

Учредитель ООО "Научно-техническое издательство
"Инновационное машиностроение"

Главный редактор И. Ф. ГУМЕРОВ, канд. техн. наук,
заместитель генерального директора ПАО "КАМАЗ" —
директор по развитию

Заместитель главного редактора А. С. САВЧЕНКО

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.
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 "Издательство
"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; gruzovik.mashin@gmail.com,
<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 № ФС 77-63955
от 09.12.2015 г.

Подписной индекс:

по объединенному каталогу
"Пресса России" 39799

ООО «Издательство «Инновационное машиностроение»,
"Грузовик", 2020

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** Курносоев Н. Е., Морев А. В. Совершенствование конструкции
устройства для автоматического тушения пожара в моторном от-
секе транспортного средства

*С целью обеспечения безопасности водителя и пассажиров автотранспортного
средства и минимизации повреждения узлов автомобиля предложена конструкция
системы автоматического тушения пожара в моторном отсеке транспортного сред-
ства. Были рассмотрены существующие аналогичные решения для тушения огня в
подкапотном пространстве автомобиля, а также выявлены их недостатки*

Исследования. Расчет

- 6** Пьянов М. А., Козловский В. Н., Крицкий А. В., Брачунова У. В.

Экспериментальное исследование возможностей производ-
ственного комплекса диагностики работоспособности системы
электрооборудования автомобилей

*В работе представлены результаты экспериментальных исследований разрабо-
танного производственного комплекса диагностики работоспособности электро-
оборудования автомобилей*

- 13** Рябов И. М., Аль-Сумайдаи Ф. Р., Соколов А. Ю., Данилов С. В.,

Аль-Джумаили А. Х. Анализ мощности механических потерь ДВС
и определение уровня их повышения для обеспечения
эффективного торможения автомобиля двигателем

*Проведен анализ мощности механических потерь двигателя внутреннего сгорания и
рассмотрены методы ее определения. Показано, что мощность механических потерь
поршневого двигателя невелика, и она быстро уменьшается при снижении частоты
вращения вала двигателя, что негативно влияет на эффективность торможения*

- 21** Кочетков А. В., Генсон Е. М., Шаихов Р. Ф. Модернизация стенда

КИ-1363-В для обкатки и испытания двигателей внутреннего сгорания
*В статье проанализирован стенд КИ-1363-В, установленный на базе кафедры тех-
нического сервиса и ремонта машин ФГБОУ ВО "Пермский ГАТУ", предложены и
реализованы мероприятия по его модернизации*

Эксплуатация. Ремонт

- 28** Рыжиков В. А., Батыщев Д. Ю., Туркеничева О. А. Технология
смазки трансмиссии автомобилей с применением поверхностно-
активных пленок

*Рассмотрен процесс поляризации смазочного материала при воздействии на него
электрического потенциала. Представлена модель формирования тонких пленочных
структур на поверхностях трения, реализующих эффект избирательного переноса
при протекании электрохимических процессов с управлением электрическим полем*

Транспортный комплекс

- 34** Жебрик Э. Л. Актуальные вопросы совершенствования применя-
емой таможенными органами системы управления рисками как
инструмента обеспечения экономической безопасности Россий-
ской Федерации

*В статье проведен анализ практики применения таможенными органами системы
управления рисками в качестве инструмента обеспечения экономической безопас-
ности Российской Федерации и выделены актуальные направления ее дальнейшего
совершенствования*

Безопасность

- 39** Моисеев Ю. И., Степанова А. В., Беспалова О. А., Попов А. В.
Соответствие водителей и других работников транспортного
комплекса страны профессиональным и квалификационным
требованиям как залог обеспечения безопасности участников до-
рожного движения

*В рамках данной работы проанализированы основные нормативные документы по
указанной теме. Отмечается, что квалификационные требования не тождественны
наличию документа, подтверждающего право управления транспортным средством.
Установлена правая коллизия для водителей, получивших водительские удостове-
рения ранее 12.08.2014*

- 43** Шепелева Е. В., Городокин В. А., Шепелев В. Д., Альметова З. В.
Организация беззатормозного движения на перекрестке при ограни-
чении времени цикла и ширины проезжей части

*В представленной работе предлагается использовать расчетный путь оптимизации
цикла работы светофорного объекта с целью обеспечения максимальной пропускной
способности узла улично-дорожной сети (УДС)*

SCIENTIFIC-TECHNICAL AND INDUSTRIAL MAGAZINE

Founder JSC Scientific and Technical Publishing House
"Innovative Engineering"

Editor-in-Chief I. F. GUMEROV, cand. tehn. s.,
deputy general director JSC "KAMAZ" —
director of development

Deputy Editor-in-Chief A. S. SAVCHENKO

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.
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. Ustyomenko,
cand. tehn. s.
J. A. Faskhiyev,
dr. en. s., prof.
N. D. Chaynov,
dr. en. s., prof.

CONTENTS:

Design

- 3** *Kurnosov N. E., Morev A. V.* Design of the device for fire extinguishing the sub-body space of the car
The article analyzes the stand KI-1363-V, installed on the basis of the department of technical service and repair of machines of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education of the Perm State Technical University, proposed and implemented measures for its modernization

Research. Calculation

- 6** *Pianoff M. A., Kozlovskiy V. N., Kritskiy A. V., Brachunova U. V.* Experimental study of the possibilities of the production complex for diagnosing the operability of the electrical equipment system of cars
The paper presents the results of experimental studies of the developed production complex for diagnosing the efficiency of electrical equipment of cars
- 13** *Ryabov I. M., Al-Sumaidae Farq R., Sokolov A. Yu., Danilov S. V., Al-Jumaili A. Kh.* Analysis of power of internal combustion engine mechanical losses and determination of its increase level ensuring efficient service braking of automobile by engine
Power analysis of internal combustion engine mechanical losses was performed and methods of its determination were considered. It is shown that the power of the mechanical losses of the piston engine is small, and it quickly decreases with a decrease in the speed of the engine shaft, which negatively affects the braking efficiency

- 21** *Kochetkov A. V., Genson E. M., Shaikhov R. F.* Modernization of the KI-1363-V stand for running-in and testing of internal combustion engines

The article analyzes the stand KI-1363-V, installed on the basis of the department of technical service and repair of machines of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education of the Perm State Technical University, proposed and implemented measures for its modernization

Operation. Repair

- 28** *Ryzhikov V. A., Batyshev D. Yu., Turkenicheva O. A.* Vehicle transmission lubrication technology using surface-active films
The process of polarization of a lubricant when exposed to an electric potential is considered. A model is presented for the formation of thin film structures on friction surfaces that realize the effect of selective transfer during electrochemical processes with electric field control

Transport complex

- 34** *Zhebrik E. L.* Actual aspects of improving the customs risk management system as an instrument for ensuring the economic security of the Russian Federation

The article analyzes the practice of the customs risk management system as an instrument for ensuring the economic security of the Russian Federation and highlights the actual directions of its further improvement

Safety

- 39** *Moiseev Yu. I., Stepanova A. V., Bepalova O. A., Popov A. V.* Compliance of drivers and other workers of transport complex with professional and qualification requirements as a guarantee of ensuring the safety of road users

In the framework of this work, the main regulatory documents on this topic are analyzed. It is noted that the qualification requirements are not identical to the presence of a document confirming the right to drive a vehicle. A legal conflict was established for drivers who received a driver's license earlier than 12/12/2014

- 43** *Shepeleva E. V., Gorodokin V. A., Shepelev V. D., Almetova Z. V.* Organization of non-traffic jam traffic at an intersection when cycle time and roadway width are limited

In this paper, it is proposed to use a calculated way to optimize the cycle of a traffic light object in order to ensure the maximum capacity of the node of the road network

Correspondent's office:
Ya. E. Karpovskiy (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; gruzovik.mashin@gmail.com;
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", 2020

Н. Е. Курносов, д-р техн. наук, профессор, **А. В. Морев**, магистр, e-mail: aleksej.morev.97@mail.ru, Пензенский государственный университет (ПГУ), г. Пенза

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ УСТРОЙСТВА ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО ТУШЕНИЯ ПОЖАРА В МОТОРНОМ ОТСЕКЕ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

В целях обеспечения безопасности водителя и пассажиров автотранспортного средства и минимизации повреждения узлов автомобиля предложена конструкция системы автоматического тушения пожара в моторном отсеке транспортного средства. Были рассмотрены существующие аналогичные решения для тушения огня в подкапотном пространстве автомобиля, а также выявлены их недостатки. В результате устранения недостатков известных способов и устройств предложена конструкция устройства для автоматического пожаротушения моторного отсека автомобиля, реализующая автоматическую пенно-распылительную технологию при использовании в качестве рабочей среды смесь жидкости из штатной системы охлаждения двигателя, антипиренов и пенообразователя. При этом повышается надежность и эффективность системы пожаротушения автомобиля, упрощается конструктивное исполнение и повышается ее быстродействие.

