на выпуске уменьшается от T_6 до T_7. Теплообменник должен быть тщательно спроектирован, так как падение давления либо воздуха, либо выпускного газа уменьшит (или исключит) ожидаемые преимущества в эффективности.

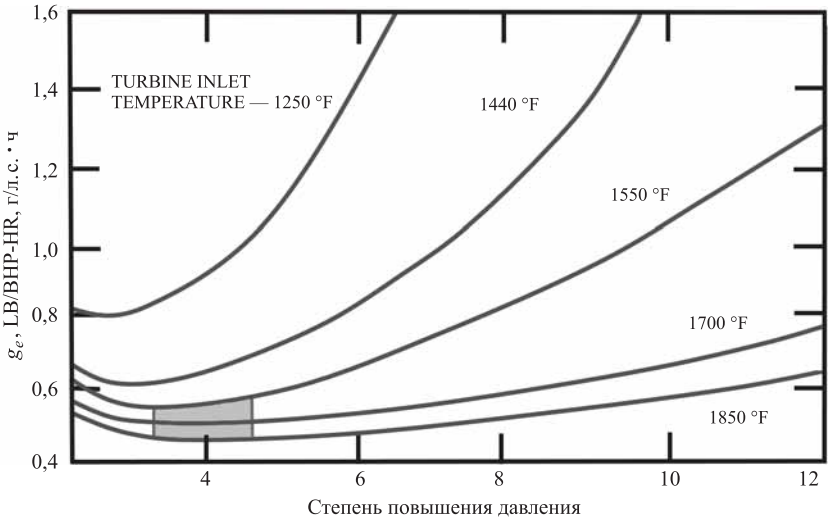


Рис. 5. Изменение удельного расхода топлива в цикле Брайтона с регенерацией:

1 — температура на входе в турбину; °F = 1,8 °C + 32; lb/BHP-HR×453,6 = г/л.с·ч [4]

Параметр, используемый для оценки эффективности теплообменника, называется кпд регенератора, который определяется по формуле (2):

$$\eta_r = \frac{T_3 - T_2}{T_6 - T_2}. \qquad (2)$$

График, аналогичный приведенному на рис. 3, представлен для цикла с регенерацией на рис. 5. Преимущество теплообменника в уменьшении расхода топлива, особенно при низких степенях повышения давления, очевидно. Заштрихованная область показывает зону, соответствующую работе с полной нагрузкой типичного ГТД с регенерацией в составе автомобиля. В то же время, при определенной комбинации высокой степени повышения давления и низкой температуре на входе в турбину, регенератор в действительности оказывает негативное влияние на удельный расход топлива.

Следует подчеркнуть, что регенерация возможна только вследствие низкого соотношения давлений. Когда степень повышения давления увеличивается преимущественно благодаря более эффективным процессам в компрессоре и турбине, при этом также повышается температура сгорания (температура на входе в турбину), регенерация становится невозможной. Это связано с тем, что температура на выходе из компрессора приближается к предельной температуре на входе в турбину.

Продолжение следует

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Стечкин Б. С.** Газотурбинные установки (газовые турбины). —М.: Изд-во Академии наук СССР, 1956.
2. **Teylor C. F.** The Internal-Combustion Engine in Theory and Practica. Vol. 1. — The MIT Press, 1965.
3. **Turunen W. A.** Gas Turbines in Automobiles, SAE Quarterly Transactions. — 1950. — Vol. 4. No. 1.
4. **Amann C. A.** An Introduction to the Vehicular Gas Turbine Engine, SAE Paper № 730618, 1973.
5. **Penny N.** Rover Case History of Small Gas Turbines, SAE Transactions. — 1964. — Vol. 72.
6. **Hill H. C.** Progress of Gas Turbine Truck Tests, Quarterly Transactions. — 1952. — Vol. 6.
7. **Turunen W. A.** Pinwheels or Pistons? A Progress Report on Automotive Gas Turbines, SAE Transactions. —1955. — Vol. 63.
8. **Huebner G. J. Jr.** The Automotive Gas Turbine — Today and Tomorrow, SAE Transactions. — Vol. 65.
9. **Транспортные машины** с газотурбинными двигателями, под общ. ред. Н. С. Попова. — Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1987.
10. **Obert E. F.** Internal Combustion Engine and Air Pollution, Intext Educational Publisher. — New York, 1973.

УДК 629.026

М. Ю. Карелина, д-р техн. наук, профессор, e-mail: karelinamu@mail.ru,
В. В. Филатов, ассистент кафедры, Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), e-mail: 2vfilatov@gmail.com

КОМБИНИРОВАННЫЙ ПРИВОД ГИБРИДНОГО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

В статье рассмотрена схема, устройство и принцип работы комбинированного привода. Данный привод может использоваться для приведения в движение полноприводного гибридного транспортного средства повышенной проходимости, предназначенного для эксплуатации в зонах, где требуется минимальный уровень шумовой и тепловой заметности. Комбинированный привод обеспечивает пять режимов движения.

Ключевые слова: *комбинированный привод, гибридная трансмиссия, параллельная схема, режимы движения, обратимые электромоторы.*

In this article scheme, arrangement and operation principle of combined powertrain are described. Combined powertrain can be used to drive four-wheel off-road hybrid vehicle designed for operation in regions where low noise and thermal visibility are required and it provides five motion modes.

Keywords: *combined powertrain, hybrid transmission, parallel scheme, motion modes, reversible electric motor hubs.*

(Рисунки на 2-й полосе обложки)

Известно гибридное транспортное средство, которое содержит двигатель внутреннего сгорания, связанный через блок трансмиссии с одной из осей, электромоторы, воздействующие на колеса первой и второй осей, накопитель электрической энергии и электронный блок управления [1]. При проскальзывании по меньшей мере одного из ведущих колес, электромотор, связанный с этим колесом, работает в регенеративном режиме, вырабатывая электрическую энергию, которая поступает в накопитель. Электронный блок управления в автоматическом режиме распределяет запасенную в результате рекуперации электроэнергию между электромоторами, связанными с остальными колесами, имеющими сцепление с дорогой.

Известна комбинированная энергетическая установка гибридного автомобиля [2], которая содержит двигатель внутреннего сгорания и два электромотора/генератора, причем электромоторы связаны с первой и второй колесными осями соответственно. Двигатель внутреннего сгорания и первый электромотор/генератор являются тяговыми, связь между ними имеет возможность размыкания, и они подключены к первой колесной оси посредством промежуточных средств. Второй электромотор/генератор выполнен с возможностью независимой работы от первого электромотора и связан с другой колесной осью постоянно.

Однако недостатком рассмотренных гибридных транспортных средств с точки зрения требований к современным транспортным средствам повышенной проходимости является отсутствие возможности использования двигателя внутреннего сгорания в качестве приводного при выходе из строя электросистемы.

Кроме этого, недостатком реализации известных комбинированных приводов являются высокие массогабаритные параметры электросистемы транспортного средства и, как следствие, низкий показатель отношения полной массы к массе полезной нагрузки транспортного средства.

Техническая задача разработки комбинированного привода, представленного в данной статье, заключается в расширении функциональных возможностей транспортного средства за счет реализации двигателя внутреннего сгорания в качестве независимого от электрического приводного устройства при обеспечении энергоэффективности и компактности комбинированного привода гибридного транспортного средства в целом [3].

Комбинированный привод (рис. 1 и 2) включает в себя двигатель *1* внутреннего сгорания (ДВС), связанный посредством сцепления *2* (СЦ),

коробки *3* передач (КП) и блока *4* трансмиссии (БТ) с колесами *5* и *6* первой колесной оси *7*, электрический привод в виде двух обратимых электромоторов *8* и *9* (ЭМ), связанных с колесами *10* и *11* второй колесной оси *12*. В состав привода входят также аккумуляторный блок *13* (АКБ), подключенный к каждому из электромоторов *8* и *9*, а также блок *14* датчиков (БД) и электронный блок *15* управления (ЭБУ), подключенный к электромоторам *8* и *9*, аккумуляторному блоку *13* и блоку *14* датчиков. При этом комбинированный привод снабжен генератором *16* (Г), а вторая колесная ось *12* выполнена в виде двух автономных полуосей *17* и *18*, на каждой из которых установлены электромоторы *8* и *9* (ЭМ) соответственно. Каждый из электромоторов *8* и *9* связан с соответствующими колесами *10* и *11* второй колесной оси *12* через дополнительные блоки *19* и *20* трансмиссии (БТ) и устройства *21* и *22* "включения/выключения". Генератор *16* подключен через электронный блок *15* управления к каждому из электромоторов *8* и *9* и имеет автоматически подключаемый синхронизированный привод от двигателя внутреннего сгорания *1*. Причем отношение номинальной мощности электромоторов *8* и *9* к номинальной мощности двигателя внутреннего сгорания *1* таково, что составляет не более 0,4, а отношение установочной мощности генератора *16* к номинальной мощности двигателя *1* внутреннего сгорания составляет не более 0,3.

Управление электромоторами *8* и *9*, а также синхронизация их совместной работы с двигателем *1* внутреннего сгорания и генератором *16* на соответствующих режимах движения осуществляется электронным блоком *15* управления, который содержит по меньшей мере один контроллер, постоянно отслеживающий показания блока *14* датчиков, например угловую скорость вращения колес, положение акселератора и т. п. Электромоторы *8* и *9* комбинированного привода могут быть выполнены вентильными с жидкостным или воздушным охлаждением. Блоки *4*, *19*, *20* трансмиссии могут быть снабжены колесными цилиндрическими или планетарными редукторами. Синхронизированный привод генератора *16* от двигателя внутреннего сгорания *1* может осуществляться посредством автоматического центробежного конического вариатора. Сцепление *2* может быть выполнено центробежным автоматическим, коробка *3* передач — в виде центробежного двухконусного вариатора, а блок *4* трансмиссии в данном случае включает в себя коробку *23* передач, обеспечивающую повышающую и понижающую передачи, главную передачу *24*, содержащую одноступенчатый конический редуктор и дифференциал (на рис. 2 не обозначены), колесные цилиндрические редукторы *25* и *26*, а также элемент *27* отбора мощности и устройство *28* его "включения/выключения". Между двигателем внутреннего сгорания *1* и генератором *16* установлен автоматический центробежный конический вариатор *29*, обеспечивающий функцию синхронизации. При этом блоки *19* и *20* трансмиссии выполнены в виде планетарных редукторов с устройствами *21* и *22* "включения/выключения".

Работа комбинированного привода гибридного транспортного средства обеспечивает пять основных режимов движения, которые осуществляются следующим образом.

1. Режим движения "ДВС" с использованием только двигателя внутреннего сгорания независимо от электромоторов.

Движение транспортного средства обеспечивается за счет силового привода колес *5*, *6* первой колесной оси *7* от двигателя внутреннего сгорания *1* при отключенных с помощью устройств *21* и *22* "включения/выключения" и не связанных с колесами *10* и *11* второй колесной оси *12* обратимых электромоторах *8* и *9*. Передача и преобразование крутящего момента от двигателя *1* к колесам *5*, *6* первой оси *7* осуществляется блоком *4* трансмиссии. Питание бортового электрооборудования осуществляется аккумуляторным блоком *13*, а его подзарядка производится за счет генератора *16*. Данный режим движения предназначен для нормальных дорожных условий при низком коэффициенте сопротивления движению.

2. Режим движения "ЭМ" с использованием только электромоторов независимо от двигателя внутреннего сгорания.

Движение транспортного средства обеспечивает силовой привод колес *10*, *11* второй оси *12* с автономными полуосями *17* и *18* от обратимых электромоторов *8* и *9* при выключенных сцеплении *2*, двигателе *1* и генераторе *16*. Передача и преобразование крутящего момента от обратимых электромоторов *8* и *9* к колесам *10*, *11* второй оси *12* осуществляется дополнительными блоками *19* и *20* трансмиссии. Питание электромоторов *8* и *9* осуществляется аккумуляторным блоком *13*, а координация работы всей электросистемы обеспечивается электронным блоком *15* управления. Продолжительность движения на данном режиме в основном зависит от скорости движения, дорожных условий и емкости акку-

муляторного блока *13*. Максимальная скорость движения ограничена диапазоном регулирования обратимых электромоторов *8* и *9*. Данный режим движения обеспечивает низкий уровень шумовой и тепловой заметности, создаваемый транспортным средством при перемещении, а также характеризуется нулевым расходом топлива и отсутствием выбросов отработавших газов в атмосферу, что способствует улучшению топливной экономичности и экологичности транспортного средства.

3. Режим движения "Г + ЭМ" с использованием генератора и электромоторов.

Движение транспортного средства обеспечивается за счет силового привода колес *10* и *11* второй оси *12* с автономными полуосями *17* и *18* от обратимых электромоторов *8* и *9*, а при нехватке электроэнергии для движения в автоматическом режиме включается двигатель *1*, не связанный с колесами *5* и *6* первой оси *7* (сцепление *2* в трансмиссии отключено) и приводящий в движение только генератор *16*. При этом синхронизация оборотов ротора генератора *16* и выходного вала двигателя *1* производится таким образом, что обеспечивается номинальная генерация электроэнергии во всем диапазоне работы двигателя *1*. Передача и преобразование крутящего момента от обратимых электромоторов *8* и *9* к колесам *10* и *11* второй оси *12* с автономными полуосями *17* и *18* осуществляется дополнительными блоками *19* и *20* трансмиссии. Питание электромоторов *8* и *9* осуществляется аккумуляторным блоком *13*, а координация работы всей электросистемы обеспечивается электронным блоком *15* управления. Максимальная скорость движения ограничена диапазоном регулирования обратимых электромоторов *8* и *9*. Данный режим характеризуется низким расходом топлива и уменьшением выбросов отработавших газов в атмосферу, что способствует улучшению топливной экономичности и экологичности транспортного средства.

4. Режим движения "ДВС + ЭМ" с использованием двигателя внутреннего сгорания и электромоторов.

Движение транспортного средства обеспечивается за счет совместного силового привода колес *5*, *6* первой оси *7* от двигателя *1* и колес *10* и *11* второй оси *12* с автономными полуосями *17* и *18* от обратимых электромоторов *8* и *9* соответственно. Причем синхронизация совместной работы производится электронным блоком *15* управления, который регулирует режим работы обратимых электромоторов *8* и *9* в зависимости от режима работы двигателя *1*. Передача и преобразование крутящего момента от двигателя *1* к колесам *5* и *6* первой оси *7* осуществляется блоком *4* трансмиссии, а от обратимых электромоторов *8* и *9* к колесам *10* и *11* второй оси *12* с автономными полуосями *17* и *18* осуществляется дополнительными блоками *19* и *20* трансмиссии. Питание электромоторов *8* и *9* осуществляется аккумуляторным блоком *13*, а его подзарядка производится за счет генератора *16*. При достижении скорости, соответствующей максимальным оборотам обратимых электромоторов *8* и *9*, устройства *21* и *22* "включения/выключения" автоматически размыкают их связь с колесами *10* и *11* второй оси *12* с автономными полуосями *17* и *18*. Данный режим обеспечивает движение в тяжелых дорожных условиях, буксировку тяжелых прицепов, а также интенсивный разгон на дорогах с хорошим покрытием.

5. Режим движения "ДВС + Г" с использованием двигателя внутреннего сгорания и генератора.

Движение транспортного средства обеспечивается за счет силового привода колес *5*, *6* первой оси *7* от двигателя *1* внутреннего сгорания с генерацией электроэнергии за счет принудительного вращения обратимых электромоторов *8* и *9*, связанных с колесами *10* и *11* второй оси *12* с автономными полуосями *17* и *18* через дополнительные блоки *19* и *20* трансмиссии в дополнение к работающему генератору *16*. Передача и преобразование крутящего момента от двигателя *1* к колесам *5* и *6* первой оси *7* осуществляется блоком *4* трансмиссии. При достижении скорости, соответствующей максимальным оборотам обратимых электромоторов *8* и *9*, устройства *21* и *22* "включения/выключения" автоматически размыкают их связь с колесами *10* и *11* второй оси *12* с автономными полуосями *17* и *18*. Данный режим обеспечивает рекуперацию электрической мощности при движении и ускоренную зарядку аккумуляторного блока *13*.

Представленный комбинированный привод гибридного транспортного средства обеспечивает высокие тягово-динамические характеристики в тяжелых дорожных условиях, высокие скоростные характеристики в нормальных дорожных условиях, достаточную скорость и запас хода в малошумном режиме движения за счет обратимых электромоторов при выключенном двигателе внутреннего сгорания, энергоэффективность и компактность электросистемы, повышенную топливную экономичность и экологичность, а также надежность с точки зрения сохранения

мобильности при выходе из строя одного из приводов.

Электронный блок управления, постоянно отслеживающий показания блока датчиков, обеспечивает энергоэффективность электросистемы, а также синхронизацию работы двигателя внутреннего сгорания, генератора и электромоторов. Вентильные электромоторы с воздушным охлаждением являются компактными, а при использовании закрытой системы жидкостного охлаждения электромоторов возможна реализация комбинированного привода для амфибийных машин. Блоки трансмиссии, снабженные колесными цилиндрическими или планетарными редукторами, обеспечивают больший диапазон изменения передаточных отношений трансмиссии, что позволяет улучшить эффективность комбинированного привода в целом, а также повысить дорожный просвет транспортного средства. Двигатель внутреннего сгорания, связанный с генератором через автоматический центробежный вариатор, синхронизирующий обороты ротора генератора и выходного вала двигателя внутреннего сгорания, позволяет повысить энергоэффективность комбинированного привода.