Ключевые слова: конструкция, транспортное средство, устройство пожаротушения, моторный отсек.

In order to ensure the safety of the driver and passengers of the vehicle and minimize damage to the vehicle components, the design of an automatic fire extinguishing system in the engine compartment of the vehicle is proposed. We reviewed existing similar solutions for extinguishing fire in the engine compartment of the car, and also identified their shortcomings. As a result of eliminating the shortcomings of the known methods and devices, the design of a device for automatic fire extinguishing of the engine compartment of a car is proposed, which implements automatic foam-spray technology when using a mixture of liquid from the standard engine cooling system, flame retardants and foaming agent as the working medium. This increases the reliability and efficiency of the vehicle's fire extinguishing system, simplifies the design and improves its performance.

Keywords: construction, vehicle, fire extinguishing device, engine compartment.

На сегодняшний день существует проблема возгорания автомобилей. Очагом пожара транспортных средств в основном служит подкапотное пространство.

Известно [1], что возгорание автомобилей возникает от внутренних и внешних источников зажигания. К внутренним источникам зажигания относятся: искры как результат неисправности электрической системы или фрикционные искры вследствие ДТП; поверхности выпускной, тормозной систем и сцепления, нагретые выше температуры воспламенения паров легковоспламеняющихся и горючих жидкостей и горючих материалов, открытый огонь [2].

К внешним источникам зажигания автомобилей относятся: высокоинтенсивные потоки излучения, открытый огонь при сварочных работах и другие. Вероятность загорания автомобилей

от внешнего источника мала и составляет всего 0,12...0,16 % [2].

Согласно [3] за 2019 г. произошло 19 299 возгораний транспортных средств, что больше на 10,15 % по сравнению с 2018 г., в котором произошло пожаров в количестве 17 521.

По данным главного управления МЧС России по Пензенской области, за 10 месяцев 2018 г. в результате самовозгорания транспортных средств произошло 96 пожаров, что на 5 % больше, чем в 2017 г. При этом неоднократно отмечалась и гибель людей.

Следует подчеркнуть, что возгорание происходит не только на легковых транспортных средствах личного пользования, но и на общественном транспорте, автомобилях, обслуживающих население нашей страны.

Существующие на данный момент конструкции огнетушителей зачастую не позволяют быстро

и эффективно локализовать очаг возгорания из-за ряда весомых факторов. Технология применения и использования огнетушителя предусматривает выход водителя из машины, открытие капота и только потом тушение. В результате затраченное время на все вышесказанные действия приводит к активизации очага возгорания, к тому же при открывании капота происходит резкий приток кислорода, что в большей степени интенсифицирует процесс горения. Также необходимо отметить, что порошковая смесь, применяемая при тушении порошковым огнетушителем, "убивает" двигатель, въедаясь в его поверхность.

Для минимизации времени между обнаружением и локализацией возгорания в моторном отсеке транспортного средства требуется штатное автоматическое оборудование, которое позволяет его использовать без участия человека.

Имеется достаточно много технических решений для автоматического пожаротушения различными способами, например использование капсул с нанопорошком [3], инертных газов (бромхладона [4]), установка пенных, порошковых или углекислотных огнетушителей [5], использования пневматических распылителей, где в качестве огнетушащей среды применяется охлаждающая жидкость из двигателя, а газ для работы распылителя хранится в баллонах, установленных в автомобиле [6].

Существующие устройства имеют главные существенные недостатки — стоимость и требования к установке дополнительных массивных элементов в моторном отсеке автомобиля.

Необходимо отметить, что ранее в Пензенском государственном университете было разработано наиболее оптимальное решение по данному вопросу. В устройстве пожаротушения автомобиля содержится пневматический распылитель, пирозарядная капсула, связанная с распылителем жидкости для обеспечения работы распылителя. Однако данная конструкция устройства для пожаротушения подкапотного пространства автомобиля [8] имеет недостаток, который заключается в низкой надежности тушения ввиду значительного разнообразия источников возгорания и объемов подкапотного пространства, связанного с техническими характеристиками двигателя, в том числе с его мощностью и расположением узлов.

Для устранения данного недостатка, а также для повышения надежности и эффективности системы пожаротушения автомобиля, упрощения ее конструктивного исполнения, обеспечения безо-

пасности водителя и пассажиров автотранспортного средства и минимизации постповреждений узлов автомобиля при пожаре в подкапотном пространстве предлагается более совершенная конструкция устройства.

Предложенное устройство пожаротушения автомобиля содержит как минимум один пневматический распылитель, который является распыляющим устройством и имеет камеру смешения и две и более пирозарядных капсулы, связанных с распылителем жидкости для обеспечения работы распылителя, при этом в качестве огнетушащего вещества выступает смесь охлаждающей жидкости, антипиренов и пенообразователя, при этом подачу охлаждающей жидкости, антипиренов и пенообразователя в распылитель открывает электромагнитный клапан, в свою очередь, замедлитель позволяет срабатывать второй, третьей и т. д. пирозарядным капсулам в заранее заданный момент времени. В качестве источника питания используется источник, имеющийся в автомобиле с возможностью автономной подачи энергии для работы устройства для автоматического тушения пожара в моторном отсеке транспортного средства.

Безопасность водителя и пассажиров достигается за счет установки автономного извещателя, который связан с датчиками дыма и пламени, реагирующими на задымление подкапотного пространства и наличие открытого огня. Обеспечение электробезопасности при этом достигается за счет снабжения электрической цепи автомобиля автоматическим предохранителем, размыкающим основную электрическую цепь автомобиля.

Минимизация повреждений узлов автомобиля обусловлено быстрым реагированием на возникающий очаг пожара за счет использования двух и более пирозарядных капсул и замедлителя.

Устройство (см. рисунок) содержит как минимум один пневматический распылитель *1* с ресивером *12* и установленными на него пирозарядными капсулами *2*, гидравлически связанными через электромагнитный клапан *3* с системой охлаждения двигателя *4* и емкостями для хранения антипиренов *5* и пенообразователя *6*, а пирозарядные капсулы *2* электрически связаны с автоматическим предохранителем *7*, автономным извещателем *8*, датчиками дыма и пламени *9*, электромагнитным клапаном *3*, редуктором системы охлаждения транспортного средства *11* и основной электрической цепью автомобиля *10*.

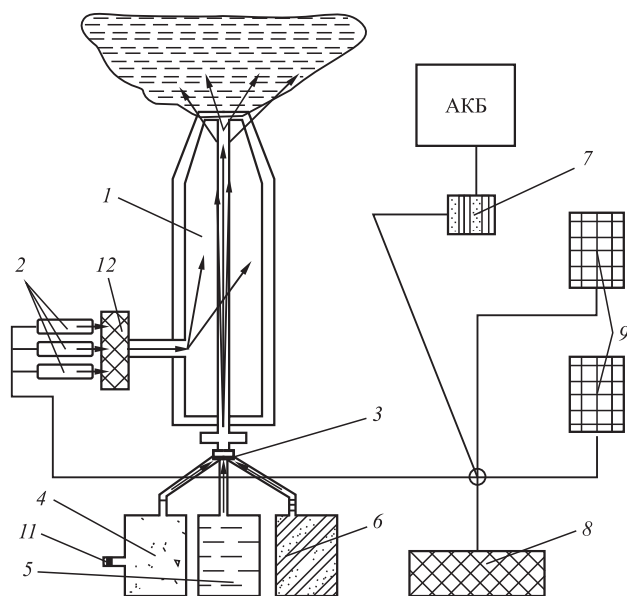


Схема устройства для пожаротушения подкапотного пространства автомобиля

На рисунке представлено схематическое изображение устройства с гидравлическими и электрическими связями.

В результате реагирования датчиков дыма или пламени 9, срабатывающих на возникающий очаг возгорания, подается импульс на автономный извещатель 8, автоматический предохранитель 7, пирозарядные капсулы 2 и электромагнитный клапан 3, при этом автономный извещатель 8 воспроизводит звуковой сигнал, который оповещает водителя и пассажиров о возникшей угрозе их безопасности, автоматический предохранитель 7 обесточивает электрические цепи автомобиля, открывается электромагнитный клапан 3, открывается редуктор системы охлаждения транспортного средства 11 и срабатывает пирозарядная капсула 2. При срабатывании пирозарядной капсулы 2 выделяющийся под давлением газ подается в ресивер 12, из которого он поступает в пневматический распылитель 1, а затем, согласно закону Бернулли, выходит из пневматического распылителя через кольцевой канал, в потоке газа создается зона пониженного давления и происходит одновременное эжектирование по гидравлическим каналам охлаждающей жидкости, антипиренов и пенообразователя, происходит смешение газа и жидкостей, и созданная смесь распыляется в виде факела пенного аэрозоля на очаг пожара.

Предложенное устройство повышает надежность и эффективность системы пожаротушения автомобиля за счет использования безотказных

элементов и пенно-распылительную технологию пожаротушения, упрощает конструктивное исполнение за счет минимизации составных частей и использования штатных систем электропитания и охлаждения двигателя, позволяет обеспечить безопасность водителя и пассажиров автотранспортного средства и минимизировать повреждения узлов автомобиля за счет ее быстрого действия.

Рассмотренное устройство было создано и практически проверено в условиях лаборатории "Вихревые процессы и технологии" Пензенского государственного университета.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Исхаков Х. И., Пахомов А. В., Каминский Я. Н. Пожарная безопасность автомобиля. — М.: Транспорт, 1987. — 6 с.
2. Активная и пассивная безопасность автомобиля [Электронный ресурс]. — 2020. URL: <https://autoportal.pro/tekhnichka/aktivnaya-i-passivnaya-bezopasnost-avtomobilya> (дата обращения 08.07.2020).
3. Статистические данные о пожарах в Российской Федерации [Электронный ресурс]. — 2020. URL: <http://wikifire.org>. (дата обращения 10.07.2020).
4. Патент RU 2633955 A62C 3/00. Устройство автоматической локальной пожарной защиты и способ разрушения оболочки капсулы с нанопорошком. Патентообладатель ФГБУ ВНИИПО МЧС России. Заявка: 2016124892, 21.06.2016. Опубликовано: 19.10.2017.
5. Патент SU 1544446 A62C 3/07, 35/00. Устройство для пожарной защиты моторного отсека автомобиля. Патентообладатель Севриков В. В., Александров В. Е., Касьянов Н. А., Стратилатов В. В., Куценко В. И., Фастов А. Д. Заявка: 4240987, 05.05.1987. Опубликовано: 23.02.1990.
6. Патент RU 167997 A62C 3/07. Устройство пожаротушения моторного отсека транспортного средства. Патентообладатель Степанов В. С. Заявка: 2016109684, 17.03.2016; опубл. 16.01.2017.
7. Пат. 189180 Российская Федерация МПК A62C 3/07. Устройство пожаротушения автомобиля / Курносов Н. Е., Морев А. В., Лебединский К. В., Кирев С. Ю., Тарнопольский А. В.; заявл. 2018142750, 04.12.2018; опубл. 15.05.2019.
8. Курносов Н. Е., Лебединский К. В., Салмин В. В., Морев А. В. Устройство для пожаротушения подкапотного пространства автомобиля // Грузовик. — 2019, — № 3 — С. 65—72.

М. А. Пьянов, канд. техн. наук, ПАО "АВТОВАЗ", г. Тольятти,
В. Н. Козловский, д-р техн. наук, e-mail: kozlovskiy-76@mail.ru, СамГТУ, г. Самара,
А. В. Крицкий, асп., СамГТУ, г. Самара, **У. В. Брачунова**, асп., СамГТУ, г. Самара

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО КОМПЛЕКСА ДИАГНОСТИКИ РАБОТОСПОСОБНОСТИ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ

В работе представлены результаты экспериментальных исследований разработанного производственного комплекса диагностики работоспособности электрооборудования автомобилей.

Ключевые слова: автомобилестроение, автомобиль, диагностика, система электрооборудования.

The paper presents the results of experimental studies of the developed production complex for diagnosing the efficiency of electrical equipment of cars.

Keywords: automotive, automobile, diagnostics, electrical system.

Целью экспериментального исследования является проверка работоспособности разработанного производственного диагностического комплекса, с подтверждением теоретических выводов и получением данных для статистического анализа качества электрооборудования автомобилей на стадии сборки автомобилей.

Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи: проведение тестового диагностирования заведомо исправного и неисправного изделий автомобильного электрооборудования с помощью диагностического комплекса и лабораторной установки, с оценкой погрешности полученных результатов; проведение серии тестов одного и того же изделия (пяти образцов) с помощью диагностического комплекса (двумя операторами), с построением контрольных карт измерительного процесса [1–4].

Для применения теории планирования эксперимента примем следующие допущения:

— функция отклика содержит в своем составе неслучайную и случайную составляющие. (Многие показатели качества автоматизированных систем обработки информации носят случайный характер. Это требует многократного повторения опытов в одних и тех же условиях в целях получения статистически устойчивых результатов, а получаемые оценки показателей должны обладать

свойствами состоятельности, эффективности, несмещенности и достаточности. Оценки типовых показателей формируются путем усреднения результатов наблюдений. Поэтому при достаточно большом количестве наблюдений можно считать, что случайная составляющая распределена по нормальному закону с нулевым математическим ожиданием, что позволяет получить несмещенную оценку математического ожидания функции отклика в конкретной точке плана. Результаты, полученные путем усреднения повторных опытов в каждой точке плана, также представляют собой независимые, нормально распределенные случайные величины);

— факторы эксперимента измеряются с пренебрежительно малой ошибкой по сравнению с ошибкой в определении величины отклика. (Ошибка в определении значения функции отклика объясняется не столько погрешностью измерений, сколько влиянием на результат работы системы неучтенных или случайных факторов);

— дисперсии среднего значения функции отклика в различных точках равны друг другу, т. е. выборочные оценки дисперсии однородны.

Указанные допущения позволяют использовать для расчетов коэффициентов полинома отклика метод наименьших квадратов, который дает эффективные и несмещенные оценки коэффици-

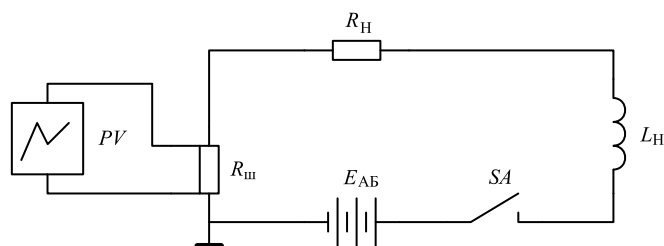


Рис. 1. Схема лабораторной установки

Таблица 1

Состав лабораторной установки

Элемент	Характеристика
Персональный компьютер	Pentium 4 – 3 GHz, ОЗУ 1 Gb, ATI Radeon Pro 256 Mb
Осциллографическая приставка	4 канала, цифровая фильтрация, самописец АСК-3107 ф. АКТАКОМ
Шунт измерительный	ШС – 10 А – 0,5, ШС – 20 А – 0,5

ентов и обеспечивает простоту проведения расчетов.

План эксперимента выбираем с использованием каталога планов, близкий к оптимальному, а именно рототабельный второго порядка [5–7].

Лабораторная установка для проведения экспериментального исследования.

Для проведения экспериментального исследования была собрана лабораторная установка по схеме, представленной на рис. 1.

Элементы, входящие в состав лабораторной установки, сведены в табл. 1.

Разработка программы экспериментального исследования

Одним из важнейших вопросов всяких измерений является вопрос об их точности. Точность метода или средства измерений служит основным его метрологическим показателем и является главным признаком, характеризующим его собственное качество. При выборе и назначении средств и методов контроля качества продукции в первую очередь учитывается их точность наряду с экономичностью и производительностью [8].

Степень точности измерений характеризуется предельной величиной их погрешности. Под погрешностью измерения понимается разность между его результатом и "истинным" значением измеряемого объекта. Трудность в определении

погрешности измерений заключается в том, что оценка "истинного" значения величины на практике добывается из тех же или из других аналогичных измерений, не свободных от некоторых погрешностей в силу несовершенства измерительных инструментов и органов чувств наблюдателя. Поэтому "истинные" значения измеряемых объектов представляется возможным рассматривать лишь теоретически, как некоторую научную абстракцию, и затем производить их оценку надлежащими методами [9, 10].

С понятием точности измерительной системы неразрывно связано другое фундаментальное понятие — разрешающая способность, характеризующее минимальное различие в величине параметра двух измеримых объектов, которое может быть обнаружено данной измерительной системой. Точность и разрешающая способность измерительной системы являются понятиями хотя и близкими, но не тождественными. Например, наличие систематической ошибки (смещения), постоянной в пределах некоторого диапазона, не ухудшает разрешающей способности системы. Однако точность при значительной величине такой ошибки может оказаться неприемлемой. Таким образом, разрешающая способность является необходимым (но еще недостаточным) условием обеспечения точности или, другими словами, разрешающая способность характеризует максимальную (принципиально достижимую) точность измерительной системы. В свою очередь, разрешающая способность чаще всего определяется ценой деления, являющейся одной из основных характеристик любого измерительного устройства.