Таким образом, представленный комбинированный привод расширяет функциональные возможности транспортного средства благодаря использованию двигателя внутреннего сгорания независимо от электрического приводного устройства при обеспечении энергоэффективности и компактности комбинированного привода гибридного транспортного средства в целом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Пат. 6295487 США**, МПК G05D3/00. Hybrid vehicle and method of controlling the travel of the vehicle/ Masao Ono (Япония), Nobuhito Ohnuma (Япония), Jun Morimoto (Япония), Hiroko Yoshikawa (Япония), Akifumi Kurita (Япония), Osamu Watanabe (Япония); заявитель и правообладатель Tokyo R&D Co., Ltd. — № 09508580; заявл. 19.07.99; опубл. 03.02.00. — 42 с.
2. **Пат. 2457959 Российская Федерация,** МПК B60K6/44, B60W20/00. Комбинированная энергетическая установка гибридного автомобиля / Бахмутов С. В., Павлушков Б. Э., Селифонов В. В., Серебряков В. В., Филонов А. И., Благушко Я. В., Маликов О. В., Баулина Е. Е., Куликов И. А., Карпухин К. Е.; заявитель и правообладатель МАМИ. № 2010128225/11; заявл. 08.07.10; опубл. 10.08.12, Бюл. № 22. — 8 с.
3. **Пат. 2670185 Российская Федерация,** МПК B60K 6/20, B60K 6/48, B60K 6/52, B60W 20/20, B60F 3/00. Комбинированный привод гибридного транспортного средства / Малахов Д. Ю., Филатов В. В., Карелина М. Ю., Борисевич В. Б.; заявитель и правообладатель МАДИ. № 2017140880; заявл. 23.11.17; опубл. 18.10.18, Бюл. № 29. — 14 с.

Новый московский партнер

Двадцать седельных тягачей КАМАЗ-5490 NEO поставлены на условиях лизинга в адрес ООО Управляющая транспортная компания "Мегаполис".

Эта транспортно-экспедиционная компания является для "КАМАЗ-ЛИЗИНГа" новым клиентом и пользуется программой от производителя впервые. Автомобили КАМАЗ оформлены по программе "Лизинг от производителя", включающей в себя беспрецедентно низкую ставку полного КАСКО, удлиненный срок лизинга и предварительное одобрение по сделке в течение одного часа.

Предприятие-заказчик специализируется на грузовых автоперевозках под брендом торгового знака — CLC Group (Connecting Logistic Company), объединившего группу российских транспортных компаний. ООО УТК "Мегаполис" осуществляет внутрироссийские и международные транспортировки грузов. Приобретение автомобилей КАМАЗ в лизинг на выгодных условиях дает возможность расширить автопарк транспортной компании и увеличить объем и качество предоставляемого сервиса. Клиент планирует продолжать сотрудничество по программам "КАМАЗ-ЛИЗИНГа", так как лизинг от производителя является оптимальным способом увеличения и обновления автопарка, позволяющим грамотно планировать финансовые потоки и оптимизировать бюджет компании.

Тягачи КАМАЗ-5490 NEO, ставшие предметом договора, — представители нового модельного ряда ПАО "КАМАЗ", имеют характеристики, аналогичные европейским маркам, при этом доступнее по цене. Грузовики оснащены экономичным двигателем Daimler OM457LA (Евро-5) мощностью 401 л.с., комфортабельной кабиной на четырехточечной подвеске и спальным местом (по заказу автомобиль может быть оборудован вторым спальным местом). Кроме того, в числе преимуществ модели — автоматическая коробка передач ZF 12AS2130 TD, электропневматический привод тормозной системы (EBS), система курсовой устойчивости (ESP) и противобуксовочная система (ASR), а также оптимизированное распределение нагрузок на оси, контроль нагрузки на ведущий мост и увеличенный до 760 л запас топлива.

Пресс-служба ПАО "КАМАЗ"

УДК 665.7.038.5

В. Р. Рогов, канд. техн. наук, доцент, e-mail: rogov@madi.ru, **В. С. Ершов,** студент, e-mail: ter34t@mail.ru, **А. А. Акулов,** студент, Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)
E-mail: vsershov21@gmail.com

ИССЛЕДОВАНИЕ ОБРАБОТКИ КУЗОВА ЛЕГКОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ АНТИКОРРОЗИЙНЫМИ СОСТАВАМИ ПОСЛЕ РЕМОНТНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ РАБОТ

В статье рассматриваются методы обработки кузова легковых автомобилей антикоррозийными составами после ремонтно-восстановительных работ, а также технологии их нанесения. Обоснована необходимость дополнительной антикоррозийной защиты лакокрасочного покрытия автомобиля.

Ключевые слова: *лакокрасочное покрытие, кузов автомобиля, ремонтно-восстановительные работы, защитный состав, антикоррозионная защита, металл.*

The article examines methods of processing of body of cars with anti-corrosion compounds after repair and restoration work and also technologies of their drawing.Need of additional anticorrosive protection of paint and varnish coating of the car is proved.

Keywords: *paint coating, car body, repair and restoration work, protective composition, anticorrosive protection, metal.*

В условиях агрессивной городской среды кузов легкового автомобиля в большей степени подвержен коррозии в осенне-зимний период, когда дорожное покрытие обрабатывается химическими реагентами. При эксплуатации автомобиля в данных условиях скорость возникновения очагов коррозии значительно выше, чем в летний период. Также значительное влияние на возникновение коррозии оказывает некачественная обработка металла при кузовном ремонте легкового автомобиля. Оба фактора приводят к уменьшению срока службы кузовных элементов.

Для достижения оптимального срока службы кузова автомобиля необходимо обеспечить ему должную коррозионную стойкость. Наибольшую роль в предотвращении коррозии играет обработка кузова автомобиля заводом-изготовителем: покрытие кузова грунтом, в отдельных случаях его оцинковывание — нанесение современных лакокрасочных материалов. Однако в процессе эксплуатации транспортного средства неизбежно возникновение сколов и царапин на защитном покрытии.

Фактором для возникновения коррозии является деформирование элемента кузова во время эксплуатации. В местах значительного изменения геометрии нарушается нанесенный заводом-изготовителем защитный слой. Эти области в дальнейшем и становятся очагами коррозии.

При проведении ремонтно-восстановительных работ автомобиля, в частности восстановлении геометрии кузова, не уделяется должного внимания антикоррозионной обработке.

В работе исследованы технологии антикоррозионной обработки кузова автомобиля во время проведения ремонтных работ, способы поддержания защитного слоя после восстановительных работ, улучшение коррозийной стойкости кузовных элементов автомобиля путем обработки антикоррозионными составами.

Кузов легкового автомобиля является сложной системой с множеством различных усилений и полостей. Его нижняя часть наиболее подвержена коррозии, поскольку на нее воздействуют грязь и химические реагенты (в зимний период). Полости, как правило, герметизированы специальными заглушками, устанавливаемыми в технологические отверстия, которые, в свою очередь, со временем подвергаясь воздействию агрессивной среды, начинают пропускать ее продукты внутрь кузова. Происходит постепенное отложение и разъедание защитного слоя, вплоть до металла, что провоцирует начало процесса коррозии. В случае если кузовной элемент был ранее деформирован, то есть была нарушена целостность заводской обработки, окисление происходит быстрее.

Важную роль при ремонтно-восстановительных работах кузова автомобиля играет антикоррозионная обработка, которой не всегда уделяется должное внимание. В заводских условиях на участки металла с меньшим сопротивлением коррозии

(сварные швы, труднодоступные места, сопряжения металла) наносятся защитные составы, чувствительные к механическим воздействиям. По этой причине нарушение предотвращающей коррозию пленки неизбежно в результате деформации кузовного элемента, что, по большей части, происходит в дорожно-транспортных происшествиях. Соответственно, процесс восстановления кузова требует особого внимания с точки зрения обеспечения коррозийного сопротивления, поскольку для обеспечения длительного срока службы восстановленного элемента его необходимо обработать заново.

Ржавчина — это обобщенное название окислов железа, появляющихся в результате химической реакции железа с кислородом в среде, имеющей повышенную влажность.

Появление коррозии на автомобиле, попавшем в ДТП, практически неизбежно, поскольку принятие мер по восстановлению занимает определенное время, в течение которого транспортное средство с нарушенной заводской антикоррозионной защитой подвергается воздействую окружающей среды. Следовательно, ремонт кузовных частей требует своевременной нейтрализации очагов окисления металла.

Перед началом восстановления защитного слоя металла осуществляется выправление кузова и его элементов с целью достижения заводских геометрических параметров. Следующий этап — полная ликвидация окислов металла.

Существуют механический и химический методы борьбы с коррозией на поврежденных участках.

Название первого способа подразумевает механическое воздействие на изделие с помощью абразивных материалов, механизированного или ручного инструмента. Для удаления ржавчины с металлов механическим способом необходимо применять специальные металлические щетки, абразивные круги или наждачную шкурку. Наиболее целесообразно применять механический способ удаления ржавчины на поверхностях с большими площадями и ровными формами. Этот способ применим на поверхностях, имеющих достаточную толщину металла для очистки от ржавчины. При этом место обработки может стать тоньше остальных частей изделия, что следует учитывать при проведении работ [1].

Для труднодоступных мест применим способ газодинамической пескоструйной очистки, при котором выходящий из компрессора под давлением воздух разгоняет частицы песка до скорости в 300 м/с, что сравнимо со скоростью пули, и, попадая на поверхность, очищает ее от любых загрязнений: краски, лаков, битума и т.д.

Основной проблемой является то, что в процессе окисления металл покрывается большим количеством кратеров. Устранить ржавчину из них крайне сложно, зачастую даже невозможно без удаления поврежденного участка.

Химический метод позволяет воздействовать на очаги коррозии, находящиеся в труднодоступных местах, а также максимально замедлить сам процесс окисления металла. После механической обработки пораженной поверхности на нее, как правило, наносится специальный состав — преобразователь ржавчины.

Преобразователь ржавчины замедляет процесс коррозии. Основным элементом данного средства служит ортофосфорная кислота. Она вступает в химическую реакцию с окисленной поверхностью, после чего образуется пленка, препятствующая дальнейшему распространению коррозии. В состав преобразователей входят различные присадки, которые блокируют повторное появления ржавчины. Образованный защитный слой делает поверхность металла более устойчивой к воздействию окружающей среды, структура и свойства металла остаются неизменными.

При должном проведении работ по удалению очагов коррозии у элементов кузова значительно увеличивается срок службы. Следует также выполнять обработку с определенной периодичностью специальными составами, поскольку в среднем срок службы антикоррозийной обработки составляет от двух до трех лет.

Ассортимент средств для борьбы с коррозией деталей автомобиля в наши дни очень широк. Из наиболее распространенных можно выделить следующие:

— мастики битумные или резинобитумные;

— массы для защиты и консервации кузова и днища;

— средства для защиты закрытых полостей и профилей [2].

Эти средства препятствуют возникновению коррозии и продлевают срок службы металлических деталей автомобиля. Некоторые из этих средств наносятся непосредственно на металлическую поверхность, а другие требуют предварительной грунтовки [2].

Данный вид обработки существенно помогает сохранить кузов автомобиля, поскольку защитными составами покрываются наиболее опасные участки — внутренние полости. Недостаточная вентиляция и высокая влажность ускоряют процесс коррозии.

Перед покрытием элементов кузова антикоррозийными средствами проводится очистка металла от накопившихся отложений. Далее следует сушка. Все перечисленные действия необходимы для получения наибольшего эффекта от применяемых ингибиторов.

Для обработки открытых частей кузова днища и арок используют твердеющие мастики, а для скрытых полостей (порогов и стоек) — "невысыхающие" препараты. Наиболее популярными у сервисменов на сегодня являются голландский препарат Tectyl, шведские Noxudol и Dinitrol, а также бельгийский Soudal и немецкий Bivaxol [3].

При ремонте автомобиля после ДТП, как правило, применяется сварка. Сварные швы подвержены коррозии, поэтому необходима их предварительная обработка. Для обеспечения защиты используются грунтующие составы, лакокрасочные материалы или же герметики, позволяющие исключить контакт шва с окружающей средой.

Отсутствие дополнительной антикоррозионной защиты лакокрасочного покрытия кузовов автомобилей отрицательно сказывается на долговечности автомобиля [4].

В настоящее время активно применяются ингибированные составы для антикоррозионной обработки кузовов автомобилей. Для защиты кузова автомобиля от коррозии применяются инновационные технические средства для нанесения защитной молекулярной пленки на поверхность автомобиля [5]. Разрабатываются оптимальные ингибированные составы для антикоррозионной обработки [6]. В соответствии с актуальной концепцией использования нанотехнологических подходов применяются фторсодержащие присадки [7]. При восстановлении и упрочнении деталей и агрегатов автомобилей применяются импортозамещающие технологии [8]. Предпочтение отдается ресурсосберегающим технологиям получения функциональных наноструктурных покрытий высокоскоростными методами нанесения [9]. Другим направлением в создании антикоррозионного покрытия является применение лакокрасочных материалов, модифицированных поверхностно-активными веществами [10]. При этом необходимо обеспечивать равную толщину покрытия [11].

Несмотря на все преимущества данных видов обработки кузова, в период эксплуатации необходимо проводить дополнительные профилактические меры: регулярную мойку автомобиля, периодический осмотр транспортного средства на подъемнике, удаление грязи из труднодоступных мест (арки и т. д.), своевременное принятие мер по устранению появившейся коррозии.

В исследовании проведен анализ методов очистки пораженных участков металла, замедляющих процесс его разрушения. Установлено, что применение антикоррозионных составов позволяет значительно замедлить процесс дальнейшего окисления металла. Предложены пути защиты от коррозии кузовных элементов легковых автомобилей, подвергнутых ремонту, за счет качественных ремонтных работ с дальнейшим применением антикоррозионных покрытий.

Комплексный подход к улучшению коррозионной стойкости кузова, состоящий из последовательного выполнения рассмотренных выше технологических процессов при ремонте, позволяет значительно увеличить срок службы автомобиля.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Подручные и химические средства** для удаления ржавчины: инструменты и ток в удалении ржавчины с металла. URL: http://sibnovostroy.ru/bez-rubriki/podruchnye-i-himicheskie-sredstva-dlya-udaleniya-rzhavchiny-instrumenty-i-tok-v-udalenii-rzhavchiny-s-metalla.html (дата обращения: 18.12.2018).
2. **Старостин К. В.** Антикоррозийная обработка как средство защиты автомобиля // Молодой ученый. — 2016. — № 25. — С. 81—85.
3. **Ашапатов А. А.** Новые подходы к антикоррозийной обработке кузова // Будущее науки: сборник научных статей 6-й Международной научной конференции. В 4-х томах. (Курск, 25—26 апреля 2018 г.). — Курск, 2018. — С. 80—82.
4. **Чупров Н. М., Якубович И. А.** К вопросу о коррозии лакокрасочного покрытия кузовов легковых автомобилей // Актуальные проблемы науки и образования на современном этапе: Сборник научных трудов по материалам Всероссийской научно-практической конференции (Воронеж, 07—09 июня 2018). — Воронеж, 2018. — С. 276—278.
5. **Гайдар С. М., Карелина М. Ю., Пыдрин А. В., Петровский Д. И., Петровская Е. А., Быков Е. В., Быков К. В., Голубев М. И., Шлыков А. Е.** Ингибитор коррозии металлов // Патент России № 2597442. 2016.
6. **Карелина М. Ю., Пыдрин А. В.** Оптимальный ингибированный состав для антикоррозионной обработки машин и оборудования АПК // Инновационные направления развития технологий и технических средств механизации сельского хозяйства: материалы международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию кафедры сельскохозяйственных машин агроинженерного факультета Воронежского государственного аграрного университета имени императора Петра I (Воронеж, 25 декабря 2015). — Воронеж, 2015. — С. 110—115.
7. **Карелина М. Ю.** Концепция создания ингибиторов коррозии с использованием нанотехнологических подходов // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). — 2015. — № 3(42). — С. 8—11.
8. **Карелина М. Ю., Титов Н. В., Коломейченко А. В., Виноградов В. В., Петриков И. А., Поджарская К. С.** Импортозамещающая технология восстановления и упрочнения рабочего оборудования строительных и дорожных машин // Строительные и дорожные машины. — 2015. — № 8. — С. 34—37.
9. **Кравченко И. Н., Карелина М. Ю., Зубрилина Е. М., Коломейченко А. А.** Ресурсосберегающие технологии получения функциональных наноструктурированных покрытий высокоскоростными методами нанесения // Вестник Донского государственного технического университета. — 2015. — Т. 15. № 3 (82). — С. 19—27.
10. **Гайдар С. М., Быкова Е. В., Карелина М. Ю.** Перспективы использования лакокрасочных материалов, модифицированных фторсодержащими поверхностно-активными веществами, для защиты сельхозтехники // Техника и оборудование для села. — 2015. — № 7. — С. 34—38.
11. **Кравченко И. Н., Гайдар С. М., Карелина М. Ю., Саляев Н. И.** Оптимизация процесса формирования равнотолщинных газотермических покрытий // Техника и оборудование для села. — 2015. — № 12. — С. 38—42.
12. **Гайдар С. М.** Планирование и анализ эксперимента: учебник. — М.: изд-во ФГБНУ "Росинформагротех", 20015. — 548 с.

УДК 621.3.035.183

Волков А. А., ассистент кафедры, Российский государственный аграрный университет — Московская сельскохозяйственная академия им. К. А. Тимирязева, **Гайдар М. С.,** студент, Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)
E-mail: tromezi@bk.ru

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФТОРСОДЕРЖАЩИХ ПАВ В ЛАКОКРАСОЧНЫХ МАТЕРИАЛАХ ДЛЯ ЗАЩИТЫ АВТОТРАКТОРНОЙ ТЕХНИКИ

Рассмотрены критерии выбора лакокрасочных материалов для защиты автотракторной техники. Показаны пути повышения качества лакокрасочных покрытий. Предложен метод модификации серийно выпускаемых пленкообразующих веществ фторсодержащими поверхностно-активными веществами. Описана технология синтеза фторсодержащих поверхностно-активных веществ. Приведены результаты экспериментальных исследований качества полученных защитных пленок.

Ключевые слова: *лакокрасочные материалы, фторсодержащие поверхностно-активные вещества, модификация, краевой угол смачивания, водомаслоотталкивающие свойства.*

The article discusses the criteria for choosing paintwork materials for the protection of automotive machinery. It shows ways to improve the quality of paint coatings as well as a certain method for modifying commercially available film-forming substances with fluorine-containing surfactants. The article also describes the technology for the synthesis of fluorine-containing surfactants and the results of experimental studies of the quality of the obtained protective films.

Keywords: *paintwork materials, fluorine-containing surfactants, modification, wetting angle, water and oil repellent properties.*

(Рисунок на 3-й полосе обложки)

Выбор лакокрасочных материалов (ЛКМ) и технологии получения покрытий на их основе для защиты техники, используемой в сельском хозяйстве, производится с учетом ее назначения и условий эксплуатации.

По назначению автотракторную технику можно разделить на три класса: тракторы, сельскохозяйственные машины, оборудование и машины для животноводства и кормопроизводства.

В каждом классе имеются разные группы машин и оборудования, которые защищают лакокрасочными покрытиями, что обусловливает различные технические требования к этим покрытиям. Более того, отдельные детали и сборочные единицы машины часто защищают разными лакокрасочными материалами, что связано с условиями работы этих деталей [1].

К **первому классу** автотракторной техники относятся тракторы, двигатели и самоходные шасси.

Тракторы в процессе эксплуатации подвергаются воздействию различных климатических условий, которые в первую очередь и определяют технические требования к выбору лакокрасочных материалов. Однако в тракторах имеются детали и узлы, не подвергающиеся непосредственному атмосферному воздействию: одни из них подвержены воздействию бензина, другие — минеральных масел, третьи — воздействию температур до 450 °С. Поэтому лакокрасочные материалы для этих деталей и сборочных единиц должны быть выбраны с учетом специфики эксплуатации покрытий.

Второй класс по назначению включает одиннадцать групп сельхозтехники:

1) почвообрабатывающие машины: камнеуборочные машины, канаво- и ямокопатели, заравниватели, корчеватели, бороздо- и грядоделатели, плуги, культиваторы, бороны, окучники и др.;

2) машины для посева и посадки: сеялки, сажалки, рассадопосадочные машины и т. д.;

3) машины для подготовки и внесения удобрений: смесители, разбрызгиватели, рассеиватели, прицепы для удобрений;

4) машины для защиты растений: опрыскиватели, аэрозольные аппараты, гербицидно-аммиачные машины, опыливатели, протравливатели семян и др.;

5) машины для полива: дождевальные установки и машины различных типов, насосные агрегаты и т. д.;

6) комбайны — зерновые, рисовые, кукурузоуборочные; к этой же группе машин относятся жатки для уборки зерновых культур и прицепы для перевозки различных сельскохозяйственных грузов;

7) машины и приспособления для уборки бобовых и масличных культур, льна, конопли, чая, хлопка, хмеля и т.п.;

8) машины для очистки и сортировки зерна и семян: веялки, семяочистительные машины и др.;

9) сушильные устройства: сельскохозяйственные сушилки, воздухоподогреватели и т. д.;

10) машины для уборки и первичной обработки овощей;

11) машины, используемые в садоводстве: комбайны для уборки плодов, ягод и винограда; копатели для саженцев и рассады; обрезчики; средства для транспортирования ягод и фруктов.

Автотракторная техника первого и второго классов, как правило, эксплуатируется в атмосферных условиях различных климатических зон холодного, умеренного, тропического сухого и тропического влажного климата. Поэтому при выборе лакокрасочных материалов необходимо учитывать особенности этих климатических зон. Кроме того, для защиты целого ряда сельскохозяйственных машин необходимо учитывать не только влияние климатических факторов, но и специфику эксплуатации машин. Например, для машин третьей группы второго класса лакокрасочные покрытия должны быть химически стойкими, так как они находятся в непосредственном контакте с минеральными удобрениями, в том числе ядами различного химического состава, применяемыми как в твердом, так и в жидком состояниях.

Третий класс автотракторной техники — машины и оборудование для животноводства и кормопроизводства — включает три группы машин, которые отражают специфику их эксплуатации:

1) машины и оборудование, на которые воздействует микроклимат животноводческих помещений;

2) машины и оборудование, работающие в контакте с влажными и полувлажными кормами;

3) машины и оборудование, находящиеся в контакте с навозом и пометом.

При выборе лакокрасочных материалов для сельхозтехники такого типа основным фактором является стойкость покрытий к различным агрессивным средам. Однако при этом лакокрасочные покрытия, используемые для защиты животноводческих комплексов, не должны быть токсичными и влиять на репродуктивные функции животных, их рост и развитие, а также не должны снижать санитарных характеристик получаемых продуктов питания [2].

Деление машин на группы является весьма условным, так как часто в одну и ту же группу включены машины простой и сложной конструкции. Например, в шестую группу второго класса включены сложный по конструкции зерноуборочный комбайн и конструктивно простые прицепы для перевозки сельскохозяйственных продуктов. Очевидно, что технология получения лакокрасочных покрытий для защиты этих машин должна быть различной. В большинстве случаев необходимо использовать и различные лакокрасочные материалы, хотя на покрытия в процессе эксплуатации в том и другом случае воздействуют различные климатические факторы и не исключена возможность работы изделий в одних и тех же атмосферных условиях. Выбор материалов и технология их нанесения в данном случае обосновывается технико-экономической целесообразностью.

Особенностью эксплуатации автотракторной техники (главным образом машин второго класса) является сезонность ее работы. Несмотря на создание комбайнов, совмещающих несколько сельскохозяйственных операций, подавляющее большинство машин, оборудования и приспособлений используется весьма кратковременно. Например, зерноуборочные, свеклоуборочные, хлопкоуборочные комбайны работают 30—40 дней в году, что составляет около 7 % календарного времени; сеялки, жатки, картофелесажалки и др. — около 15 дней (2—3 % календарного времени). Наибольшее время эксплуатируются тракторы, работа которых, однако, не превышает 220 дней в году.

Поэтому при выборе лакокрасочных материалов наряду с условиями и спецификой эксплуатации техники необходимо учитывать и условия ее хранения. Правила хранения техники, используемой в сельском хозяйстве, предусмотрены государственным стандартом [3], в котором наряду с общими положениями приведены конкретные требования по техническому обслуживанию сельхозтехники при хранении, в том числе требования к межсезонному хранению машин, к длительно-

му хранению в закрытых помещениях, под навесом, на открытых площадках, а также требования к хранению отремонтированных машин на ремонтных предприятиях, складах и обменных пунктах.

Если установленные правила хранения техники нарушены, надежность работы сельскохозяйственных машин уменьшается в 1,5—2 раза. При этом срок службы лакокрасочного покрытия резко снижается, вплоть до полной потери защитного действия покрытия (металл под пленкой корродирует).

Выбор лакокрасочных материалов и систем покрытий для защиты сельхозтехники, исходя из ее назначения, условий эксплуатации и хранения, базируется на определении научно обоснованных показателей качества, которые должны гарантировать заданные сроки службы покрытий на изделиях в процессе их эксплуатации и хранения.

Для выбора системы покрытия необходимо знать, какие показатели качества материала и покрытия на его основе характеризуют надежность защиты сельскохозяйственных машин и оборудования, эксплуатируемых в различных условиях.

В настоящее время стандарты на лакокрасочные материалы, рекомендуемые для защиты автотракторной техники, зачастую содержат различные показатели качества, даже в случае использования их в аналогичных условиях. Кроме того, в стандартах на некоторые материалы до сих пор не указаны гарантируемые сроки службы покрытий даже для модельных (типовых) систем покрытий. Это обусловлено в основном тем, что повышение требований сельскохозяйственного машиностроения к качеству лакокрасочных материалов значительно опережает освоение промышленностью серийного выпуска прогрессивных материалов.

Повышение качества лакокрасочных материалов для защиты сельхозтехники направлено на увеличение сроков службы покрытий в атмосферных условиях и агрессивных средах и улучшение декоративных свойств покрытий (улучшение внешнего вида, увеличение блеска, создание цветовой гаммы более ярких и светлых тонов).

Одним из направлений повышения качества покрытий — разработка лакокрасочных материалов с новыми свойствами, удовлетворяющими современным требованиям сельскохозяйственного машиностроения.

Разработка новых лакокрасочных материалов может осуществляться двумя способами: созданием принципиально новых или модификацией существующих пленкообразователей.

Первый путь более сложен, так как обусловливает необходимость проектирования и строительства новых цехов для их производства, что не всегда экономически оправданно, поскольку связано с большими капиталовложениями.

Второй путь — химическая или физическая модификация серийно выпускаемых пленкообразующих веществ — является более простым и легко реализуемым способом, так как изготовление пленкообразователей и лакокрасочных материалов на их основе производится на имеющемся оборудовании существующих предприятий.

Модификация ЛКМ осуществляется введением в лакокрасочные материалы добавок (от 0,1 до 1,5 %) специально подобранных веществ, например органических поверхностно-активных веществ (ПАВ). Большой интерес вследствие уникальности свойств представляют фтор-ПАВ, в молекулах которых водород замещен на фтор.

Столетие, прошедшее после открытия фтора, чрезвычайно расширило области использования соединений этого элемента — от космической техники до кухонной утвари. В этом ряду следует отметить и фторсодержащие покрытия, сыгравшие значительную роль в развитии различных отраслей промышленности. Эти покрытия, обладающие чрезвычайно высокой стойкостью к химическим реагентам, нашли широкое применение для защиты внутренних поверхностей химических аппаратов и трубопроводов и сделали возможным развитие новых химических производств, имеющих дело с коррозионно-агрессивными жидкостями и газами. Их антиадгезионные свойства позволили существенно повысить эффективность процессов формования пластмасс благодаря использованию форм, легко оделяемых от формованных изделий. Незагрязняемость в сочетании с антиадгезионными свойствами и низким коэффициентом трения обеспечила высокое качество электронных копий при нанесении на валики электронных копировальных устройств. И наконец, антифрикционные свойства этих покрытий при использовании в подшипниках и других деталях машин и механизмов позволили увеличить время пробега без смены масла и существенно уменьшить шумы. Кроме того, низкий показатель преломления фторсодержащих смол открывает для них новые области использования в оптико-электронных устройствах, где их применяют в составе оболочек для оптических волокон. В настоящее время важной задачей становится также сохранение в течение длительного времени крупногабаритных строительных конструк-

ций, используемых, например, при строительстве небоскребов и мостов [4]. Для получения ЛКМ с высокими защитными свойствами необходимы ультраатмосферостойкие покрытия на основе стабильных фторсодержащих смол.

Смолы для покрытий должны отвечать следующим требованиям.

1. Требования, относящиеся к приготовлению исходных составов для покрытий: растворимость в растворителях, способность диспергировать пигменты, способность к тонированию, взаиморастворимость с отвердителями, достаточная стабильность при хранении.

2. Требования, относящиеся к технологии нанесения покрытий: способность к отверждению в широком интервале температур, вязкость и текучесть, соответствующие способу нанесения.

3. Требования, относящиеся к пленкам покрытий: стойкость (атмосферостойкость, стойкость к химическим реагентам и растворителям), эластичность, твердость, однородность, блеск, незагрязняемость.

Однако фторсодержащие полимеры не растворяются или плохо растворяются в растворителях, требуют высоких температур для формирования покрытия и не проявляют достаточно высоких характеристик при использовании в качестве покрытий, в связи с чем до настоящего времени они не находили широкого применения при создании атмосферостойких покрытий.

В работе [5] разработан способ получения фторсодержащих модификаторов поверхности смол.

При введении их в смолы перфторированные радикалы ориентируются во внешнюю сторону, а совместимые со смолой группы — внутрь смолы, поэтому при небольших количествах модификатора в полимерной массе вблизи поверхности создается высокая плотность этой добавки и проявляется высокая износостойкость материала в целом.

Фторсодержащие модификаторы можно использовать в качестве добавок к краскам для покрытий, веществ, предотвращающих слипание пленок, и т. д.

Синтез модифицирующих добавок осуществляется на основе суммарных фторангидридов полиперфторпропиленоксида для придания лакокрасочным материалам повышенных защитных свойств [6].

Указанная смесь была подвергнута этерификации метанолом. При этом получены сложные эфиры и полукетали (Эфир 1) по схеме:

$$R_fC(O)F + CH_3OH \rightarrow R_fC(O)OCH_3$$
(сложный эфир);

$$R_fC(O)CF_3 + CH_3OH \rightarrow R_f(HO)C(OCH_3)CF_3$$
(полукеталь).

Затем фторуглеродный слой промыли водой до нейтральной реакции и отогнали низкомолекулярные соединения на роторном испарителе при 100 °С/1333 Па. Выход — 55 %. Полученная смесь по данным титрования имела среднюю молекулярную массу 1074. В ИК-спектре Эфира 1 присутствовала полоса поглощения при 1780 см$^{-1}$, характерная для сложных эфиров перфторкарбоновых кислот, а также две полосы при 3620 и 3505 см$^{-1}$, характерные для метокси- и гидроксильной групп в полукеталях — продуктах взаимодействия фторкетонов со спиртом.

Аналогичным образом при этерификации исходной смеси н-ниниловым спиртом получена смесь сложных эфиров и полукеталей (Эфир 2) — производных перфторполиэфирокислот по схеме:

$$R_fCOF + C_9H_{19}OH \rightarrow R_fC(O)OC_9H_{19}$$
(сложный эфир);

$$R_fC(O)CF_3 + C_4H_9OH \rightarrow R_f(HO)C(OC_4H_9)CF_3$$
(полукеталь).

При взаимодействии эфиров и полукеталей с гексиламином получены соответствующие продукты аминирования (Амид 1) по схеме:

$$R_fC(O)OCH_3 + C_6H_{13}NH_2 \rightarrow R_fC(O)NHC_6H_{13};$$

$$R_fC(O)CF_3 + C_6H_{13}NH_2 \rightarrow R_f(HO)C(NH\ C_6H_{13})CF_3.$$

Кроме того, из метилового эфира тримера оксида гексафторпропилена и гексиламина синтезирован Амид 2 по схеме:

$$C_3F_7OCF(CF_3)CF_2OCFC(O)OCH_3 + C_6H_{13}NH_2 \rightarrow$$
$$\rightarrow R_fC(O)NHC_6H_{13} \text{ (Амид 2).}$$

Синтезированные продукты ввели в лак МЛ-001110 (смесь меламиноформальдегидной и глифталевой смол). Для гомогенизации модифицированные лаки подвергли обработке в ультразвуковой бане в течение 30 мин при частоте 38 КГц, после чего нанесли на предметные стекла и на загрунтованные металлические пластины. Образцы лаков помещали в сушильный шкаф и термостатировались при 120 °С в течение двух часов. После охлаждения определяли краевые углы смачивания

Зависимость краевых углов смачивания водой и моторным маслом лаковых пленок от количества модифицирующей добавки

Добавка	Количество добавки, %	Угол смачивания по воде, °	Угол смачивания по маслу, °
Нет	Нет	57	Масло растекается, угол менее 30
Амид 1, лак на стекле	20,49	97	51
	10,81	90	51
	4,93	90	43
	2,62	81	–
	0,84	102	57
	0,2	88	Менее 30
Амид 1, лак на металле	20,49	97	53
	10,81	87	–
	4,93	91	–
Эфир 1 на стекле	0,55	95	55
Эфир 2 на стекле	0,57	96	55
Амид 2 на стекле	10,8	97	55
	5,75	97	55
	3,06	97	55

водой и моторным маслом отвержденных лаковых пленок. Результаты приведены в таблице.

Из таблицы видно, что краевые углы смачивания лаковых пленок по воде мало зависят от количества модифицирующих добавок, введенных в лак МЛ-001110. Для достижения угла смачивания по воде около 90° достаточно введения всего 0,2 % модифицирующей добавки, при этом происходит заметное уменьшение краевого угла смачивания покрытия по маслу.

В производственных условиях лакокрасочного завода была изготовлена опытная партия эмали МЛ-1110-1 на основе модифицированного лака МЛ-001110.

На стальные пластины, загрунтованные вначале фосфатирующей грунтовкой ВЛ-023 (ГОСТ 12707—77) — один слой толщиной 15...18 мкм, затем грунтовкой ГФ-0119 (ГОСТ 23343—78) — один слой толщиной 15...20 мкм, наносили контрольные и опытные образцы эмали (по два слоя толщиной 32...36 мкм каждый). Покрытия отверждали при температуре 130 °С в течение 30 мин.

На каждое из полученных покрытий наносили каплю индустриального масла И-20А. На рисунке проиллюстрировано растекание масла на контрольных покрытиях (варианты *А*) и высокие маслоотталкивающие свойства модифицированных покрытий (варианты *Б*).

Применение фтор-ПАВ в качестве модификаторов ЛКП позволяет получить защитные пленки на поверхностях СХТ, обладающие рядом преимуществ:

— водомаслоотталкивающими свойствами, незагрязняемостью;

— понижением коэффициента трения;

— повышением влагостойкости;

— повышением адгезии пленки к подложке;

— повышением укрывистости ЛКМ;

— улучшенными поверхностными свойствами: большим блеском и твердостью;

— химической стойкостью к растворителям и агрессивным средам.

Таким образом, в результате модификации серийно выпускаемых пленкообразующих веществ можно сократить ассортимент лакокрасочных материалов для окраски сельскохозяйственных машин, оборудования, аппаратов и приспособлений при существенном повышении качества защитных пленок.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Гайдар С. М., Карелина М. Ю., Пыдрин А. В., Петровский Д. И., Петровская Е. А., Быкова Е. В., Быков К. В., Голубев М. И., Шлыков А. Е.** Ингибитор коррозии металлов. Патент на изобретение RUS 2597442 15.04.2015.
2. **Гайдар С. М., Карелина М. Ю.** Инновационное техническое средство для нанесения защитной молекулярной пленки на поверхность машин // Техника и оборудование для села. 2015. № 3. С. 26—28.
3. **Гайдар С. М., Быкова Е. В., Карелина М. Ю.** Перспективы использования лакокрасочных материалов, модифицированных фторсодержащими поверхностно-активными веществами, для защиты сельхозтехники // Техника и оборудование для села. — 2015. — № 7. — С. 34—38.
4. **Гайдар С. М., Посунько И. А., Щукин А. Г., Карелина М. Ю.** Синтез и исследование эффективности консервационных материалов на основе органических ингибиторов // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2018. № 11. С. 12—17.
5. **Gaidar S. M., Karelina M. Yu., Prikhodko V. M., Volkov A. A.** Optimization of the technological synthesis of refractory compounds // Russian metallurgy (Metally). — 2017. — Т. 2017. — N 13. — С. 1096—1098.
6. **Гайдар С. М., Пыдрин А. В., Карелина М. Ю.** Технология консервации автотракторных дизелей рабочеконсервационным составом // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. — 2015. — Т. 3. — № 1 (12). — С. 130—144.