При диагностировании и анализе качества комплекса электрооборудования исходными данными служат результаты измерений его ключевых параметров. При этом исходят из того, что результаты произведенных измерений точны, и на этом основании делаются последующие заключения и выводы. Однако на практике измерения всегда сопровождаются ошибками или, иначе говоря, погрешностями, величина и характер которых определяют собственное качество измерительных и контрольных процессов. Следовательно, главная и конечная цель анализа и управления измерительными и контрольными процессами состоит в том, чтобы ограничить погрешности измерений некоторой разумно установленной предельной величиной с тем, чтобы результаты измерений и контроля не искажали бы очень сильно (до неузнаваемости) реальную картину, во всяком случае, ее наиболее значимые, ключевые "фрагменты". При этом, конечно, нельзя упускать

из виду экономическую целесообразность и эффективность.

При рассмотрении погрешностей измерений следует начать с декомпозиции процесса их образования и, по возможности, классифицировать для более детального изучения. Погрешность всякого метода (или средства измерения) подразделяется на две "составляющие": систематическую и случайную. Систематическая составляющая будет оставаться постоянной при измерениях либо изменяться определенным образом в зависимости от изменения определенного, неслучайного фактора. В последнем случае систематическую ошибку можно было бы отнести к категории "функциональных" ошибок. Случайная составляющая будет меняться от измерения к измерению случайным образом; она будет вызываться многочисленными факторами, действие которых по-разному складывается в повторных измерениях. При известном заранее "истинном" значении измеряемого объекта систематическую составляющую погрешности измерения можно определить как разность между средним результатом измерений и истинным значением объекта. Систематические погрешности измерений стремятся всегда тем или иным более или менее тонким приемом механически исключить при измерениях. Сами эти приемы почти всегда во многом зависят от конкретных условий измерения и поэтому выходят за рамки статистического анализа. Случайная составляющая погрешности каждого отдельного измерения может оцениваться как рассчитанное с той или иной доверительной вероятностью предельное отклонение от центра рассеивания погрешностей измерений (на практике с некоторым основанием считают погрешности измерения подчиняющимися нормальному закону). Очень часто на практике исходят из того, что систематические погрешности с достаточным для практики приближением исключены, и тогда предельная погрешность оказывается равносильной общей предельной погрешности измерения.

Аналогично систематическим погрешностям подлежат безусловному исключению из протокола измерений так называемые "грубые" ошибки или промахи. К этим ошибкам относятся: ошибки в отсчетах показаний средства измерения, ошибки в вычислениях при измерениях, ошибки, созданные неправильным использованием средства измерения, ошибки, возникшие из-за недостатка осторожности у оператора.

Для исключения грубых ошибок при анализе измерительного процесса необходим значитель-

ный объем выборки. Рекомендуемое количество циклов измерений (для получения достоверных данных) $k = 25$, диагностируемых образцов $N = 5$ и операторов, осуществляющих измерения, $M = 2$.

Экспериментальные исследования будем проводить по следующей программе.

1. Собрать лабораторную установку по схеме, приведенной на рис. 1.

2. Снять осциллограммы переходного процесса в заведомо исправном изделии электрооборудования при коммутации.

3. Вычислить постоянную времени изменения тока для каждого тестового импульса по формуле:

$$\tau = (t_2 - t_1) (\ln(i(t_2)) - \ln(i(t_1)))^{-1}. \quad (1)$$

4. Определить среднее значение $\bar{\tau}$.

5. Провести тестовое диагностирование этого же модуля зажигания разработанным диагностическим комплексом, не менее 10 раз.

6. Получить результаты тестирования (постоянную времени изменения тока) из базы данных диагностического комплекса.

7. По результатам эксперимента определить размах показаний R и среднее значение $\bar{\tau}$.

8. Оценить погрешность измерения диагностического комплекса, приняв рассчитанное в п. 4 значение τ за действительное.

9. Повторять процедуры 5—8 каждый час в течение дня эксперимента.

10. Построить по результатам контрольную карту измерительного процесса.

11. Повторить процедуры 9, 10 для пяти образцов двумя операторами.

12. Заменить на автомобиле исправное изделие на заведомо неисправное и повторить процедуры 2—8.

13. Проанализировать полученные результаты.

Диагностирование модуля зажигания

К изделиям электрооборудования, имеющим активно-индуктивную нагрузку и существенно влияющим на работоспособность всего транспортного средства, относятся форсунки, модуль зажигания, тяговое реле стартера и прочее. Среди них наиболее распространенным дефектом, согласно статистике, собираемой по дефектам сборки автомобилей LADA KALINA, является обрыв или короткозамкнутые витки модуля зажигания, что приводит к явному или скрытому отказу. Поэтому в качестве диагностируемого изделия выбираем модуль зажигания 2111-3705010 фирмы Bosch (Германия) автомобиля ВАЗ-1118 (Lada Kalina) (рис. 2).



Рис. 2. Модуль зажигания автомобиля ВАЗ-1118

Исследование исправного изделия

Для проведения работы использовалась стандартная функция тестирования элементов системы управления двигателя, реализованная во всех современных контроллерах. Для тестирования модулей зажигания, управляемых контроллерами, устанавливаемыми на автомобили семейства ВАЗ, используется серия из 20 тестовых импульсов частотой 100 Гц и длительностью 2 мс, что соответствует работе двигателя на максимальных оборотах.

На рис. 3 представлена осциллограмма изменения тока в первичной обмотке заведомо исправного модуля зажигания в течение одного тестового импульса.

Используя данные серии экспериментов, определяем значение постоянной времени по формуле (1) для всех тестовых импульсов.

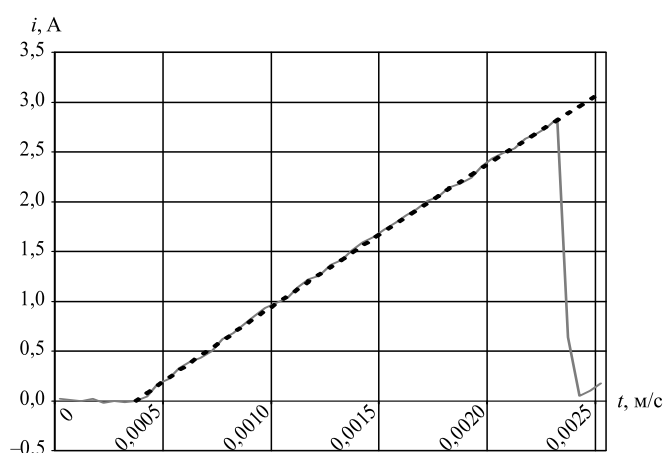


Рис. 3. Осциллограмма тока в первичной обмотке заведомо исправного модуля зажигания:

— экспериментальная кривая; - - - - теоретическая кривая

Определим среднее значение по формуле:

$$\bar{\tau} = \frac{\sum_{i=1}^{20} \tau_i}{20} = 17,100 \text{ мс.}$$

Вычисленное по результатам эксперимента на лабораторной установке среднее значение постоянной времени тока первичной цепи принимаем за действительное для исправного модуля зажигания при дальнейших исследованиях.

Полученное значение постоянной времени попадает в заявленное поле допуска $\tau = 17 \pm 5 \%$ мс.

Определяем активное сопротивление первичной обмотки модуля зажигания для последующего сравнительного анализа возможности его использования в качестве диагностического параметра при определении отклонения технических характеристик модуля от заявленных производителем:

$$R_{\text{исп}} = 0,71 \text{ Ом.}$$

Полученные из базы данных диагностического комплекса значения постоянной времени (пп. 5, 6 программы экспериментального исследования) используем для расчета среднего значения постоянной времени диагностического комплекса ($\bar{\tau}_{\text{дк}}$).

Определим среднее значение $\bar{\tau}_{\text{дк}}$:

$$\bar{\tau}_{\text{дк}} = \frac{\sum_{i=1}^{10} \tau_{\text{дк}i}}{10} = 17,051 \text{ мс.} \quad (2)$$

Определяем размах показаний R по формуле

$$R = X_{\text{max}} - X_{\text{min}} = 17,073 - 17,019 = 0,054 \text{ мс.} \quad (3)$$

Абсолютная погрешность измерений диагностического комплекса:

$$\Delta = \bar{\tau}_{\text{дк}} - \tau, \quad \Delta_{\text{исп}} = 17,051 - 17,10 = -0,049 \text{ мс,} \quad (4)$$

где $\bar{\tau}_{\text{дк}}$ — среднее значение постоянной времени, измеренной диагностическим комплексом, τ — действительное значение постоянной времени.

Относительная погрешность измерений диагностического комплекса:

$$\gamma_{\text{исп}} = \frac{\Delta_{\text{исп}}}{\tau} \cdot 100\%; \quad (5)$$

$$\gamma_{\text{исп}} = \frac{-0,049}{17,10} \cdot 100\% = -0,29 \%$$

Таким образом, относительная погрешность измерений в данном случае менее 0,3 %.