УДК 665.7.038.5

А. В. Пыдрин, канд. техн. наук, доцент, Российский государственный аграрный университет — Московская сельскохозяйственная академия им. К. А. Тимирязева; Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), e-mail: pydrin89@mail.ru, **А. О. Будник,** студент, **Н. С. Шуваева,** студент, Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)

ВЛИЯНИЕ ИНГИБИТОРОВ КОРРОЗИИ НА СВОЙСТВА РАБОЧЕ-КОНСЕРВАЦИОННОГО МАСЛА

Проанализировано влияния добавки ингибиторов коррозии на свойства рабоче-консервационных масел. Приведены примеры составов, состоящих из масла с различным содержанием присадок. Рассмотрено их влияние на поверхность металла.

Ключевые слова: *ингибитор коррозии, консервация, присадка, износ, трение, трибологические свойства, поверхностно-активные вещества.*

The influence of the addition of corrosion inhibitors on the properties of working-conservation oils is analyzed. Examples of compositions consisting of oil with different additive content are given. Their influence on the metal surface is considered.

Keywords: *corrosion inhibitor, conservation, additive, wear, friction, tribological properties, surfactants.*

Коррозионное разрушение характерно для техники, особенно в случае, если условия ее хранения являются благоприятными для протекания подобных процессов. Это приводит к возникновению очагов коррозии, а следовательно, к разрушению пораженных участков по причине снижения усталостной прочности. Перепады температур, высокая относительная влажность среды отрицательно сказываются на поверхности металлических деталей. Поэтому для повышения надежности техники и увеличения ее срока службы используют методы консервации.

От современных антикоррозионных и консервационных смесей требуются следующие свойства: надежная адгезия; однородность; вытеснение воды с поверхности металла; эффективное пропитывание продуктов коррозии. Состав и консистенция антикоррозионных и консервационных материалов оказывает влияние на технологию и применяемый способ их нанесения. Для временной защиты от коррозии техники опробованы различные консервационные средства: пластичные смазки, консервационные масла и смазки, пленкообразующие ингибированные нефтяные составы, маслорастворимые ингибиторы и противокоррозионные присадки [1].

На сегодняшний день актуальной является проблема улучшения свойств масла, применяемого для антикоррозионной защиты. Известны составы ингибиторов коррозии металлов, используемые для предотвращения коррозии [2—4]. Добавление маслорастворимых ингибиторов коррозии частично решает данную проблему. Подобные присадки образуют защитный пленочный слой, который предотвращает непосредственный контакт масла и поверхности детали, что позволяет исключить коррозионные процессы. Их применением достигаются оптимальные функциональные свойства рабоче-консервационного масла. В настоящее время более широко применяются триботехнические и антикоррозионные присадки на основе наноматериалов [5, 6].

Предметом исследования данной статьи является рабоче-консервационное масло, которое представляет собой масло с добавлением присадок в виде ингибиторов коррозии и является универсальным продуктом, используемым в качестве как рабочего масла двигателя, так и средства антикоррозионной защиты его деталей. Как правило, подобные масла имеют более низкие показатели антикоррозионной стойкости, чем специальные консервационные масла, но их использование позволяет облегчить обслуживание техники, так как они совмещают функции рабочего и консервационного масел и используются при хранении и эксплуатации.

В качестве присадок могут применяться различные поверхностно-активные вещества (ПАВ). Эти вещества способны изменять поверхностную

энергию, значительно влияя на различные процессы, протекающие на границе раздела фаз [7].

В консервационных и рабоче-консервационных материалах применяют широкий круг маслорастворимых ПАВ: окисленные и нитрованные нефтепродукты, синтетические и нефтяные сульфонаты, жирные кислоты, высшие спирты, сложные эфиры, продукты на основе малеинового ангидрида, алкилированные амины, амиды, имиды и другие органические соединения [8].

Рабоче-консервационные масла обладают достаточными противоизносными, противозадирными и антикоррозионными свойствами, что характеризует их высокую степень защитной эффективности.

Для сравнения представлены результаты испытаний, приведенных в работах [9, 10], с применением базовых масел MANOL TS-5, М-8В и ТМ-5-18, а также смеси масел с 10 % присадок в виде ингибиторов коррозии АКОР-1 и Телаз-ЛС.

Антикоррозионная присадка АКОР-1 производится на основе нитрованного масла М-8 или М-11, обработанного оксидом кальция. Она эффективно улучшает противокоррозионные свойства моторных и трансмиссионных масел. Применяется, как правило, при производстве рабоче-консервационных масел путем добавления 5...10 % присадок, также может использоваться в дизельном топливе (3,5 %). При наружном применении для внешней антикоррозионной защиты техники при хранении в помещении и под навесом концентрацию АКОР-1 в консервационном смазочном материале увеличивают до 20 %.

Процесс получения состоит из следующих стадий: нитрование масла 98 %-й азотной кислотой, смешение полупродукта с 90 %-й стеариновой кислотой, нейтрализация смеси оксидом кальция, сушка и центрифугирование полученной присадки [11].

Ингибитор коррозии Телаз-ЛС представляет собой продукт конденсации карбоновых кислот с этаноламинами. В процессе его синтеза используются карбоновые кислоты с углеводородными или перфторированными радикалами. Радикалы участвуют в формировании гидрофобной части молекулы.

В результате синтеза получаются органические соединения с асимметричной молекулярной структурой, содержащие гидрофобный радикал и гидрофильную часть [10].

Композиции, использованные в качестве сравнительного материала для первого эксперимента на основе моторного масла MANOL TS-5:

1) без доработок;
2) с присадкой Телаз-ЛС (10 %);
3) с присадкой АКОР-1 (10 %).

Для каждого выбранного состава были проведены опыты различными наработками: 0, 90 и 250 моточасов. Испытания проводились согласно ГОСТ 9.054 на стальных образцах в камере солевого тумана DYCOMETAL серии SSC, заводской № 2563/07, аттестат ФБУ "РОСТЕСТ-Москва" ФТ0015347. Было использовано по три образца для каждой смеси, а также три образца без защитного покрытия.

В результате анализа экспериментальных данных времени появления первых очагов коррозии и динамики ее развития было выявлено количество циклов между техническими обслуживаниями до начала появления коррозионных процессов. Результаты испытаний приведены в диаграммах (рис. 1 и 2).

Проанализировав графики, можно заметить, что присадка Телаз-ЛС дает более высокие показатели коррозионной стойкости и позволяет обеспечить защиту на протяжении наибольшего

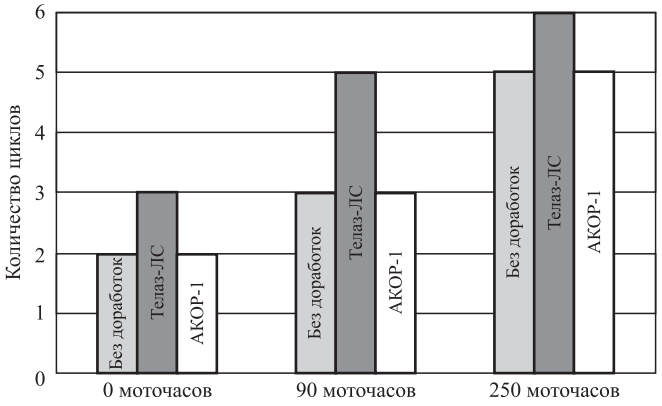


Рис. 1. Количество циклов до появления первых очагов коррозии

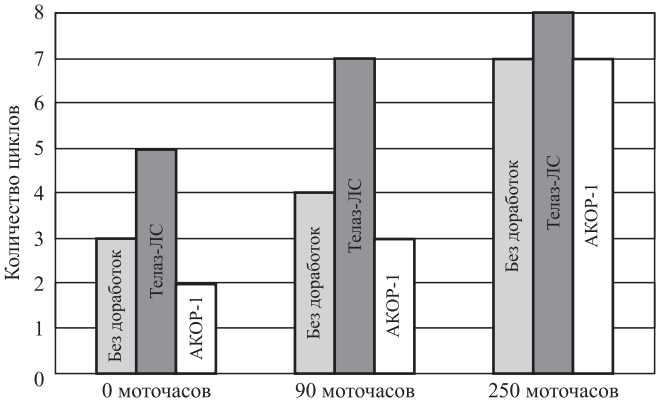


Рис. 2. Количество циклов, которое выдержало защитное покрытие

числа циклов, что является положительным эффектом его применения в составе рабоче-консервационного масла.

Для второго эксперимента для определения и сравнения антикоррозионных свойств композиций на основе моторного масла М-8В добавлены следующие ингибиторы коррозии:

1) присадка АКОР-1 (10 %);
2) присадка Телаз-ЛС (10 %).

Были проведены опыты в соответствии с ГОСТ 9.054—75. Суть испытания заключалась в том, что образцы металлических пластинок, покрытых исследуемым составом, были помещены в камеру с повышенной относительной влажностью воздуха и температуры с периодической конденсацией влаги на них. Результаты испытаний представлены на графике (рис. 3).

Данный эксперимент показывает преимущество использования присадки в Телаз-ЛС в условиях повышенной влажности, в том числе при непосредственной конденсации влаги на поверхности металла.

В качестве исследуемого консервационного материала для третьего эксперимента были взяты составы на основе трансмиссионного масла ТМ-5-18:

1) без доработок;
2) с присадкой АКОР-1 (10 %);
3) с присадкой Телаз-ЛС (10 %).

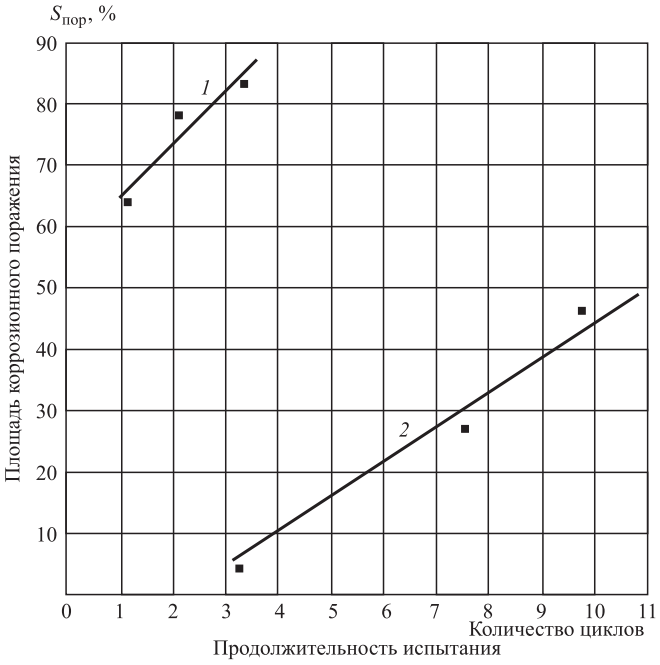


Рис. 3. Сравнительная оценка эффективности ингибиторов коррозии в составе рабоче-консервационных материалов

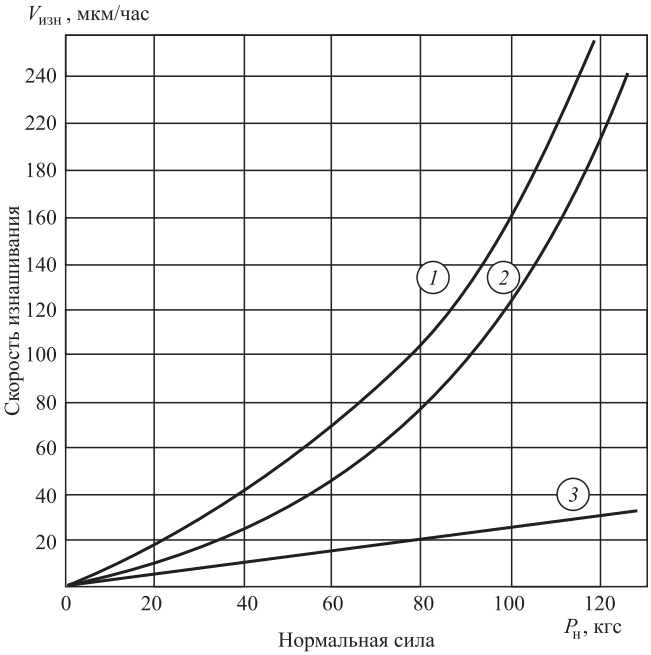


Рис. 4. Зависимость скорости изнашивания пар трения от величины нормальной силы в масляной среде

Эксперимент проводился на роликовой испытательной установке. Данная установка осуществляет контакт сопряженных поверхностей ролика и колодки, помещенной в емкость, с некоторой устанавливаемой нормальной силой. В итоге была выявлена зависимость скорости изнашивания от величины нормальной силы. Результат проведенного опыта представлен на графике (рис. 4).

Исходя из графика, можно заметить, что присадка Телаз-ЛС значительно превосходит АКОР-1 по защитным свойствам и многократно понижает скорость изнашивания. АКОР-1, в свою очередь, незначительно изменяет скорость изнашивания по сравнению с применением трансмиссионного масла без присадок. По мере увеличения действия нормальных сил прослеживается повышение эффективности состава ТМ-5-18 + 10 % Телаз-ЛС в виде снижения $V_{изн}$ от 2 до 8 раз относительно масла без присадок и от 1,1 до 6 раз по сравнению со смазочной композицией ТМ5-18 + 10 % Акор-1.

Выводы

Рабоче-консервационные составы на основе серийных моторных и трансмиссионного масел с добавлением маслорастворимых ингибиторов коррозии являются перспективными материалами для противокоррозионной защиты техники в нерабочий период. Исследования [9, 10] пока-

зывают, что в качестве маслорастворимого ингибитора коррозии имеет место применение ингибитора коррозии Телаз-ЛС. Данная присадка зарекомендовала себя как наиболее эффективная и показала наилучшие результаты по исследуемым параметрам. Ее применение позволяет увеличить количество циклов до появления первых очагов коррозии и циклов, которые выдерживает защитное покрытие, а также снизить скорость изнашивания поверхностей, наиболее подверженных коррозии. Состав, содержащий эту присадку, имеет более высокие противоизносные свойства, что является значительным преимуществом перед составом с АКОР-1, который имеет худшие показатели. Применение ингибитора коррозии ТЕЛАЗЛС способствует увеличению надежности и срока службы, значительно увеличивая антикоррозионную эффективность, что и позволяет производить и применять рабоче-консервационные масла на его основе.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Миронов Е. Б., Косолапов В. В., Тарукин Е. М., Маслов М. М.** Оценка консервационных материалов для защиты от коррозии рабочих органов сельскохозяйственной техники // Вестник НГИЭИ. — 2015. — № 8 (51) — С. 45—57.
2. **Гайдар С. М., Карелина М. Ю., Пыдрин А. В., Петровский Д. И., Петровская Е. А., Быков Е. В., Быков К. В., Голубев М. И., Шлыков А. Е.** Ингибитор коррозии металлов // Патент на изобретение RUS 2597442. — 2015.
3. **Карелина М. Ю., Петровская Е. А., Пыдрин А. В.** Оптимизация ингибированного состава для обеспечения сохраняемости сельскохозяйственных машин // Труды ГОСНИТИ. — 2015. — Т. 121. — С. 89—93.
4. **Карелина М. Ю., Пыдрин А. В.** Оптимальный ингибированный состав для антикоррозионной обработки машин и оборудования АПК // Инновационные направления развития технологий и технических средств механизации сельского хозяйства: материалы международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию кафедры сельскохозяйственных машин агроинженерного факультета Воронежского государственного аграрного университета имени императора Петра I. — 2015. — С. 110—115.
5. **Карелина М. Ю., Гайдар С. М.** Инновационное техническое средство для нанесения защитной молекулярной пленки на поверхность машин // Техника и оборудование для села. — 2015. — № 3. — С. 26—28.
6. **Карелина М. Ю.** Концепция создания ингибиторов коррозии с использованием нанотехнологических подходов // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). — 2015. — № 3 (42). — С. 8—11.
7. **Пыдрин А. В., Посунько И. А., Лагузин А. Б.** Повышение износостойкости трибосопряжений двигателя внутреннего сгорания применением маслорастворимых полифункциональных добавок // Грузовик. — 2017. — № 12. — С. 16—18.
8. **Царюк Т. Я., Дребенкова И. В., Стригуцкий В. П.** Товарные присадки для минеральных масел — компоненты комбинированных ингибиторов коррозии // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В: Прикладные науки. Промышленность. — 2007. — № 8. — С. 129—32.
9. **Гайдар С. М., Пыдрин А. В., Карелина М. Ю.** Технология консервации автотракторных дизелей рабоче-консервационным составом // Техника и оборудование для села. — 2014. — № 12. — С. 18—23.
10. **Петровский Д. И., Петровская Е. А., Пыдрин А. В.** Разработка эффективных составов для защиты АПК от коррозии // Управление рисками в АПК. — 2016. — № 4. — С. 40—45.
11. **Карелина М. Ю., Петровская Е. А., Пыдрин А. В.** Трибохарактеристики смазочных композиций на основе трансмиссионного масла ТМ5-18 // Сельский механизатор. — 2015. — № 11. — С. 30—31.
12. **Гайдар С. М., Демина Л. Ю., Дмитревский А. Л., Петровская Е. А.** Полифункциональные ингибиторы биокоррозии — эффективное средство повышения сохраняемости машин в животноводстве // Техника и оборудование для села. — 2014. — № 4. — С. 26—29.