Результаты эксперимента

Номер подгруппы	Время								
	8-00	9-00	10-00	11-00	12-00	13-00	14-00	15-00	16-00
1	17,065	17,071	17,056	17,097	17,073	17,063	17,037	17,053	17,062
2	17,028	17,087	17,138	17,058	17,067	17,116	17,048	17,081	17,113
3	17,059	17,133	17,037	17,111	17,059	17,122	17,034	17,126	17,049
4	17,073	17,076	17,026	17,083	17,076	17,092	17,028	17,016	17,101
5	17,051	17,122	17,068	17,053	17,084	17,068	17,045	17,019	17,049
6	17,062	17,148	17,021	17,072	17,098	17,112	17,067	17,122	17,083
7	17,039	17,013	17,085	17,132	17,048	17,086	17,079	17,106	17,057
8	17,062	17,085	17,033	17,130	17,095	17,107	17,058	17,082	17,065
9	17,047	17,113	17,027	17,076	17,086	17,113	17,037	17,055	17,095
10	17,019	17,094	17,035	17,143	17,063	17,082	17,087	17,073	17,089
\bar{X}	17,051	17,094	17,053	17,096	17,075	17,096	17,052	17,073	17,076
R	0,054	0,135	0,112	0,090	0,050	0,059	0,059	0,107	0,064

Расчет параметров контрольной карты измерительного процесса

$$LCL_R = D_3 \bar{R}, \quad (8)$$

$$LCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R}, \quad (9)$$

В качестве контролируемого параметра выступает постоянная времени тока τ переходного процесса в первичной обмотке модуля зажигания при коммутации. Для построения контрольной карты по количественному признаку сделаем предположение, что постоянная времени τ — случайная величина с нормальным распределением, контрольные границы определяются 6σ интервалом. Принимая во внимание, что нормальная случайная величина полностью определяется двумя параметрами: положением центра рассеивания a (средним значением) и величиной стандартного отклонения σ , построим по результатам ряда экспериментов контрольную карту Шухарта ($\bar{X} - R$ -карта).

Измерения проводились циклами по десять тестов каждый час в течении рабочего дня. Результаты измерений одного модуля зажигания сведены в табл. 2

Расчет контрольных границ проводим по формулам:

$$UCL_R = D_4 \bar{R}, \quad (6)$$

$$UCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R}, \quad (7)$$

где $\bar{R} = 0,081$ мс — среднее значение размахов группы измерений; $\bar{\bar{X}} = 17,074$ мс — среднее значение средних по подгруппам (табл. 2).

Коэффициенты для расчета контрольных границ карты Шухарта, зависящие от объема подгруппы n , сведены в табл. 3 [5, 6].

При проведенных экспериментальных исследованиях объем подгруппы (число измерений в одном цикле) составляет $n = 10$. Тогда:

$$UCL_R = D_4 \bar{R} = 1,78 \cdot 0,081 = 0,144 \text{ мс,}$$

$$UCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R} = 17,074 + 0,31 \cdot 0,081 = 17,099 \text{ мс,}$$

$$LCL_R = D_3 \bar{R} = 0,22 \cdot 0,081 = 0,018 \text{ мс,}$$

Таблица 3

Таблица коэффициентов

N	2	3	4	5	6	7	8	9	10
D_4	3,27	2,57	2,28	2,11	2,00	1,92	1,86	1,82	1,78
D_3	—	—	—	—	—	0,08	0,14	0,18	0,22
A_2	1,88	1,02	0,73	0,58	0,48	0,42	0,37	0,34	0,31

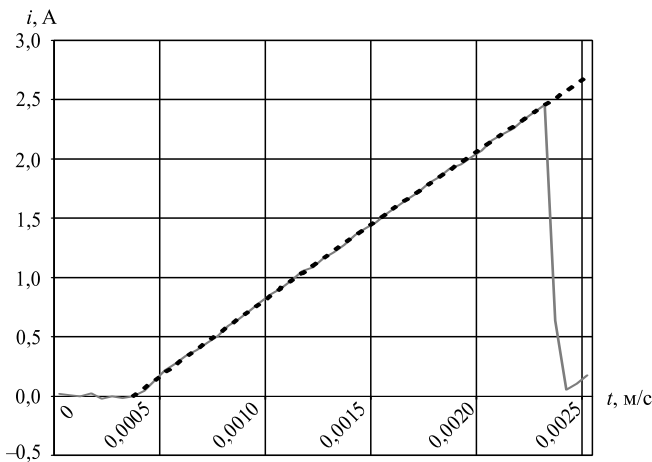


Рис. 4. Осциллограмма тока в первичной обмотке заведомо неисправного модуля зажигания

— экспериментальная кривая; — — — теоретическая кривая

$$LCL_{\bar{X}} = \bar{X} - A_2 \bar{R} = 17,074 - 0,31 \cdot 0,081 = 17,048 \text{ мс.}$$

Исследование неисправного изделия

На рис. 4 представлена осциллограмма изменения тока в первичной обмотке заведомо неисправного модуля зажигания (несколько короткозамкнутых витков в первичной обмотке, приводящих к снижению энергии разряда) в течение одного тестового импульса.

Проводим серию экспериментов с заведомо неисправными электроизделиями. Определяем среднее значение $\bar{\tau}$ для заведомо неисправного модуля по формуле:

$$\bar{\tau} = \frac{\sum_{i=1}^{20} \tau_i}{20} = 19,801 \text{ мс.}$$

Вычисленное среднее значение постоянной времени принимаем за действительное для неисправного модуля зажигания.

Активное сопротивление первичной обмотки неисправного модуля зажигания:

$$R1_{\text{неисп}} = 0,69 \text{ Ом.}$$

Полученные из базы данных диагностического комплекса значения постоянной времени (пп. 5, 6 программы экспериментального исследования) сведены в табл. 4.

Определяем среднее значение $\bar{\tau}_{\text{дк}}$ по формуле:

$$\bar{\tau}_{\text{дк}} = \frac{\sum_{i=1}^{10} \tau_{\text{дк}i}}{10} = 19,897 \text{ мс.}$$

Абсолютная погрешность измерений диагностического комплекса:

$$\Delta = \bar{\tau}_{\text{дк}} - \tau, \Delta_{\text{неисп}} = 19,897 - 19,801 = 0,096 \text{ мс.}$$

Относительная погрешность измерений диагностического комплекса:

$$\gamma_{\text{неисп}} = \frac{\Delta_{\text{неисп}}}{\tau} \cdot 100 \%,$$

$$\gamma_{\text{неисп}} = \frac{0,096}{19,801} \cdot 100 \% = 0,486 \%.$$

Таким образом, относительная погрешность измерений в данном случае менее 0,5 %.

Относительное изменение значений диагностических параметров при наличии неисправности в модуле зажигания определим по формуле:

$$\%X = \frac{|X_{\text{неисп}} - X_{\text{исп}}|}{X_{\text{исп}}} \cdot 100 \%,$$

где $X_{\text{исп}}$ — значение диагностического параметра для исправного модуля зажигания; $X_{\text{неисп}}$ — значение диагностического параметра для неисправного модуля зажигания.

$$\%\tau = \frac{|\tau_{\text{неисп}} - \tau_{\text{исп}}|}{\tau_{\text{исп}}} \cdot 100 \% = 15,79 \%,$$

$$\%R1 = \frac{|R1_{\text{неисп}} - R1_{\text{исп}}|}{R1_{\text{исп}}} \cdot 100 \% = 2,82 \%.$$

При наличии в первичной обмотке модуля зажигания нескольких короткозамкнутых витков активное сопротивление первичной обмотки изменяется на 2,82 %, что не превышает допуска на параметр, а постоянная времени тока переходного процесса изменяется на 15,79 %, выходя за поле

Таблица 4

Результаты эксперимента

№ теста	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
τ , мс	19,895	19,897	19,904	19,887	19,893	19,901	19,905	19,892	19,895	19,901

допуска. Таким образом, применение в качестве диагностического параметра постоянной времени тока переходного процесса увеличивает полноту диагностирования, а следовательно, повышает качество диагностирования автомобильного электрооборудования [7].

Продолжительность диагностирования всего комплекса электрооборудования одного автомобиля при применении разработанного диагностического комплекса составляет 5,2 мин, что на 23,1 % меньше времени диагностирования с помощью диагностического комплекса стандартного оборудования, установленного на финише сборочных операций. Причем, на 21,7 % время диагностирования сокращается за счет оптимизации действий оператора-диагноста, а на 1,4 % — за счет применения нового метода диагностирования.