Тягачи для транспортной компании

Партия из десяти магистральных тягачей КАМАЗ-5490 NEO поставлена в адрес одного из крупнейших автомобильных перевозчиков России — транспортной компании "ТранКо".

По словам специалистов Торгово-финансовой компании "КАМАЗ", основными отличиями модели являются увеличенный топливный бак, увеличенная база, оптимальная развесовка по осям. Кроме того, покупатель может купить КАМАЗ-5490 NEO как с автоматической коробкой передач, так и с традиционной "механикой".

Поставщиком техники в сделке выступил официальный дилер ПАО "КАМАЗ" в Санкт-Петербурге — ООО "Автомобильная компания "Гранат".

Пресс-служба ПАО "КАМАЗ"

УДК 656.073.7

В. А. Демин, канд. техн. наук, доцент, Научно-образовательный центр инновационных технологий в логистике МАДИ

АКТУАЛИЗАЦИЯ РАЗРАБОТКИ МЕТОДОВ И МОДЕЛЕЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ГРУЗОВОГО АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА

В статье рассмотрены и актуализированы подходы к модернизации материально-технической и технологической базы предприятий транспортного комплекса на базе использования современной техники и информационных технологий при осуществлении логистических операций. Разработка и реализация методов и моделей функционирования грузового автомобильного транспорта в логистических системах с применением технологий автоматической идентификации приведет к созданию логистической инфраструктуры на качественно новом уровне, соответствующем требованиям интеллектуальных транспортных систем.

Ключевые слова: *модель, технология, грузовой автотранспорт, радиочастотная идентификация, логистическая система.*

In article approaches to modernization of material and technological base of the enterprises of a transport complex on the basis of use of the modern equipment and information technologies at implementation of logistic operations are considered and updated. Development and realization of methods and models of functioning of the cargo motor transport with use of technologies of automatic identification will bring in logistics systems to creation of logistic infrastructure at qualitatively new level conforming to requirements of the intellectual transport systems.

Keywords: *model, technology, freight vehicles, radio-frequency identification, logistics system.*

В современных условиях устойчивое развитие экономики России, ее регионов, крупных городов требует оптимизации логистических затрат на полном жизненном цикле продукции в процессах производства, хранения, транспортировки, сбыта, эксплуатации, послепродажного обслуживания и утилизации. Решение данной задачи невозможно без модернизации материально-технической и технологической базы предприятий, использования современной техники и информационных технологий при осуществлении большинства логистических операций. Создание логистической инфраструктуры на качественно новом уровне связано с необходимостью совершенствования интеграционных процессов с использованием технологий интеллектуальных транспортных систем (ИТС), включая системы автоматической идентификации [4].

В настоящее время Россия, по данным исследования, проводимого Всемирным банком, занимает 97-е место (из 155 стран) по уровню эффективности логистических систем. В России в структуре стоимости конечного продукта логистические затраты составляют 35—40 % и 18 % ВВП, что в 1,7—1,8 раза выше, чем в странах ЕС. Снижение указанных затрат возможно не менее чем на 3—5 % (что составит около 3,7 трлн руб.) при повышении качества обслуживания потребителей благодаря применению технологий автоматической идентификации в транспортно-логистических системах (ТЛС), вопросы применения которой являются объектом прикладного научного исследования.

Значимость ТЛС Российской Федерации определяется не только ее показателями в экономике, но и способностью оказывать влияние и на другие сферы деятельности. При этом в ТЛС Российской Федерации на сегодняшний день сформировался значительный перечень проблем, без решения которых невозможно эффективное функционирование хозяйствующих субъектов. В результате несоответствия транспортной инфраструктуры спросу на перевозки, отсутствия системы планирования и управления транспортными потоками возникают простои на основных транспортных магистралях, а скорость движения снижена на 50—70 % по сравнению с показателями стран ЕС. Анализируя транспортные проблемы страны, можно сделать вывод, что они связаны прежде всего с низкой пропускной способностью транспортно-логистических систем регионов и страны в целом, которая обусловливается высокой нагрузкой на транспортную инфраструктуру вследствие хаотичного формирования терминально-складских и грузообразующих объектов на территории страны.

По результатам исследования грузопотоков, проведенного в 2013 г. в рамках разработки Стратегического плана организации движения грузового транспорта в Москве Департаментом транспорта и

развития дорожно-транспортной инфраструктуры г. Москвы, средняя загрузка грузового автомобильного транспорта составляет 24 %, что является рекордно низким показателем по сравнению с другими крупными мегаполисами (в мегаполисах развитых стран данный показатель не менее 47 %) [5].

Особое значение в транспортно-логистической системе страны имеет функционирование грузового автомобильного транспорта, доля которого в общем объеме грузовых перевозок составляет более 60 %. Кроме того, технологические особенности функционирования автомобильного транспорта, выраженные в возможности гибкой доставки "от двери до двери", формируют стратегическую важность данного вида транспорта в логистических системах [7]. При этом в функционировании грузового автомобильного транспорта сложились проблемы, без решения которых невозможно дальнейшее эффективное развитие таких секторов российской экономики, как промышленность и торговля. Так, коэффициент использования полезного времени грузовых автомобилей во внутригородских перевозках составляет 0,57. Это означает, что из общего времени работы транспорта (за вычетом времени, необходимого на ТО и ремонт) 43 % занимают погрузо-разгрузочные работы и время ожидания обслуживания. Данная ситуация обусловлена низким уровнем складской инфраструктуры. Из общего объема складов в России только 4 % обеспечивают возможность одноэтапного (скоростного) выполнения погрузо-разгрузочных работ с автомобильным транспортом. Технологические проблемы использования грузового автомобильного транспорта также оказывают существенное влияние на формирование данного показателя: более 80 % автомобилей большой грузоподъемности, используемых в России для перевозки тарно-штучных грузов, не имеют возможности оперативного отделения тягача от прицепа с целью производства погрузо-разгрузочных работ только прицепа и освобождения тягача для выполнения дальнейшей перевозки.

Индекс удельной транспортной работы при доставке продукции в России превышает показатели наиболее развитых регионов в странах ЕС в 1,7 раза в связи с неэффективной системой распределения грузопотоков при доставке продукции. Такая ситуация обусловлена следующими факторами: дефицитом качественной инфраструктуры по соответствующим транспортным направлениям (складов и терминалов), отсутствием информации о грузопотоках и, как следствие, неэффективной системой распределения грузопотоков при доставке продукции из Юго-Восточной Азии в регионы Российской Федерации. Так, например, груз, доставляемый железнодорожным транспортом из КНР в Москву, попадает через 1—2 месяца в Забайкалье, в том числе с использованием грузового автомобильного транспорта. Таким образом, при одинаковом объеме доставляемой продукции транспортная работа увеличивается в 1,5—1,7 раза вследствие увеличения расстояния доставки. Более 80 % подвижного состава (грузовой автомобильный транспорт), следующего по направлению из Сибирского и Дальневосточного федеральных округов, не имеют загрузки. Данная ситуация обусловлена как существующей системой производства и распределения продукции, так и технологическими проблемами. К последним относятся: отсутствие качественной логистической инфраструктуры, позволяющей осуществлять переформирование грузовых потоков в регионах, а также низкий технологический уровень используемого подвижного состава (например, крайне редкое применение кузовов транспортных средств с конструкцией "double decker") [2].

Все вышеизложенные проблемы приводят к тому, что при стоимости топливно-смазочных материалов и величине фонда оплаты труда в 2—3 меньшей, чем в странах Центральной и Западной Европы, тарифы на перевозку грузов автомобильным транспортом в России превышают тарифы в ЕС, что, в свою очередь, обусловливает завышенную стоимость любой продукции, производимой или реализуемой на территории нашей страны.

Анализ современных тенденций развития функционирования грузового автомобильного транспорта позволяет выделить приоритетные направления, эффективность реализации которых доказана успешным опытом внедрения в ряде развитых стран.

1. Инфраструктурная модернизация, к которой относится повышение удельной плотности сети автомобильных дорог, улучшение качества дорожного покрытия, оборудование дорожной сети, позволяющие снизить аварийность и повысить скорость движения.

2. Интеллектуальные транспортные системы, позволяющие осуществлять синхронизированное управление транспортными потоками.

3. Технологические инновации, к которым относятся разработка и использование новых моделей транспортных средств, позволяющих повысить эффективность перевозочного процесса; технологии высокоскоростного выполнения стыковых операций на транспорте (погрузо-разгрузочные работы, контрольные процедуры и др.).

Результаты технико-экономического анализа представленных направлений [1] показывают, что объем финансирования для реализации такого направления, как инфраструктурная модернизация, сопоставим с бюджетами ряда регионов и реализуется в течение 8—10 лет. При этом проблемы в транспортной отрасли, обозначенные выше, требуют немедленного решения и с привлечением инвестиций, доступных для региона и страны в целом. Это, прежде всего, внедрение интеллектуальных систем управления, контроля и прогнозирования, а также технологические решения, позволяющие обеспечить минимальное время выполнения стыковых операций.

Решение задачи по повышению эффективности функционирования автомобильного грузового транспорта в логистических системах с помощью средств автоматической идентификации позволит значительно снизить ресурсопотребление в транспортной отрасли и наносимый ей экологический ущерб вследствие сокращения пробегов и непроизводительных простоев автомобилей при выполнении ими большего объема транспортной работы.

В настоящее время большинство инновационных технологических решений на автомобильном грузовом транспорте разрабатываются и производятся (на уровне техники, оборудования и систем управления) в таких странах, как ФРГ, Швеция, США, Япония и др. Разработка и производство российскими предприятиями технологических решений занимают незначительную долю на российском и мировом рынке. Это обусловлено низким уровнем финансирования направления "исследования и развитие", а также длительным циклом вывода на рынок разработанного решения. При этом себестоимость российских аналогов технологического оборудования, например, в такой области, как автоматическая идентификация, в 7—8 раз ниже, чем себестоимость аналогичного оборудования производства указанных стран. При наличии даже столь положительного фактора необходимо отметить, что технологическое разнообразие наших конечных продуктов уступает аналогам, произведенным в западных странах, а это, в свою очередь, обусловливает низкий уровень спроса на отечественную продукцию как не обеспечивающую решение всех задач в отрасли. В условиях высокой зависимости от технологий зарубежного производства, необходимых для эффективного функционирования автотранспортного сектора, актуальность отечественных разработок и производства крайне важна для осуществления импортозамещения на требуемом уровне [2, 3].

Сейчас разработаны различные технологии, относящиеся к классу автоматической идентификации, которые могут быть использованы для повышения эффективности функционирования грузового автомобильного транспорта в логистических системах. Однако эффективность применения данных решений находится на низком уровне в связи с рядом локальных недостатков в самих технологиях и отсутствием методов и моделей, позволяющих осуществлять интеграцию технических средств и процессов. Существующие методы и модели функционирования автомобильного грузового транспорта в логистических системах, разработанные за рубежом, не учитывают особенности сложившейся структуры распределения материальных потоков, особенностей транспортной системы, инфраструктуры и географических условий Российской Федерации. Кроме того, технические средства, разработанные и используемые за рубежом, обладают рядом недостатков, которые в значительной степени снижают возможный эффект от внедрения результатов прикладного научного исследования. Настоящее исследование направлено, в том числе, на анализ данных недостатков и разработку подходов, которые позволят усовершенствовать существующие технологии или адаптировать зарубежные аналоги к российским условиям. Значительная часть исследований носит узкоспециализированную направленность, отвечает на вопросы относительно существующего состояния функционирования автомобильного грузового транспорта и содержит анализ уже широко распространенных методов оптимизации и технологий. В то же время проведены исследования по использованию автоматических технологий идентификации в различных отраслях экономики (медицина, фармакология, животноводство, лесная промышленность и др.), однако полномасштабные исследования по интеграции автоматических систем идентификации в работу автомобильного грузового транспорта отсутствуют. Этим обусловливается наличие значительной доли неустраненных недостатков в технических средствах, приводящих к снижению синергетического эффекта.

Решить перечисленные актуальные проблемы возможно, разрабатывая и внедряя в ТЛС методы и модели функционирования грузового автомобильного транспорта с применением технологий автоматической идентификации [6]. Автоматические технологии идентификации являются структурной частью ИТС, а ИТС, в свою очередь, является приоритетным направлением в развитии научно-технологической сферы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Бульба А. В., Демин В. А., Кутузов И. И.** Разработка оптимальной транспортно-складской системы компании, ее построение и оптимизация // Интегрированная логистика. — 2010. — № 1. — С. 5—11.
2. **Демин В. А.** Организация взаимодействия складских комплексов и грузового транспорта на примере Московского региона // ЛАП ЛАМБЕРТ Академик Паблишинг, Саарбрюкен, Германия, 2014 г.
3. **Демин В. А., Приходько М. В., Борщ В. В.** Развитие логистики в России в 2014 г.: современная ситуация, прогноз, ключевые задачи и приоритеты компаний // Логистика. — 2015. — № 3.
4. **Демин В. А., Яшина Ю. И.** Реализация концепции Just-in-time и системы Канбан при управлении товарными потоками крепежной продукции в автомобилестроительных компаниях // Логистика. — 2015. — № 4.
5. **Инвестиционная программа** Московской области "Развитие транспортно-логистической системы в Московской области в 2011—2015 годах".
6. **Национальный стандарт** Российской Федерации ГОСТ Р ИСО/МЭК 19762-3—2011 "Информационные технологии. Технологии автоматической идентификации и сбора данных (АИСД). Гармонизированный словарь. Часть 3. Радиочастотная идентификация (РЧИ)".
7. **Повышение эффективности** грузовых перевозок на основе создания устойчивой транспортно-логистической системы модульного типа для высокоскоростной обработки и доставки грузов. Серия "Инженерная логистика": монография / Л. Б. Миротин, А. Г. Некрасов, В. А. Гудков и др. Под общ. ред. Л. Б. Миротина и А. Г. Некрасова. — М.: Техполиграфцентр, 2013. — 232 с.

УДК 620.16

Т. Ю. Черепнина, доцент, e-mail: 2783974@gmail.com, **А. А. Кузнецов,** студент, e-mail: ak27.27@mail.ru, **А. С. Петров,** студент, Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), e-mail: mr.and2015@yandex.ru

ТЕХНОЛОГИИ ПОВЫШЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТРИБОСОПРЯЖЕНИЙ УЗЛОВ И ДЕТАЛЕЙ МАШИН ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

В данной статье представлены физико-химические методы повышения износостойкости, их классификация, а также применение пленки поверхностно-активных веществ и методы их нанесения на поверхность с целью повышения износостойкости узлов и деталей машин.

Ключевые слова: *поверхностно-активные вещества, трение, смазка, фторированные углеводородные радикалы, наномодифицирование, термофиксация.*

This article shows physical and chemical methods of improving wear resistance, their classification and ways to cover surfaces with film of surface-active substance to increase wear resistance of units and machine parts

Keywords: *surface-active substances, friction, lubrication, fluorinated hydrocarbon radicals, nano-modification, heat setting.*

Надежность и безотказность работы машины обусловлена, в большей степени, безотказностью работы подвижных соединений в агрегатах и механизмах машины. Однако она ограничена тем, что поверхность подвижных соединений подвержена износу, что сказывается на ресурсе их работы. Это вызывает необходимость уменьшить износ, для чего используют различные средства упрочнения поверхностей сопряжения и способы разделения этих поверхностей для предотвращения износа [1]. Повышение износостойкости узлов трения является одним из приоритетных направлений в решении задач повышения эффективности эксплуатации машин, увеличении их рабочего ресурса [2]. Одним из наиболее эффективных методов повышения износостойкости (упрочнения) является физико-химический метод [3].

Физико-химические методы можно разделить на классы:

1) создание износостойкой пленки на поверхности;

2) изменение химического состава поверхностного слоя;

3) изменение энергетического запаса поверхностного слоя;

4) формирование мономолекулярной пленки на поверхности за счет адсорбции органических соединений с дифильными молекулами [1].

Классификация этих методов представлена в таблице [3, 4].

Для разделения поверхностей трения в трибосопряжениях вводят различные смазочные среды. Толщина слоев смазки при этом должна исключать контакт вершины шероховатостей поверхностей и, следовательно, их износ. Это называют жидкостной смазкой.

Однако для того, чтобы обеспечить долговечность работы агрегатов, необходимо учитывать и случаи, когда они работают в экстремальных условиях. В этих условиях слой смазки уменьшается до 2,5...0,25 мкм, а давление становится очень высоким. Это приводит к тому, что вязкость масла в точке контакта становится близкой к вязкости смолы [3]. Такую область смазки называют смазкой в тонком слое.

При условиях, когда нагрузка становится еще выше, скорость относительного перемещения поверхностей уменьшается, масляный слой становится настолько тонким, что неровности поверхностей начинают цепляться друг за друга. В таких условиях существование масляной пленки становится невозможным, она разрушается [3].

Для предотвращения непосредственного контакта поверхностей используются пленки поверхностно-активных веществ (ПАВ) [5]. Триботехнические препараты на основе наноматериалов

Класс	Метод	Процесс
1	Осаждение химической реакцией	Оксидирование, сульфидирование, фосфатирование, нанесение смазочного материала, осаждение из газовой среды
	Электролитическое осаждение	Хромирование, никелирование, электрофорез, никельфосфатирование, борирование, бромхромирование, хромофосфатирование
	Осаждение твердых остатков из паров	Электроискровое легирование, термическое испарение тугоплавких соединений, катодно-ионная бомбардировка, прямое электронно-лучевое испарение, электрохимическое испарение
	Напыление износостойких химических соединений	Плазменное напыление порошковых материалов, детонационное напыление, электродуговое, лазерное
2	Диффузионное насыщение	Нитрооксидирование, нитроцементация, карбонитрация, карбохромирование, азотирование, хромоазотирование, хромотитанирование, хромосилицирование, борирование, цианирование, сульфоцианирование, диффузионное хромирование, диффузионное никелирование, циркосилицирование, бороциркование, легирование маломощными пучками ионов
3	Обработка в магнитном поле	Электроферромагнитная обработка, обработка в импульсном магнитном поле
4	Наномодификация	Холодное наномодифицирование с последующей сушкой, холодное наномодифицирование с последующей термофиксацией, горячее наномодифицирование, наномодификация через рабочую среду

значительно улучшают эксплуатационные характеристики агрегатов [6].