Работа подготовлена при поддержке гранта Президента РФ НШ-2515.2020.8.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мороз С. Автоматизация диагностической техники // Автомобильный транспорт. — 1990. — № 11. — С. 32–34.
2. Анализ измерительных систем. MSA / Пер. с англ. — Н. Новгород: АО "НИЦ КД", СМЦ "Приоритет", 1997.
3. Годлевский В. Е., Плотников А. Н., Юнак Г. Л. Применение статистических методов в автомобилестроении / Под ред. А. В. Васильчука. — Самара: ГП "Перспектива", 2003. — 196 с.
4. Аналитический комплекс прогнозирования надежности электромобилей и автомобилей с комбинированной силовой установкой // В. Н. Козловский, Н. И. Горбачевский, А. Г. Сорокин, В. Б. Кислинский, Л. Х. Мифтахова // Вестник Казанского технологического университета. — 2014. — Т. 17. — № 3. — С. 227–229.
5. Козловский В. Н., Заятров А. В. Проблема стратегического планирования улучшения качества и надежности системы электрооборудования автомобилей // Электроника и электрооборудование транспорта. — 2012. — № 1. — С. 44–47.
6. Электронная система регулирования скорости движения автомобиля в режимах поддержания и ограничения скорости / В. В. Дебелов, В. В. Иванов, В. Н. Козловский, В. И. Строганов, В. Е. Ютт // Грузовик. — 2013. — № 12. — С. 19–23.
7. Измерения в промышленности / Под ред. П. Профоса: Справочник. Ч. I. — М.: Металлургия, 1990.
8. Козловский В. Н., Строганов В. И. Моделирование систем электромобилей и автомобилей с комбинированной силовой установкой в процессах проектирования и производства: монография. — М.: МАДИ, 2014. — 264 с.
9. Пьянов М. А., Козловский В. Н. Обеспечение качества процесса диагностирования электрооборудования автомобилей: монография. — Самара: Изд-во СамНЦ РАН, 2014. — 150 с.
10. Kozlovsky V., Klochkov Y., Ostapenko M. Conformity assessment of car quality databases exemplified on the case of the Russian car manufacturer "AUTOVAZ" // В сб.: 5th International Conference on Reliability, Infocom Technologies and Optimization, ICRITO 2016: Trends and Future Directions 5, Trends and Future Directions. — С. 57–60.

ИЗДАТЕЛЬСТВО

"ИННОВАЦИОННОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ"

принимает подписку на журнал

"ГРУЗОВИК"

ТРАНСПОРТНЫЙ КОМПЛЕКС. СПЕЦТЕХНИКА

на 2021 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 629.113

DOI: 10.36652/1684-1298-2020-12-13-20

И. М. Рябов, д-р техн. наук, проф., e-mail: rjabov1603@mail.ru, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ), г. Волгоград,
Ф. Р. Аль-Сумайдаи, аспирант, e-mail: farqad485@gmail.com, ВолгГТУ,
А. Ю. Соколов, канд. техн. наук, e-mail: sokolov.a82@yandex.ru, ВА МВД России, г. Волгоград,
С. В. Данилов, канд. техн. наук, e-mail: sergey-danilov1@ya.ru, СКГА, г. Черкесск,
А. Х. Аль-Джумаили, аспирант, e-mail: abdulatar_k@mail.ru, Московский политех, г. Москва

АНАЛИЗ МОЩНОСТИ МЕХАНИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ ДВС И ОПРЕДЕЛЕНИЕ УРОВНЯ ИХ ПОВЫШЕНИЯ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОГО СЛУЖЕБНОГО ТОРМОЖЕНИЯ АВТОМОБИЛЯ ДВИГАТЕЛЕМ

Проведен анализ мощности механических потерь двигателя внутреннего сгорания и рассмотрены методы ее определения. Показано, что мощность механических потерь поршневого двигателя невелика, и она быстро уменьшается при снижении частоты вращения вала двигателя, что негативно влияет на эффективность торможения.

Ключевые слова: автомобиль, торможение двигателем внутреннего сгорания, мощность механических потерь.

Power analysis of internal combustion engine mechanical losses was performed and methods of its determination were considered. It is shown that the power of the mechanical losses of the piston engine is small, and it quickly decreases with a decrease in the speed of the engine shaft, which negatively affects the braking efficiency.

Keywords: car, braking by internal combustion engine, power of mechanical losses.

Важной задачей автомобильного транспорта является перемещение грузов и пассажиров с максимальной безопасностью и экономической эффективностью. Перспективным направлением решения этой задачи является повышение эффективности торможения автомобилей двигателем.

Несколько десятилетий назад водители часто применяли торможение автомобиля двигателем, поскольку эффективность рабочей тормозной системы была недостаточной. В настоящее время торможение двигателем опытные водители применяют для повышения безопасности в следующих ситуациях: при торможении на скользкой дороге; при затяжном спуске; при отказе тормозов. Частое использование торможения автомобиля ДВС не только повышает безопасность движения, но позволяет экономить ресурсы и улучшить экологическую безопасность автомобиля вследствие экономии топлива, поскольку при этом инжекторы не впрыскивают топливо в двигатель. В работе [1] проведена оценка ресурсосбережения при использовании ДВС в качестве тормоза-замедлителя. Оценка показала, что постоянное исполь-

зование при служебных торможениях (которые составляют 95...97 % от всех случаев торможения) легкового автомобиля-такси торможения двигателем дает значительный социально-экономический эффект. Так, если при каждом торможении двигателем снижать скорость автомобиля в 2 раза (что можно сделать без переключения передач или с одним переключением на низшую передачу непосредственно перед торможением), то ресурс тормозных колодок увеличивается в 4 раза, а расход топлива сокращается на 5...7 %, что практически компенсирует амортизационные отчисления.

Однако в связи с высокой эффективностью современных рабочих тормозных систем постоянно торможение двигателем используют не все водители. Некоторые считают, что это вредно для ДВС и трансмиссии, но это ошибочное мнение, при правильном применении торможение двигателем не приводит к негативным последствиям ни для двигателя, ни для трансмиссии. Удобно использовать этот метод торможения на автомобилях с автоматической коробкой передач путем переключения на пониженную ступень, поскольку

при этом можно в конце процесса торможения педалью тормоза снизить скорость до нуля, так как автоматика сама отсоединит двигатель от трансмиссии. Опрос 6637 водителей на тему "Вы тормозите двигателем?", проведенный Борисом Игнашиным, показал следующие результаты:

Да, постоянно 2890 чел. — 43,5 %
 Иногда бывает. 2867 чел. — 43,2 %
 Нет, не торможу двигателем . . . 843 чел.— 13,3 %

Таким образом, в настоящее время постоянно используют торможение двигателем меньше половины опрошенных водителей. Это связано с его низкой эффективностью, особенно на высоких передачах, поскольку мощность механических потерь ДВС мала, мал и тормозной момент, он в несколько раз меньше его максимального крутящего момента. Кроме того, водитель не может плавно регулировать мощность механических потерь, а только ступенчато, путем переключения передач, причем на каждой передаче в процессе торможения она непрерывно уменьшается (в 2 и более раз) при снижении частоты вращения коленчатого вала до частоты, близкой частоте холостого хода двигателя. Поэтому для получения достаточного замедления автомобиля водитель вынужден переключать передачи в процессе торможения, что требует от него специальных навыков и усложняет работу.

В связи с этим повышение эффективности торможения автомобиля двигателем является весьма актуальной проблемой, которая решается анализом мощности механических потерь ДВС.

Анализ мощности механических потерь ДВС и методов ее определения

Доля механических потерь на номинальном режиме работы бензиновых автомобильных двигателей и автотракторных дизелей без наддува составляет величину от 15 до 25 % от индикаторной мощности на номинальном режиме работы [2]. Причем отечественные ДВС имеют большее значение этого показателя, чем их зарубежные аналоги, следовательно, тормозные свойства к ним более высокие.

Мощность механических потерь поршневого ДВС — это комплексный показатель его тормозных свойств, она складывается из следующих основных составляющих:

$$N_m = N_T + N_{\text{нас}} + N_{\text{пр}}, \quad (1)$$

где N_T — мощность потерь на трение; $N_{\text{нас}}$ — мощность насосных потерь, которая затрачивается на то, чтобы всосать в цилиндр, а затем вытолкнуть из него газы; $N_{\text{пр}}$ — потери мощности на привод вспомогательных механизмов: жидкостного, масляного и топливного насосов, генератора, прерывателя-распределителя, вентилятора и др.

Результаты исследования мощности составляющих механических потерь дизельного двигателя 4Ч 10,5/12 на номинальном режиме работы при частоте вращения 2000 мин⁻¹ приведены в табл. 1.

Анализ данных табл. 1 показывает, что основные потери происходят в цилиндро-поршневой группе и в кривошипно-шатунном механизме.

Результаты сравнительных испытаний дизеля 4Ч 10,5/12 и бензинового двигателя ЗМЗ-402.10 в виде абсолютных значений механических потерь для различных составляющих приведены на рис. 1 [2].