Молекулы этих веществ имеют дифильную структуру: гидрофобная часть — углеводородный радикал и гидрофильная часть (полярная группа) той или иной природы. Полярная группа взаимодействует с неровностями поверхностей и "магнитится" к ним. Таким образом молекулы ПАВ адсорбируются на поверхности и создают защитную мономолекулярную пленку толщиной 3...6 нм.

Также для создания защитной пленки используют поверхностно-активные вещества, содержащие фторированные углеводородные радикалы (фтор-ПАВ). Они обладают большей поверхностной активностью, чем ПАВ, содержащие углеводородные радикалы, следовательно, пленки из фтор-ПАВ обладают большей прочностью [1].

Существуют разные методы нанесения ПАВ на поверхность:

1) холодное наномодифицирование — погружение детали в раствор ПАВ, тампонирование и аэрозольное распыление;

2) горячее наномодифицирование — обработка поверхностей в кипящем растворе ПАВ;

3) наномодифицирование через рабочую среду — введение определенного количества ПАВ в виде водных или масляных эмульсий [3].

Для нанесения ПАВ могут применяться специальные распылители, учитывающие геометрию поверхности, например труднодоступность некоторых поверхностей для нанесения ПАВ [7].

Холодному наномодифицированию свойственна последующая сушка или термофиксация. Сушка проводится при нормальной температуре в течение 3...6 ч. Термофиксация производится при температуре 100...150 °С в течение 10...15 ч.

Также холодному и горячему наномодифицированию обязательно предшествует очистка поверхностей, обезжиривание и т.д., так как наномодификации подвергается только чистая поверхность материала [8].

При сравнении результатов холодной и горячей наномодификации было обнаружено, что при холодной наномодификации и последующей сушке, мономолекулярная защитная пленка (МЗП) была неравномерной и отсутствовала на не покрытых раствором частях детали. При холодной наномодификации и последующей термофиксации МЗП имела равномерную структуру и распространилась на заведомо непокрытые участки поверхности. При горячей наномодификации результат был как при холодной и термофиксации, но расход раствора был в разы меньше (100 г/м^2 при холодной и 30 г/м^2 при горячей).

При испытании трибосопряжения на противоизносные и антифрикционные свойства в среде: масла ТМ-5-18, раствора углеводородного ПАВ в масле ТМ-5-18, смеси фтор-ПАВ и масла ТМ-5-18 выяснились следующие закономерности [3].

Скорость изнашивания наномодифицированного образца более чем в 10 раз ниже, чем у немодифицированного, а коэффициент трения меньше на 30 %. Трибосопряжение представляет собой тороидальный резервуар, наполненный маслом или смесью масла и присадки.

При исследовании влияния ПАВ на поверхностный слой материала выявлено, что распределение дислокаций на поверхности материала до и после наномодифицирования не изменилось. Также после испытания на трение у наномодифицированных образцов фрагментация структуры и искаженность кристалла решетки оказались ниже чем в немодифицированных. Дифракционное исследование показало, что дифракционный контраст исходных образцов и образцов с МЗП идентичен. Это позволяет предположить, что механические свойства материала и структура не изменяются, что подтверждается данными по твердости и микротвердости [1].

Таким образом, использование ПАВ способствует решению многих проблем надежности и долговечности работы агрегатов. Также технология наномодификации не требует больших затрат, проста в освоении. Может применяться как при производстве, так и при эксплуатации для уменьшения износа в уже произведенных агрегатах и механизмах. Имеющиеся разработки в области химического состава ПАВ, технологий нанесения, установки, обеспечивающие равномерность распределения пленки, позволяют рассматривать повышение износостойкости поверхностей трибосопряжений узлов и деталей машин физико-химическим методом как одно из наиболее перспективных направлений в решении задач по повышению эффективности эксплуатации машин, увеличению их рабочего ресурса.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Карелина М. Ю.** Механизм действия поверхностно-активных веществ на границах раздела фаз в условиях граничного и гидродинамического трения // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). — 2015. — № 4 (43). — С. 25—33.
2. **Гайдар С. М., Карелина М. Ю., Петровская Е. А., Зиятдинов Э. А.** Повышение износостойкости узлов трения // Труды ГОСНИТИ. — 2016. — Т. 122. — С. 40—47.
3. **Карелина М. Ю.** Повышение износостойкости поверхностей трибосопряжений физико-химическим методом // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. — 2015. — № 1(3). — С. 6.
4. **Технологические процессы** повышения работоспособности металлорежущего инструмента: учеб. пособие / А. С. Верещака, В. В. Высоцкий, Б. Я. Мокрицкий, П. А. Саблин. — ФГБОУ ВПО "КнАГТУ", 2013. — 208 с.
5. **Гайдар С. М., Волков А. А., Карелина М. Ю.** Адсорбция фтор-ПАВ и ее влияние на смазку трибосопряжений в условиях граничного и гидродинамического трения // Труды ГОСНИТИ. — 2015. — Т. 118. — С. 113—124.
6. **Карелина М. Ю., Гайдар С. М.** Исследование эффективности триботехнических препаратов на основе наноматериалов // Грузовик. — 2015. — № 4. — С. 17—29.
7. **Гайдар С. М., Гайдар А. С., Карелина М. Ю., Жигарев В. Д.** Распылитель для нанесения полимерных антифрикционных покрытий // Патент России № 153764. — 2014.
8. **Гайдар С. М., Волков А. А., Карелина М. Ю.** Адсорбция фтор-ПАВ и ее влияние на смазку трибосопряжений в условиях граничного и гидродинамического трения // Труды ГОСНИТИ. — 2015. — № 118. — С. 113—124.
9. **Гайдар С. М.** Планирование и анализ эксперимента: учебник. — М.: изд-во ФГБНУ "Росинформагротех", 2015. — 548 с.

Помощь Воркутинским ТЭЦ

Производственная компания "ЧАЗ" завершила поставку комплектующих для дробильно-размольного оборудования для нужд ООО "Воркутинские ТЭЦ". В рамках заключенного договора было отгружено более 60 т литой продукции — била и билодержатели, которые применяются для измельчения каменного угля на ТЭЦ-1 и ТЭЦ-2, использующих уголь в качестве основного топлива.

Данная продукция была произведена на ПАО "Чебоксарский агрегатный завод" (ПАО "ЧАЗ") по эскизам и чертежам ООО "Воркутинские ТЭЦ" из износостойкой марганцовистой стали 110Г13Л и предназначена для работы в экстремальных условиях под высокими нагрузками и при повышенном механическом воздействии (ударные нагрузки).

Воркутинские ТЭЦ приобретают продукцию Чебоксарского агрегатного завода с 2014 г., отмечая стабильность поставок и высокое качество продукции. В планах ПК "ЧАЗ" расширить модельный ряд продукции, поставляемой в адрес ООО "Воркутинские ТЭЦ".

Производственная компания "ЧАЗ" является одним из ведущих поставщиков на рынке литейных и кузнечных заготовок для нужд российской промышленности и зарубежных предприятий. Компания реализует более 500 освоенных наименований изделий из марганцовистых сталей для дробильно-размольного оборудования и техники. Перечень номенклатуры регулярно обновляется и расширяется.

Пресс-служба ПАО "ЧАЗ"

УДК 621.7.022.6

Кудряшов Б. А., канд. техн. наук, профессор, e-mail: kafedra@tkm.madi.ru,
Атаманенко Н. В., ст. преподаватель, e-mail: natalia6807@mail.ru, **Деев Н. С.,** студент,
Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)

УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ОЧИСТКА ДЕТАЛЕЙ ГРУЗОВОГО АВТОМОБИЛЯ КАК ФАКТОР ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕМОНТНЫХ РАБОТ

В статье рассмотрены современные подходы, используемые для производства и внедрения ультразвуковых колебательных систем технологического назначения. Рассматриваются особенности процесса ультразвуковой очистки ответственных деталей автомобильных двигателей от загрязнений технологического и эксплуатационного характера. Очистка поверхности с помощью ультразвука относится к высокоэффективным и производительным способам очистки. В статье также даны рекомендации по технологии процесса ультразвуковой очистки в общем комплексе операций, связанных с обеспечением высокого качества чистоты поверхностей очищаемых деталей.

Ключевые слова: *качество, ультразвуковая очистка, технологические режимы, загрязнения, качество очистки, конструктивные особенности деталей, колебательные системы.*

The article deals with modern approaches used for the production and implementation of ultrasonic vibrating systems for technological purposes. Features of process of ultrasonic cleaning of responsible details of automobile engines from pollution of technological and operational character are considered. Surface cleaning with ultrasound refers to highly efficient and productive cleaning methods. The article also provides recommendations on the technology of the ultrasonic cleaning process in the General complex of operations related to ensuring high quality of the surfaces of the cleaned parts

Keywords: *quality, ultrasonic cleaning, technological modes, pollution, quality of cleaning, design features of details, oscillatory systems.*

(Рисунки на 4-й полосе обложки)

Качество — достаточно сложное понятие. По ИС08402-94 качество рассматривается как совокупность свойств и характеристик продукции или услуги, которые придают им способность удовлетворять обусловленные или предполагаемые потребности [1, 2].

Понятно, что обеспечение качества новой продукции при изготовлении — сложный процесс, который зависит от множества факторов. Но для большинства населения продукция, отслужившая определенный срок и выработавшая свой ресурс, по-прежнему востребована, с ней не желают расставаться, хотят, чтобы она еще поработала после ремонта. Это касается, в частности, автомобиля.

В этой ситуации встает вопрос о качестве ремонта автомобиля.

По мнению авторов, наибольший удельный вес по трудозатратам падает на разборочно-очистительные процессы. Разборка деталей и очистка от загрязнений — это не только технологические операции, определяющие возможность и необходимость ремонта, но в большинстве случаев совмещаемые технологические операции, эффективно решаемые на единой научно-методической и материальной основе [3, 5].

В общей схеме технологических процессов изготовления и ремонта автомобилей важное место занимают операции по удалению с поверхности деталей загрязнений технологического характера, связанных с технологией изготовления деталей, и эксплуатационных, образующихся на поверхности деталей в процессе их эксплуатации. Общеизвестно [7], что эксплуатационные загрязнения являются наиболее трудноудаляемыми, что связано с процессами горения топлива и трением соприкасающихся деталей, что в обоих случаях сопровождается высокотемпературной полимеризацией топлива и масел, приводящей к образованию нагаров, лаковых и других углеродистых отложений, обладающих высокими адгезионными и когезионными связями.

Очистка деталей, ответственных за экономические, энергетические и экологические показатели автомобилей, от технологических и эксплуата-

ционных загрязнений и сегодня представляет до конца не решенную проблему, что объясняется непрерывным повышением требований к качеству технологий изготовления, обслуживания и ремонта машин.

Известно [1], что ультразвуковая очистка деталей от загрязнений является одним из наиболее эффективных методов достижения требуемого уровня чистоты поверхности деталей.

Ультразвуковая очистка основана на ряде специфических физико-химических явлений, возникающих в жидкой среде при возбуждении в ней колебаний ультразвуковой частоты, как правило, соответствующей 18 000 Гц и выше. К таким эффектам, прежде всего, относят [10] кавитацию и акустические потоки разного масштаба, отличающиеся скоростью перемещения технологической жидкости и ее насыщенностью пузырьками различных размеров — от микронных до миллиметровых.

В общем случае механизм ультразвуковой очистки состоит в разрушении загрязнений, их отделении и уносе с поверхности деталей. Кавитация и акустические потоки возникают при возбуждении в технологической жидкости ультразвуковых колебаний одновременно и проявляют себя в комплексном воздействии как на изделия в целом, так и на загрязнения.

Как показывают многочисленные исследования [2, 4, 8, 9], эффективность ультразвуковой очистки в основном определяется:

1) ультразвуковым оборудованием и его акустическими характеристиками;

2) конструктивными особенностями очищаемых деталей;

3) видом загрязнения и его характеристиками;

4) используемыми технологическими жидкостями.

В предлагаемой работе рассматриваются в основном особенности ультразвуковой очистки деталей автомобилей, в наибольшей степени отвечающие за ее экономические, энергетические и экологические характеристики. Примеры таких деталей представлены на рис. 1: форсунки и распылители дизельных двигателей, инжекторы бензиновых двигателей, выпускные и впускные клапаны и др.

Большое значение для эффективности ультразвуковой очистки имеет выбор ультразвуковой колебательной системы (УЗКС). В практике предприятий как основного производства, так и ремонтно-восстановительных предприятий, участков, специализированных мастерских получили распространение УЗКС [3], представленные на рис. 2, где показаны стержневые колебательные системы (рис. 2, *а*), цилиндрические (рис. 2, *б*) и плоскостные (рис. 2, *в*).

Стержневые УЗКС являются одними из самых эффективных, поскольку их конструкция позволяет регулировать излучающую мощность в широких пределах — от 1...1,5 вт/см^2 до 50 вт/см^2 и выше. С точки зрения назначения оптимальных режимов такие УЗКС наиболее выгодны.

Их основной недостаток — относительно небольшая площадь рабочей поверхности излучателя.

Цилиндрические УЗКС обладают высокой удельной акустической мощностью. Их основной недостаток — сложность организации технологического процесса очистки, поскольку эффективная часть объема цилиндрической УЗКС располагается строго по центру рабочего цилиндра и необходимо перемешивание очищаемых объектов в объеме технологической жидкости, что недопустимо при обработке прецизионных изделий вследствие высокого риска повреждений поверхности деталей.

Плоскостные УЗКС (рис. 2, *в*) обладают преимуществами по производительности вследствие большой площади излучающей поверхности, но применение таких колебательных систем ограничивается неравномерностью амплитуды колебаний излучающей поверхности от 7...10 мкм в центре излучателя до 1...1,5 мкм на периферии.

Это обстоятельство не гарантирует равное высокое качество очистки деталей, размещенных в кассетах.

Учитывая опыт разработчиков ультразвуковых установок для очистки прецизионных деталей топливной аппаратуры [6], мы в своих исследованиях по подбору оптимальных режимов ультразвуковой очистки использовали в основном стержневые УЗКС. Такие УЗКС являются наиболее технологичными, поскольку позволяют не только регулировать излучаемую мощность в широких пределах, но благодаря сменяемости излучателя выбирать такие формы излучающей поверхности, которые позволяют приближать источник ультразвука в максимальной степени к объекту обработки (очистки).

При этом излучающая поверхность может копировать форму загрязненной поверхности деталей.

Важным технологическим приемом, позволяющим обеспечивать очистку нескольких деталей, размещенных в специальной кассете, является

возможность относительного перемещения УЗКС и деталей, что создает дополнительные условия по интенсификации процесса за счет активного перемешивания технологической жидкости и создания условий для выноса загрязнений из труднодоступных мест очищаемых деталей.

Конструктивные особенности ответственных деталей состоят, прежде всего, в сложной форме внутренних отверстий и полостей для подачи топлива и масел к рабочим поверхностям, которые характеризуются высокими требованиями к точности и шероховатости, вследствие чего такие детали относят к классу прецизионных (высокоточных).

Как уже упоминалось выше, большое влияние на продолжительность и качество ультразвуковой очистки оказывает вид загрязнений.

Условно принято разделять загрязнения на технологические и эксплуатационные. Технологические загрязнения образуются на поверхности деталей в процессе их изготовления в условиях основного производства — к таким загрязнениям относятся стружка, лаковые и углеродистые отложения. Эксплуатационные загрязнения являются наиболее трудноудаляемыми, и их очистка требует создания таких акустических режимов, при которых возникает мощная кавитация.

При ней загрязнения подвергаются значительным динамическим нагрузкам, возникающим от давлений при схлопывании кавитационных пузырьков, достигающих 1000 МПа и более.

Эффективность процесса ультразвуковой очистки во многом определяется также видом используемого моющего раствора или, как его еще называют, технологической жидкости. Характеристики очистки (скорость и качество) зависят от химического состава моющей композиции. При ультразвуковой очистке применяются как органические растворители, так и щелочные моющие средства, к которым добавляются поверхностно-активные вещества.

В качестве рабочих жидкостей широкое применение находят хлорированные углеводороды. Сочетание высокой растворяющей способности с пожаро- и взрывобезопасностью делает эти растворители эффективными при ультразвуковой очистке.

Наибольшее распространение на предприятиях нашли щелочные моющие растворы с добавками ПАВ. Преимущества, которые имеют щелочные моющие средства перед органическими растворителями, следующие:

1) низкая стоимость;

2) большая физическая и химическая стабильность;

3) моющая способность при малых концентрациях;

4) пожаробезопасность;

5) простота составления композиций.

Выводы

Анализируя влияние различных факторов на основные параметры ультразвуковой очистки, продолжительность процесса и качество очистки, мы приходим к выводу, что основными факторами являются:

1) амплитуда смещения излучателя УЗКС (определяется видом УЗКС), мкм;

2) вид технологической жидкости и концентрация химических компонентов в моющей жидкости, К, г/л;

3) температура моющего раствора (технологической жидкости), °С.

Оптимальные значения перечисленных факторов, как правило, определяются проведением многофакторного планирования эксперимента [5], получением математической модели процесса ультразвуковой очистки и на ее основе расчетом оптимальных значений факторов, определяющих оптимальные режимы ультразвуковой очистки:

— при очистке от эксплуатационных трудноудаляемых загрязнений $\xi = 12$ мкм; $t = 56{,}6$ °С и $K = 28{,}7$ г/л;

— при очистке от технологических загрязнений с относительно слабой адгезией $\xi = 37$ мкм; $t = 67$ °С; $K = 30$ г/л.

Необходимо отметить, что достижение заданных параметров ультразвуковой очистки в полной мере обеспечивается в том случае, если ультразвуковая очистка является не единственной технологической операцией, а частью комплексного технологического процесса, включающего и такие операции, как:

1) предварительное замачивание загрязненных деталей выполняется с целью удаления основной массы загрязнения, которая, как правило, обладает невысокой адгезией и когезией;

2) собственно операция ультразвуковой очистки;

3) пассивация (чрезвычайно важна для защиты очищенной поверхности от коррозии); эта операция может быть совмещена с операцией ультразвуковой очистки путем добавки в моющий раствор пассивирующих компонентов;

4) сушка с целью удаления с поверхности деталей остатков моющего и пассивирующего растворов.

Реализация комплексного технологического процесса зависит от требований, предъявляемых к основным параметрам ультразвуковой очистки, продолжительности и чистоты поверхности деталей, а также допустимых экономических затрат.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Коренькова Л. В., Козырь Н. С.** Основные проблемы российской металлургической промышленности // Актуальные вопросы экономических наук. — 2014. — № 39. — С. 107—112.
2. **Коваленко Н. В., Безновская В. В., Скороходова А. В.** Современные тенденции развития транспортного комплекса Российской Федерации // Международный технико-экономический журнал. — 2017. — № 3. — С. 25—31.
3. **Афанасиков Ю. И.** Проектирование моечно-очистного оборудования авторемонтных предприятий / Ю. И. Афанасиков. — М.: Транспорт, 1987. — 174 с.
4. **Кудряшов Б. А., Прусова В. И., Безновская В. В.** Учет технических решений при выполнении выпускной квалификационной работы экономиста // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. — 2018. — Т. 1, № 6. — С. 84—90.
5. **Иванова Т. Н., Приходько В. М., Панов А. П.** Из опыта разработки технологии и оборудования для ультразвуковой высокоамплитудной очистки // Оптимизация и интенсификация технологических процессов в приборостроении: тез. докл. науч.-техн. конф. — М.: МИНХ, 1978. — С. 18.
6. **Инновационные технологические процессы** с использованием ультразвука / В. М. Приходько, Р. И. Нигметзянов, С. К. Сундуков, Д. С. Фатюхин // Наукоемкие технологии в машиностроении. — 2017. — № 7 (73). — С. 11—14.
7. **Налимов В. В.** Статистические методы планирования экспериментов / В. В. Налимов, Н. А. Чернова. — М.: Наука, 1965. — 151 с.
8. **Панов А. П.** Ультразвуковая очистка прецизионных деталей / А. П. Панов. — М.: Машиностроение, 1984. — 88 с.
9. **Папок К. К., Виппер А. Б.** Нагары, лаковые отложения и осадки в автомобильных двигателях. — М.: Машгиз, 1956. — 156 с.
10. **Приходько В. М., Кудряшов Б. А., Багров И. В.** Опыт внедрения технологий и оборудования для ультразвуковой очистки в основном и ремонтном производстве // Международная научно-техническая конференция "Ультразвук в технологии машиностроения — 91". — Архангельск: Севмашвтуз, 1991. — С. 229—232.
11. **Приходько В. М.** Применение ультразвуковых колебаний для совершенствования разборочно-моечных операций при ремонте топливной аппаратуры автотракторных двигателей // Совершенствование технической эксплуатации автомобилей: сб. науч. тр. — М.: МАДИ, 1986. — С. 61—66.
12. **Приходько В. М.** Ультразвуковые технологии при производстве, эксплуатации и ремонте транспортной техники / В. М. Приходько. — М.: Техполиграфцентр, 2003. — С. 24.

ЧЕТРА на Кубе

Представители ООО ПК "ЧАЗ" приняли участие в 36-й Международной Гаванской выставке-ярмарке в г. Гаване. В российской экспозиции, организованной при поддержке Министерства промышленности и торговли РФ, представлены около двух десятков компаний из разных секторов экономики, в том числе бренд "ЧЕТРА", стенд которого уже в первые дни работы выставки привлек большое внимание гостей.

"Куба всегда занимала особое место во внешнеэкономических связях с Россией. Она является одной из перспективных стран Латинской Америки и Карибского бассейна, обладая огромным потенциалом для взаимодействия в различных отраслях. Мы уверены, что результатом нашего участия в FIHAV и проведенных на ее площадках переговоров и презентаций станут долгосрочные проекты с компаниями региона, работающими в области энергетики, промышленности и транспортной инфраструктуры", — комментирует генеральный директор ООО "ПК "ЧАЗ" Владимир Антонов.

FIHAV — крупный торгово-промышленный форум на Кубе и в Карибском регионе, а также один из самых представительных в Латинской Америке. Выставка проводится с 1983 г. при содействии Министерства внешней торговли и иностранных инвестиций и Торговой палаты Кубы.

Пресс-служба компании ЧЕТРА

УДК 621.8

А. Б. Бекетов, канд. техн. наук, доцент, e-mail: beketovandrew@mail.ru,
А. Г. Цупиков, студент, e-mail: andrew.tsupickov@yandex.ru, **А. С. Стародумов,** студент,
Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ),
e-mail: starodumov_1997@mail.ru

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ КОВША ЭКСКАВАТОРА

Рассмотрены наиболее известные методы повышения износостойкости ковша. Проведен сравнительный анализ результатов. Предложен оптимальный метод упрочнения.

Ключевые слова: *долговечность, методы упрочнения, ковш экскаватора, износостойкость.*

Considered the most well-known methods of improving the wear resistance of the ladle by various methods. A comparative analysis of the results. An optimal hardening method is proposed.

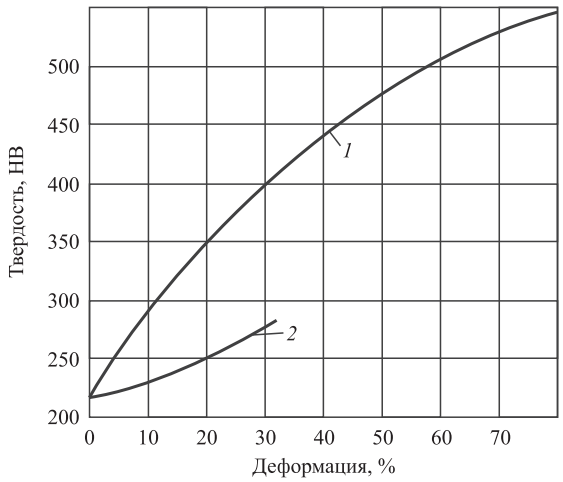
Keywords: *durability, hardening methods, excavator ladle, wear resistance.*

Для увеличения срока службы экскаватора необходимо обеспечить ресурс работы ковша, сравнимый с ресурсами других агрегатов различного вида. Существуют конструкторские решения, экспериментально-расчетные методы оценки долговечности узлов и деталей машин при многоцикловом нагружении, позволяющие создать более прочную конструкцию [1]. При проектировании агрегата используются технологии и алгоритмы прогнозирования и мониторинга ресурса механических систем [2]. Наряду с созданием конструкции с заданными прочностными характеристиками, применяются технологии упрочнения готового изделия, в том числе импортозамещающие технологии упрочнения рабочего оборудования строительных и дорожных машин [3].

Особого упрочнения требует рабочий орган, особенно его наружные боковые поверхности, которые больше всего подвержены трению и удару. Часто практикуемое применение дополнительных листов увеличивает срок его службы, тем самым позволяет избежать внепланового длительного простоя экскаватора во время ремонта рабочего оборудования.

Различные элементы ковша можно предохранить от истирающего и ударного видов износа с помощью наварных балок, которые отлиты из стали HARDOX 500, с высокой твердостью 49 HRC [4]. Для усовершенствования режущей кромки ковша наиболее подходящей является сталь HARDOX HiTuf твердостью 350 HBW, имеющая необходимое сочетание свойств прочность/ударная вязкость. Внутренняя поверхность стенок ковша подвержена наибольшему износу [5]. Защитный каркас состоит из пластин HARDOX(550) или HARDOX(500), которые наварены и способны защитить стенки от преждевременного износа. Эти полосы могут быть выполнены внахлест, чтобы избежать больших зазоров. Для сохранения сварных швов (обычно при наполнении ковша твердой породой) применяется сварка в пазах [6].

По графику можно увидеть, что даже при деформации 20 % твердость по Бринеллю у стали 110Г13Л (350 HB) выше приблизительно в 1,4 раза по сравнению со сталью 40 (250 HB). И при увеличении деформации эта разница в твердости будет увеличиваться между сталями.



Влияние степени пластической деформации на твердость стали 110Г13Л (1) по сравнению со сталью 40 (2) [6]

Зубья ковшей карьерных экскаваторов обычно изготавливают из стали Гадфильда, обладающей одновременно вязкостью и износостойкостью. Пластичный сплав долгое время не имеет конкурентов по изнашиванию и может работать в экстремальных условиях с ударными нагрузками, показывая высокие характеристики работоспособности изделий из данной марки стали, при 58 HRC. Эту сталь используют и для восстановления размеров с помощью наплавки с последующим упрочнением, например низколегированными хромоуглеродистыми сплавами.

Для повышения стойкости к истиранию рекомендуется использовать армирующую наплавку рабочих поверхностей, в частности межзубовых расстояний с помощью карбидохромовых и карбидовольфрамовых материалов (до 56 HRC). Помимо этого, сама конструкция должна обеспечивать необходимый уровень несущей способности зубьев. Применяются и другие методы восстановления зубьев. Например, метод электрошлаковой наплавки (до 45 HRC) с последующим упрочнением передней поверхности путем наплавки порошковой проволокой (до 50...52 HRC). В этом случае сама наплавка происходит не сплошным слоем, а точками с определенными диаметрами (30...40 мм). У этого метода есть свои минусы, в частности получается недостаточная толщина наплавляемого слоя. Кроме этого, последовательное выполнение этих операций приводит к повышению себестоимости [7].

Лазерная сварка не образует шов на свариваемых поверхностях [8]. Вследствие того, что участок воздействия температуры при сварке лазером очень мал, осуществляется сварка элементов с расположенными в непосредственной близости различных изделий из керамики, технических камней, стекла, что не имеет значения, так как ковш состоит в основном из высоколегированных сталей. Локальность сварки лазерным лучом применяют для сварки закаленных изделий без опасности снижения твердости в околосварочных поверхностях [9]. Так, например, у изделия, твердость которого после термообработки была HRC 59, после сварки отмечалось снижение твердости до HRC 47 на расстоянии около 0,20...0,25 мм от шва.

В процессе использования методов аргонодуговой и электронной лучевой сварки наибольшая эффективность получена в импульсном режиме. Луч проникает сквозь металл, на обратной стороне имеется собирательное зеркало, отраженный луч от которого нагревает металл, что повышает качество провара. Возможны два варианта: деталь быстро перемещают, чтобы соединение свариваемых поверхностей произошло за один цикл работы инструмента; прочное соединение получают за несколько импульсов, так как нужно перекрыть соседние места соединений. Это гарантирует качество обработки. Данный способ используют чаще, так как он наиболее эффективен, а операцию можно выполнять более одного раза. У современных лазеров есть особенность: множество импульсов за короткий промежуток времени (до 10 в с). Недостатком такой сварки является необходимость наличия на предприятии аппаратов соответствующей мощности для качественной сварки и малая глубина соединения поверхностей.

Большинство металлических изделий, работающих при постоянном трении и испытывающих нагрузки, которые ведут к появлению отверстий природного характера, нуждаются в упрочнении. Поверхность изделий должна обладать достаточной пластичностью сердцевины и высокой прочностью. Закалка позволяет добиться нужных параметров.

Главными видами упрочнения сейчас являются химико-термическая обработка и закалка. Поверхностное упрочнение металлов производят в отношении многих деталей, в том числе зубьев ковша экскаватора. Например, закалка токами высокой частоты (ТВЧ) является одним из распространенных методов [10]. При его использовании обработке подвергается только наружный слой, а металл внутри детали не подвергается перепадам температур и сохраняет свои изначальные характеристики. У этого метода есть весомые недостатки. В большинстве случаев невозможно получить равномерную толщину закаленного слоя. Но при этом закалка позволяет заменить легированные стали более дешевыми углеродистыми. А вследствие более стабильных результатов при данной термической обработке уменьшается количество брака, что дает возможность получить дополнительный экономический эффект. Основным достоинством закалки ТВЧ является выделение теплоты в металле. Метод автоматизирован, что уменьшает количество персонала, обеспечивающего контроль рабочего процесса. Преимуществом закалки ТВЧ является также четкое соблюдение необходимых технических параметров. Автоматизированное программное обеспечение, которым оснащена установка, контролирует температурные режимы, время выдержки и способ охлаждения [11]. Индукционный нагрев оказы-

вает положительное воздействие на поверхность металла, упрочняя внешний слой и защищая его от внешних негативных воздействий.

Одним из наиболее эффективных технологических способов повышения износостойкости изделий из аустенитной износостойкой стали является криогенное упрочнение. Его применение позволяет увеличить теплопроводность и твердость, уменьшить коэффициент трения, увеличивая износостойкость [12]. Криогенное упрочнение достигается применением метода под названием криогенный бластинг. Этот способ имеет схожесть с пескоструйной обработкой, так как сухой лед поступает на поверхность с огромной скоростью (близкой к скорости звука), создавая на ней мини-взрывы и зачищая поверхность от любых инородных химических соединений, не входящих в состав сплава. Вследствие пониженного давления в пистолете гранулы сухого льда плавно засасываются в пистолет, где они получают ускорение до 300 м/с и с потоком сжатого воздуха распыляются на поверхность. Затем слой загрязнения подвергается охлаждению (−79 °С), при этом становится хрупким и отделяется от поверхности, что сохраняет сплав в неприкосновенности.

В отличие от метода, рассмотренного выше, при напылении расплавленные частицы материала будущего покрытия направляются на поверхность нагретой заготовки. При соударении с поверхностью частица деформируется, обеспечивая хороший физический контакт с деталью [13]. Достоинствами этого метода являются улучшение почти всех характеристик металла. У напыления есть и свои минусы, такие как достаточно высокая стоимость оборудования и материала. Наиболее перспективным является газотермическое напыление (не менее 60 HRC). Это процесс нагрева материала газовыми потоками для формирования слоя необходимой толщины. Газотермическое напыление очень похоже на сварку, хотя его целью являются защита поверхности от износа или коррозии. На практике мы можем увидеть, что износ зубьев происходит неравномерно. А чтобы добиться равномерного износа, логичнее напылять только на нижнюю часть зуба [13]. При этом увеличивается время эксплуатации. Термомеханический способ работы является одним из новых способов обработки стали. Этот метод состоит из операций, которые сочетают пластический способ деформирования материала с термическим воздействием на него. Эта же обработка считается одним из способов повышения уровня механических характеристик (таблица).

Сравнительные характеристики твердости металлов и методов упрочнения

Наименование	Твердость
HARDOX 500	До 49 HRC
HARDOX HiTuf	До 350 HBW
110Г13Л	До 58 HRC
Наплавка карбидохромовых и карбидовольфрамовых материалов	До 56 HRC
Метод электрошлаковой наплавки	До 45 HRC
Наплавка порошковой проволокой	До 50—52 HRC
Газотермическое напыление	Не менее 60 HRC обрабатываемой поверхности

По таблице мы можем сравнить показатели твердости методов упрочнения (восстановления). При переводе значения "твердость" HARDOX HiTuf (HBW 350) в систему измерения по Роквеллу (HRC) получим приблизительную твердость HRC 38. То есть оптимальным методом упрочнения по характеристике "твердость" является газотермическое напыление и восстановление сталью 110Г13Л. При сравнении результатов упрочнения различными методами можно выявить у некоторых из них весомые достоинства по сравнению с другими. Так, например, по стоимости материала закалка ТВЧ позволяет заменить легированные стали на углеродистые, а при упрочнении напылением как раз одним из недостатков является использование дорогостоящих материалов. При сравнении наплавки с закалкой ТВЧ установлено, что закалка ТВЧ сложных деталей представляет собой более трудоемкий процесс при стремлении получить слой равномерной толщины (в отличие от процесса наплавки). Все эти методы имеют в некоторых критериях и сходство, например, одним из наиболее явных недостатков у напыления и лазерной сварки является дорогая стоимость оборудования, а одним из общих плюсов у лазерной сварки и наплавки является высокая производительность труда. Проведенный анализ установил, что у всех методов есть свои достоинства и недостатки, но наиболее доступным и выгодным методом упрочнения является наплавка и ТВЧ, так как они обладают одними из важнейших характеристик для упрочнения.

Выводы

К достоинствам рассмотренных выше методов упрочнения следует отнести высокую производительность труда. Недостатком, ограничивающим применение методов лазерной сварки и наплавки, является значительно более высокая стоимость по сравнению с другими методами. На основании проведенного исследования сделан вывод о необходимости более широкого применения методов упрочнения наплавкой и закалкой ТВЧ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Гадолина И. В., Карелина М. Ю., Петрова И. М.** Экспериментально-расчетный метод оценки долговечности узлов машин при многоцикловом нагружении // Автоматизированное проектирование в машиностроении. — 2013. — № 1. — С. 14—18.
2. **Гриб В. В., Карелина М. Ю., Петрова И. М., Филимонов М. А.** Разработка алгоритма прогнозирования и мониторинга ресурса механических систем // Современные проблемы теории машин. — 2013. — № 1. — С. 77—79.
3. **Карелина М. Ю., Титов Н. В., Коломейченко А. В., Виноградов В. В., Петриков И. А., Поджарская К. С.** Импортозамещающая технология восстановления и упрочнения рабочего оборудования строительных и дорожных машин // Строительные и дорожные машины. — 2015. — № 8. — С. 34—37.
4. **Сталь Hardox 500.** URL: https://www.ssab.ru/products/brands/hardox/products/hardox-500 (дата обращения 16.12.2018).
5. **Боголюб Г.** Применение стали марки HARDOX в горной промышленности // Горная Промышленность. — 2008. — № 3. — С. 34.
6. **Гуляев А. П.** Металловедение: учеб. для вузов. 6-е изд. перераб. и доп. — М.: Металлургия, 1986. — 544 с.
7. **Восстановление подрезного ножа** наплавкой — URL: https://studbooks.net/2453775/tehnika/vosstanovlenie_podreznogo_nozha_naplavkoy (дата обращения: 18.12.2018).
8. **Яшкова С. С.** Лазерное поверхностное упрочнение // Молодой ученый. — 2017. — № 1. — С. 99—101.
9. **Лазерная закалка.** URL: http://www.laser-portal.ru/content_415 (дата обращения 18.12.2018).
10. **Термообработка** — URL: https://элсит.рф/вики/термообработка/поверхностное-упрочнение-металлов-закалка-твч (дата обращения 18.12.2018).
11. **Поверхностное упрочнение металлов**: Закалка ТВЧ. URL: http://xn--80ahlbjbrdi1c8a.xn--p1ai/1268-poverhnostnoe-uprochnenie-metallov-zakalka-tvch.html (дата обращения: 19.12.2018).
12. **Козлов Д. Ю.** Бластинг. Гид по высокоэффективной абразивоструйной очистке. — Екатеринбург: ООО "ИД "Оригами", 2007. — 216 с.
13. **Ушаков А. Е.** Анализ путей повышения работоспособности зубьев землеройных машин // Молодой ученый. — 2016. — № 27. — С. 174—177.
14. **Гайдар С. М.** Планирование и анализ эксперимента: учебник. — М.: изд-во ФГБНУ "Росинформагротех", 20015. 548 с.