Сравнение распределения составляющих механических потерь по узлам и агрегатам бензинового и дизельного ДВС (см. рис. 1) показывает, что они отличаются незначительно, причем у дизеля потери в цилиндро-поршневой группе и кривошипно-шатунном механизме несколько выше, а насосные потери и потери в газораспределительном механизме — несколько ниже. Это связано с тем, что у дизеля степень сжатия значительно выше.

Мощность механических потерь ДВС зависит от частоты вращения его вала. Ее определяют на

Таблица 1

Мощность составляющих механических потерь дизельного двигателя 4Ч 10,5/12

Составляющая	Абсолютное значение механических потерь, кВт	Относительное значение механических потерь, %
Цилиндро-поршневая группа	6,5	39
Кривошипно-шатунный механизм	4,1	24
Насосные потери	2,4	14
Газораспределительный механизм	1,8	11
Насосы (масляный + топливный)	1,5	9
Вентилятор + генератор	0,5	3
Общие	16,8	100

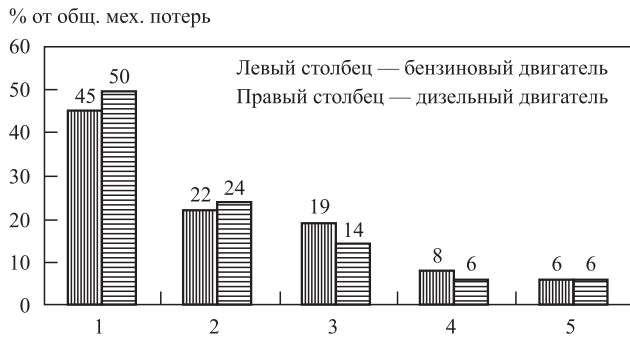


Рис. 1. Распределение составляющих механических потерь по основным узлам и агрегатам бензинового и дизельного ДВС:

1 — потери в цилиндро-поршневой группе; 2 — потери в кривошипно-шатунном механизме; 3 — насосные потери энергии на газообмен; 4 — потери в газораспределительном механизме; 5 — потери в навесных агрегатах

стенде, как на работающем двигателе, так и в режиме принудительного холостого хода [3, 4]. Для этого используют различные методы:

- 1) индцированием давления в цилиндрах ДВС;
- 2) последовательным отключением цилиндров;
- 3) экстраполяцией нагрузочной характеристики;
- 4) методов выбега;
- 5) принудительным прокручиванием коленчатого вала ДВС.

Наиболее точным методом определения характеристики механических потерь ДВС является метод принудительного прокручивания коленчатого вала ДВС электродвигателем на стенде с регистрацией параметров процесса (рис. 2).

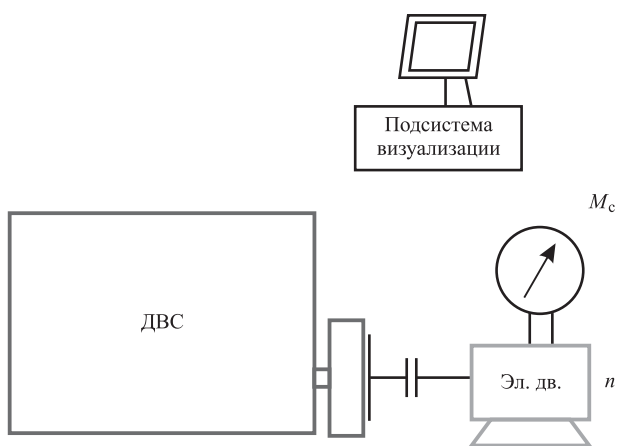


Рис. 2. Стенд для определения характеристики мощности механических потерь ДВС методом принудительного прокручивания коленчатого вала электродвигателем с визуализацией и регистрацией параметров: момента сопротивления M_c ; частоты вращения n_B

На стенде получают зависимость момента сопротивления ДВС от частоты вращения его вала. Мощность механических потерь ДВС рассчитывают по формуле:

$$N_M = M_c n_B / 9549, \quad (2)$$

где M_c — момент сопротивления двигателя (Н·м); N_M — мощность механических потерь в ДВС (кВт); n_B — частота вращения вала двигателя (об/мин).

На рис. 3 приведены зависимости мощности механических потерь бензиновых двигателей ВАЗ-21124 (кривая 1) и ВАЗ-21126 с модернизированным поршнем (кривая 2) от частоты вращения коленчатого вала [5].

Анализ рис. 4 показывает, что мощность механических потерь поршневого двигателя мала, она в несколько раз меньше его тяговой мощности и она быстро уменьшается при снижении частоты вращения вала двигателя, что негативно влияет на эффективность торможения. За счет оптимизации параметров поршня механические потери ДВС дополнительно снижаются. Это является целью практически всех исследователей ДВС [5–10], однако для повышения эффективности торможения автомобиля двигателем его механические потери следует увеличивать, но только в процессе торможения. Определим, насколько необходимо увеличить мощность механических потерь двигателя, чтобы он обеспечивал эффективное служебное торможение автомобиля.

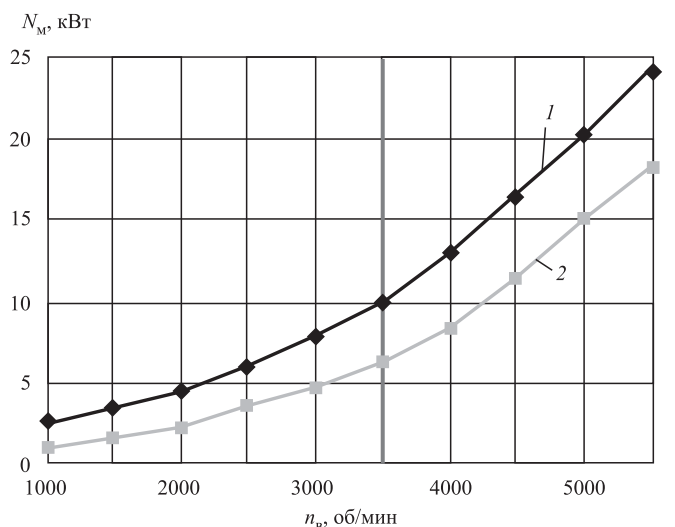


Рис. 3. Характеристики мощности механических потерь бензиновых двигателей:

ВАЗ-21124 (кривая 1) и ВАЗ-21126 с модернизированным поршнем (кривая 2)

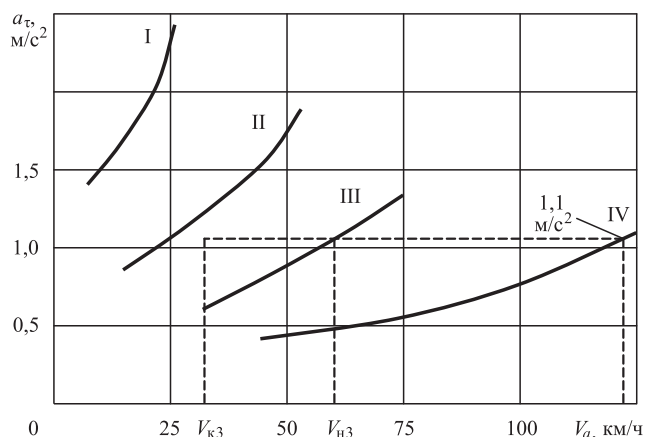


Рис. 4. Зависимости замедлений современного легкового автомобиля от скорости в процессе торможения ДВС на горизонтальном участке дороги на различных передачах

Определение уровня повышения мощности механических потерь ДВС, обеспечивающего эффективное служебное торможение автомобиля двигателем

Сначала определим величину замедления, при которой торможение автомобиля двигателем является эффективным. Систему торможения автомобиля ДВС относят к вспомогательной тормозной системе, но при определенных условиях ее можно отнести и к запасной тормозной системе. Вспомогательную тормозную систему можно использовать как отдельно, так и вместе с рабочей тормозной системой. На автомобилях с повышенной массой для повышения эффективности торможения на спусках двигатель автомобиля снабжается, как правило, моторным тормозом-заслонкой, заслонка которого перекрывает выпускной трубопровод, что повышает давление в нем и тормозной момент ДВС.

По ГОСТ Р 51709—2001 [12] вспомогательную тормозную систему проверяют в дорожных ус-

ловиях путем приведения ее в действие и измерения замедления автомобиля при торможении в диапазоне скоростей 25—35 км/ч. При этом в трансмиссии должна быть включена передача, исключающая превышение максимальной допустимой частоты вращения коленчатого вала двигателя. Вспомогательную тормозную систему считают выдержавшей проверку эффективности торможения, если она обеспечивает установившееся замедление не менее $0,5 \text{ м/с}^2$ для автомобиля разрешенной максимальной массы и $0,8 \text{ м/с}^2$ — для автомобиля в снаряженном состоянии с водителем.