ИЗДАТЕЛЬСТВО

"ИННОВАЦИОННОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ"

принимает подписку на журнал

"ГРУЗОВИК"

ТРАНСПОРТНЫЙ КОМПЛЕКС. СПЕЦТЕХНИКА

на 2019 год

Подписавшись в издательстве, вы:
1) получаете без задержек журнал с первого номера;
2) экономите на стоимости почтовой доставки;
3) получаете скидку до 5 %.

Наши реквизиты:
E-mail: realiz@mashin.ru
Тел.: 8 (495) 785-60-69.
Отдел продаж, маркетинга, рекламы
WWW.MASHIN.RU

УДК 620.16

А. Л. Дмитревский, канд. техн. наук, доцент, e-mail: dm@madi.ru, **И. О. Сорокин,** студент, e-mail: cjhjrbybkmz@gmail.com, **А. Ю. Сергеев,** студент, e-mail: tolya1998z@mail.ru, **Н. С. Попугаев,** студент, Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), e-mail: nspnek98@gmail.com

ТЕХНОЛОГИЯ ПЛАЗМЕННОГО НАПЫЛЕНИЯ С ОДНОВРЕМЕННОЙ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКОЙ

В статье рассмотрены вопросы технологии плазменного напыления с одновременной электромеханической обработкой для упрочнения рабочих поверхностей режущих элементов оборудования строительных и дорожных машин. Авторы обращают внимание на особенности потерь работоспособности режущих элементов. Ими предложена комбинированная технология плазменного напыления с последующей электромеханической обработкой режущих элементов, подверженных интенсивному изнашиванию, с целью повышения механических и триботехнических показателей поверхностного слоя. Представлены результаты оценки технологической эффективности предложенной технологии упрочнения.

Ключевые слова: *упрочнение рабочих поверхностей режущих элементов, плазменное напыление с электромеханической обработкой, изнашивание, ударно-абразивное изнашивание, комбинированный метод упрочнения.*

Questions of features of loss of operability of performance of cutting elements of construction equipment and road machines. A combined plasma spraying technology with the subsequent electromechanical treatment of cutting elements subjected to intensive wear in order to increase the mechanical and tribological characteristics of the surface layer is proposed. The results of the evaluation of the technological efficiency of the proposed hardening technology are presented.

Keywords: *hardening, of the working surfaces of cutting elements, plasma spraying with electromechanical processing, wear, impact-abrasive wear, a combined method of hardening.*

Повышение надежности и долговечности деталей машин и режущих элементов путем упрочнения и модифицирования рабочих поверхностей является актуальной задачей с точки зрения обеспечения эффективности работы строительных и дорожных машин. В целом ресурс механической системы прогнозируется исходя из ресурсов частей системы [1]. Возникает необходимость улучшения механических и триботехнических характеристик режущих элементов (фрезы рыхлителей грунтов, ножи автогрейдеров и бульдозеров и др.) с целью противодействия тяжелым условиям внешнего нагружения и ударно-абразивному изнашиванию.

Важнейшей характеристикой режущего элемента является его прочность. Прочность режущего элемента определяется способностью контактных площадок сопротивляться разрушению на микро- и макроуровне. На практике встречаются случаи, когда основным фактором, ограничивающим работу в тяжелых условиях, является прочность режущей части рабочего оборудования. При недостаточной прочности оснащения велика вероятность его разрушения путем пластической деформации или в результате хрупкого скалывания.

Механическая прочность режущих элементов зависит от целого ряда параметров, например от геометрии режущего элемента, чистоты и амплитуды динамических нагрузок и т.д., ее можно определить исходя из модели напряженного состояния:

$$\sigma = f[P_{ст}, P_{дин}, \lambda_р, \nu_р, K_{им}, \beta, t, a(s)], \qquad (1)$$

где $P_{ст}$ — статическая нагрузка; $P_{дин}$ — динамическая нагрузка; $\lambda_р$ и $\nu_р$ — амплитуда и частота колебаний динамической нагрузки; $K_{им}$ — коэффициент, учитывающий свойства инструментального материала; β — угол заострения режущей части инструмента; t — температура в зоне резания; a — толщина среза.

Из всех значений функции значимо повлиять возможно только на коэффициент, учитывающий

свойства инструментального материала. В качестве инструментальных материалов режущей части рабочего оборудования применяются стали и сплавы различного химического состава и степени легирования. Качество инструментальных материалов всегда находится в прямой зависимости от эффективности производительности труда и развития машиностроения, а их применение обосновывается режимами работы, размерами и другими характеристиками дорожных машин. Поэтому предложено упрочнить поверхностный слой режущего элемента.

Поверхностным слоем называется поверхность, у которой структура, химический и фазовый составы различнаются с исходным материалом. Для определения качества поверхностного слоя используются множественные параметры состояния этого слоя: структура кристаллической решетки, микро- и макроструктура, физическое и механическое состояние поверхности, химический состав, а также структурные несовершенства в кристаллах и образование дислокаций. Такое множество параметров состояния поверхностного слоя и разнообразие методов их оценки не позволяет выбрать единственный параметр для оценки качества поверхности и предполагает широкий ряд методов упрочнения поверхностного слоя, которые условно можно поделить на классы (рис. 1).

К I классу можно отнести электро-, физико-химическую обработку и диффузионное насыщение (борирование, азотирование и т. д.) — эти методы значительно снижают сопротивление усталостному разрушению образцов и минимально влияют на упрочнение поверхностного слоя.

II класс — обработка импульсным и магнитным полем, эти методы широко используются в формообразовании и калибровке с целью получения заготовки или конечного продукта металлургической отрасли.

III класс состоит из наиболее распространенных и широко применяемых методов поверхностного упрочнения, сюда относится физико-термическая, электрофизическая, электромеханическая, механическая обработка и наплавка легированным элементом.

IV — электролитическое осаждение, осаждение из паров, химической реакции и напыление износостойких покрытий (вихревое, электродуговое, лазерное и плазменное напыление).

Выбор комбинированного метода упрочнения рабочего поверхностного слоя режущего элемента — плазменное напыление с электромеханической обработкой обусловлен получаемыми в результате качествами, плазменное напыление повышает износостойкость режущего элемента в 2—3 раза, а для улучшения поверхности после напыления проводится электромеханическая обработка, способствующая повышению твердости на 25...50 % с возможностью получить глубину упрочняемого поверхностного слоя до 35 мм. Такая совокупность параметров является оптимальной для упрочнения режущих элементов.

Рис. 1. Классы упрочнения поверхностного слоя

Упрочнение поверхности режущего элемента может осуществляться с помощью метода плазменного напыления наиболее эффективно благодаря высокой температуре и энтальпии несущей струи, обеспечивающей более высокую плотность покрытия и лучшее сцепление расплавленных частиц с подложкой. С помощью потоков термической плазмы проводится напыление широкой номенклатуры порошковых материалов для нанесения абразивостойких, износостойких, коррозионностойких, жаростойких и других функциональных покрытий [2]. Однако применение данной технологии имеет сложность в реализации — в покрытиях могут проявляться структурные неоднородности, которые возникают из-за различного агрегатного состояния частиц в плазме. От данных дефектов полностью избавиться невозможно, минимизируется наличие де-

фектов путем грамотного использования технологических режимов напыления. Основной характеристикой плазмотрона является сила тока.

Повышение силы тока способствует снижению пористости поверхности и положительно влияет на микротвердость, однако значительное увеличение силы тока до $I_{крит}$ приводит к высокому уровню микронапряжений и искажению кристаллической решетки напыляемого состава, нарушается адгезия и механические свойства поверхностного слоя.

На рис. 2 и 3 приведена склонность к отслоению напыляемого покрытия на примере материала *X*, имеющего $I_{крит}$ = 230 А.

Проведен эксперимент для изучения характеристик двух порошковых покрытия типа ПГСР-4, ПГС-27. Стоит отметить, что порошки наносили на партию образцов цилиндрической формы из стали 45 ГОСТ 1050—74 (НВ 225—240). Плазменное напыление осуществляется комбинированной технологией с последующей электромеханической обработкой (ПН + ЭМО). Использовались следующие порошковые покрытия ПГСР-4 (основа — Ni, Cr 25 %, Si 4,2 %, B 4 % и др.), ПГС-27 (основа — Fe, Cr 25 %, C 4,4 %, Mn 1,3 %, Ni 1,7 %, Si 1,7 % и др.). Покрытия наносились слоями до общей толщины 1,0...1,1 мм.

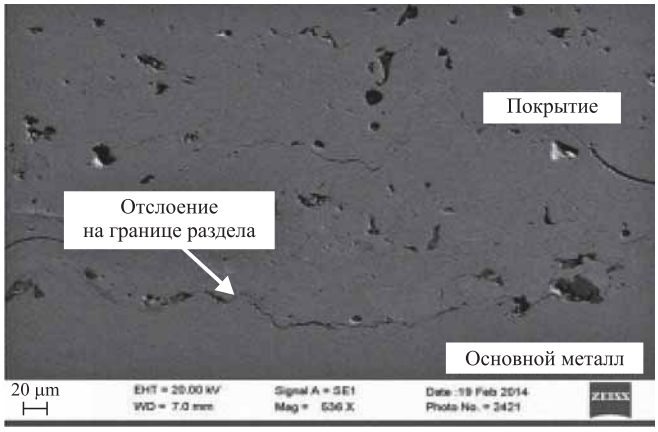


Рис. 2. Сила тока 140 А

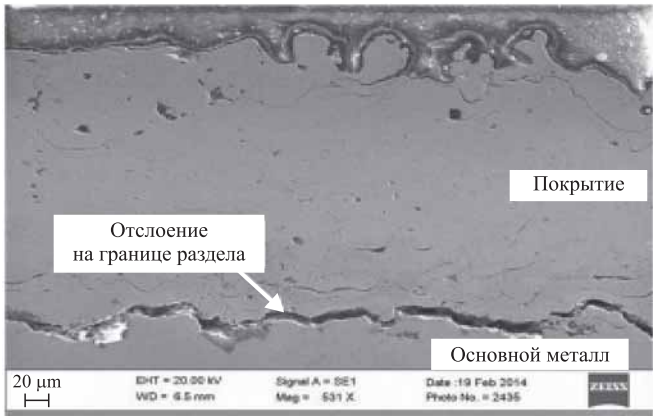


Рис. 3. Сила тока 230 А

Для данного исследования были выбраны следующие режимы плазменного напыления: дистанция напыления — 20 мм; расход напыляемого порошка — 25 г/ч; мощность микроплазматрона — 1,5 кВт; расход плазмообразующего аргона — 2,5 л/мин. Электромеханическая обработка осуществлялась роликом из сплава ВК8 (радиус рабочего профиля r = 36 и R = 4 мм). Продольная подача равна 0,1 мм/об, а скорость обкатки 0,03 м/с. Зону обработки охлаждали 10 %-м раствором эмульсола Экол-1 с расходом 0,5 л/мин, очищение образцов проводилось водой, подающейся под высоким давлением (9 МПа) [3].

При напряжении 3—5 В плотность электрического тока обеспечивается равной в пределах от 350 до 400 А/мм^2 [3]. В целях объективности оценки результатов проведенного исследования использованы методы металлографического и рентгеноструктурного анализов. Улучшались следующие физико-механические свойства: микротвердость; износостойкость и пористость покрытия. В процессе плазменного напыления с электромеханической обработкой происходит уплотнение поверхности путем сваривания составляющих частиц до образования цельного состояния. При этом возникает резкое разделение границ между слоями покрытия (покрытие и подложка и поверхностный слой самой подложки). Белый слой образуется в зоне подложки, формируясь при помощи высокоскоростной закалки. Структура данного слоя — мелкодисперсный мартенсит, главное физико-техническое свойство которого заключается в повышенной износостойкости. Рассмотрим полученные значения для следующих физико-механических свойств. Микротвердость ПГСР-4 до обработки была 12 192 МПа, после обработки стала 17 486 МПа, прирост составляет ≈44 %. Микротвердость ПГС-27 до обработки 11 242 МПа, после обработки стала 13 225 МПа, прирост составил ≈18 %. Определено, что увеличение скорости обкатки приводит к снижению микротвердости. Показатели износостойкости образцов возросли в 2—2,5 раза. Пористость полученных покрытий снизилась на

19...20 % после ЭМО, что является подтверждением повышения когезионной и адгезионной прочности покрытия [3].

Вывод

На основании проведенного исследования сделан вывод в том, что метод плазменного напыления с одновременной электромеханической обработкой в значительной степени способствует решению ряда задач по повышению износостойкости и прочности режущих элементов рабочего оборудования. Применение указанной технологии позволяет спрогнозировать эффективность использования режущих элементов за счет сокращения продолжительности простоя дорожных и строительных машин, связанного с их ремонтом и переоснащением.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Гриб В. В., Карелина М. Ю., Петрова И. М., Филимонов М. А.** Разработка алгоритма прогнозирования и мониторинга ресурса механических систем // Современные проблемы теории машин. — 2013. — № 1. — С. 77—79.
2. **Гайдар С. М., Карелина М. Ю., Петровская Е. А., Зиятдинов Э. А.** Повышение износостойкости узлов трения // Труды ГОСНИТИ. — 2016. — Т. 122. — С. 40—47.
3. **Гайдар С. М., Петровская Е. А.** Обеспечение износостойкости узлов трения // В сборнике: Вклад молодых ученых в инновационное развитие АПК России: Сборник статей Международной научно-практической конференции молодых ученых, посвященная 65-летию ФГБОУ ВО Пензенская ГСХА. 2016. С. 99—102.
4. **Кузьмин В. И., Ващенко С. П., Гуляев И. П., Картаев Е. В., Сергачев Д. В., Кориенко Е. Е., Долматов А. В.** Плазменное напыление износостойких покрытий из порошков самофлюсующихся сплавов // Вестник Югорского государственного университета. —2015. — № 2 (37). — С. 45—52.
5. **Посметьев В. И., Кадырметов А. М., Никонов В. О., Пустовалов А. С.** Свойства покрытий, упрочненных плазменным напылением с одновременной электромеханической обработкой // Воронежский научно-технический вестник. — 2013. — № 1 (3). — С. 51—55.

ЧЕТРА Т35 для железных дорог

Технологический парт ОАО "РЖД" пополнился 13 отечественными бульдозерами ЧЕТРА Т35.01ЯБЛ-3. Новые машины будут задействованы для оснащения восстановительных поездов, предназначенных для ликвидации последствий крушений и аварий на железных дорогах.

Начиная с августа бульдозеры ЧЕТРА уже были направлены в эксплуатацию на Дальневосточную, Забайкальскую, Восточно-Сибирскую, Красноярскую, Западно-Сибирскую, Южно-Уральскую, Приволжскую, Свердловскую, Юго-Восточную и Горьковскую железные дороги. До конца декабря будет завершена поставка техники для нужд Куйбышевской, Октябрьской и Северной железных дорог.

Бульдозер Т-35.01ЯБЛ-3 может использоваться в восстановительных поездах в качестве тягового средства для ликвидации последствий крушений и аварий на железных дорогах, а также происшествий природного и техногенного характера. Все бульдозеры укомплектованы лебедкой с максимальным тяговым усилием 50 тс и длиной каната 80 м, которая обеспечивает эффективность работы при ликвидации последствий железнодорожных происшествий в труднодоступных местах: болотистой, горной местности, глубоких выемках т. п. Конструкция бульдозеров Т-35.01ЯБЛ-3 обеспечивает возможность их перевозки на железнодорожной платформе без демонтажа установленного на них оборудования (отвала, лебедки и т.п.).

"Бульдозер Т-35.01ЯБЛ-3 — уникальное отраслевое решение для железнодорожных администраций. Он предназначен для работы в составе восстановительных поездов при устранении аварий, а также может использоваться при восстановлении и ремонте железнодорожных путей, перемещении грунта, щебня, песка и прочих материалов. В адрес железных дорог эти машины поставляются нами не первый год. Они апробированы, не имеют нареканий и востребованы железнодорожными администрациями. Т-35.01ЯБЛ-3 поставляется нами не только стратегическому партнеру ОАО "РЖД", но также в страны пространства 1520", — комментирует генеральный директор ООО "ПК "ЧАЗ" Владимир Антонов.

Пресс-служба компании ЧЕТРА

Художественный редактор *Д. С. Рыбакова*. Технический редактор *Е. М. Патрушева*. Корректор *З. В. Наумова*
Сдано в набор 10.02.2019. Подписано в печать 15.04.2019. Формат 60 × 88 1/8. Усл. печ. л. 5,88.
Отпечатано в ООО "Канцлер", 150008, г. Ярославль, ул. Клубная, д. 4, кв. 49.
Оригинал-макет: ООО "Адвансед солюшнз". 119071, г. Москва, Ленинский пр-т, д. 19, стр. 1. Сайт: **www.aov.ru**