Запасная тормозная система предназначена для использования при отказе или неисправности рабочей тормозной системы. Она может быть в 2 раза менее эффективна, чем рабочая тормозная система, например, ее функции может выполнять один из контуров тормозного привода рабочей двухконтурной тормозной системы или стояночная тормозная система. Однако последняя должна обеспечивать пропорциональность между усилием на педали (рычаге) и тормозным моментом на колесах автомобиля. Этому требованию часто не удовлетворяет, например, стояночная тормозная система легковых автомобилей, которая управляется рычагом, поскольку она не обеспечивает плавное, адекватное регулирование замедления автомобиля, пропорциональное усилию воздействия водителя на орган управления.

Двигатель на автомобиле со ступенчатой трансмиссией также не удовлетворяет требованию ГОСТа к запасной тормозной системе. Однако он будет им удовлетворять, если автомобиль снабжен вариатором, передаточное число которого водитель может плавно изменять с помощью педали или рычага. Нормативы эффективности торможения автомобиля при помощи запасной тормозной системы при проверках на стендах, а также в дорожных условиях приведены в табл. 2 и 3 соответственно.

Таблица 2

Нормативы эффективности торможения автомобиля при помощи запасной тормозной системы при проверках на стендах

Наименование вида АТС	Категория АТС	Усилие на органе управления, Н	Удельная тормозная сила, не менее
Пассажирские и грузопассажирские автомобили	M_1	686 (589*)	0,26
	M_1, M_2	686 (589*)	0,23
Грузовые автомобили	N_1, N_2, N_3	686 (589*)	0,23

* Для АТС с ручным органом управления запасной тормозной системы.

Нормативы эффективности торможения автомобиля при помощи запасной тормозной системы при проверках в дорожных условиях. Начальная скорость торможения — 40 км/ч

Наименование вида АТС	Категория АТС	Усилие на органе управления, Н	Установившееся замедление, м/с, не менее	Время срабатывания тормозной системы, с, не более
Пассажирские и грузопассажирские автомобили	M ₁	490 (392*)	2,60	0,6
	M ₁ , M ₂	686 (589*)	2,25	0,8 (1,0**)
Грузовые автомобили	N ₁ , N ₂ , N ₃	686 (589*)	2,25	0,8 (1,0**)

* Для АТС с ручным органом управления запасной тормозной системы.
** Для АТС, изготовленных до 01.01.81.

Сравнение нормативных значений установленных замедлений вспомогательной и запасной тормозных систем показывает, что последняя должна обеспечивать в 3 раза более высокие замедления.

Оценку соответствия эффективности торможения ДВС требованиям ГОСТа для вспомогательной тормозной системы проведем на примере современного легкового автомобиля. Для этого получим формулу зависимости замедлений автомобиля на различных передачах от скорости движения в процессе торможения.

Замедление автомобиля при торможении двигателем на горизонтальном участке дороги вызывается тремя силами и определяется по формуле:

$$a_{\tau} = (F_{\text{тд}} + F_{\text{к}} + F_{\text{в}}) / \delta m_a, \quad (3)$$

где $F_{\text{тд}}$ — тормозная сила двигателя; $F_{\text{к}}$ — сила сопротивления качению колес; $F_{\text{в}}$ — сила сопротивления воздуха; δ — коэффициент учета вращающихся масс; m_a — масса автомобиля.

Тормозная сила двигателя [11]:

$$F_{\text{тд}} = \frac{M_{\text{ТД0}} i_{\text{TR}}}{r_{\text{D}} \eta_{\text{TR}}} + \frac{b_{\tau} i_{\text{TR}}^2 V_a}{r_{\text{D}} r_{\text{K}} \eta_{\text{TR}}}, \quad (4)$$

где $M_{\text{ТД0}}$ — момент трения в двигателе при минимальной угловой скорости; i_{TR} — передаточное число трансмиссии; V_a — скорость движения автомобиля; η_{TR} — коэффициент полезного действия трансмиссии; r_{K} — радиус качения колеса; b_{τ} — коэффициент повышения механических потерь от угловой скорости двигателя.

Сила сопротивления качению колес:

$$F_{\text{K}} = f m_a g, \quad (5)$$

где f — коэффициент трения качения колес; g — ускорение свободного падения.

Сила сопротивления воздуха:

$$F_{\text{в}} = W_{\text{в}} V_a, \quad (6)$$

где $W_{\text{в}}$ — фактор обтекаемости [11].

Тогда, подставив в формулу (3) выражения (4), (5) и (6), получим зависимость замедления автомобиля на различных передачах от скорости торможения скорости в процессе торможения:

$$a_{\tau} = \frac{1}{\delta m_{\tau}} \left(\frac{M_{\text{ТД0}} i_{\text{TR}}}{r_{\text{K}} \eta_{\text{TR}}} + \frac{b_{\tau} i_{\text{TR}}^2 V_a}{r_{\text{K}}^2 \eta_{\text{TR}}} + f m_{\tau} g + W_{\text{в}} V_a \right), \quad (7)$$

где $M_{\text{ТД0}}$ — момент трения в двигателе при минимальной угловой скорости; i_{TR} — передаточное число трансмиссии; η_{TR} — коэффициент полезного действия трансмиссии; r_{K} — радиус качения колеса; b_{τ} — коэффициент повышения механических потерь от угловой скорости двигателя.

Расчетные зависимости замедлений современного легкового автомобиля от скорости в процессе торможения ДВС на горизонтальном участке дороги на различных передачах приведены на рис. 4 [11].

Анализ рис. 4 показывает, что при торможении автомобиля двигателем со скорости 120 км/ч на IV передаче замедление автомобиля уменьшается в 2,75 раза с 1,1 до 0,4 м/с², что связано с особенностью характеристики мощности механических потерь ДВС (см. рис. 3). При этом скорость автомобиля может быть снижена в 3 раза до 40 км/ч. Для дальнейшего снижения скорости целесообразно перейти на II передачу. Тогда замедление сначала увеличится до 1,5 м/с², а на скорости 20 км/ч снизится до 0,9 м/с². Снизить скорость автомобиля до нуля следует с помощью рабочей тормозной системы. Для более комфортного торможения можно использовать другую технологию: снизить

скорость со 120 до 60 км/ч; включить III передачу и начать торможение с тем же небольшим начальным замедлением — $1,1 \text{ м/с}^2$; завершить торможение с помощью рабочей тормозной системы. Но при этом тормозной путь будет больше и может оказаться неприемлемым. На рис. 4 видно, что чем ниже передача, тем круче кривые замедления, т. е. оно интенсивнее снижается. Это затрудняет оценку эффективности торможения, так как в ГОСТе даны значения для установившихся замедлений, характерных для рабочей тормозной системы.

В работе [14] отмечается, что обычно в условиях эксплуатации используется плавное служебное торможение, не вызывающее неприятные ощущения и дискомфорт к пассажиров с замедлением $1,5...2,5 \text{ м/с}^2$. Анализ рис. 4 показывает, что замедление в указанных пределах можно получить только в случае, если начинать торможение двигателем со скорости 25 км/ч на I передаче. Однако это нецелесообразно, поскольку торможение в городских условиях с высокой вероятностью начинается со скорости около 40 км/ч [1]. В работе [14] также отмечается, что скорость начала торможения при испытаниях всех категорий автотранспортных средств равна 40 км/ч.

Если снижать скорость с 40 до 25 км/ч рабочей тормозной системой, а затем включить I передачу и с 25 до 10 км/ч снижать скорость двигателем, то практически вся кинетическая энергия автомобиля будет погашена рабочей тормозной системой, следовательно, использование двигателя в качестве тормоза по такой технологии нецелесообразно. Тормозить двигателем следует с высокой скорости, сразу после возникновения необходимости снизить скорость автомобиля.

Анализ рис. 4 также показывает, что торможение автомобиля в диапазоне скорости 25–35 км/ч, определенной ГОСТом [12] при испытаниях вспомогательной тормозной системы, может осуществляться на II передаче, на которой минимальное замедление ($0,9 \text{ м/с}^2$) выше определенного ГОСТом установившегося замедления для автомобиля разрешенной максимальной массы ($0,8 \text{ м/с}^2$). Следовательно, можно сделать вывод, что эффективность торможения современного легкового автомобиля двигателем удовлетворяет требованию действующего ГОСТа для вспомогательной тормозной системы.

Однако низкие значения замедлений в ГОСТе для вспомогательной тормозной системы не обеспечивают осуществление эффективных служебных торможений автомобиля при эксплуатации в городских условиях. В литературе приводятся

значительно более высокие значения замедлений. Например, в учебнике В. Н. Кравца [11] указывается, что к служебным относятся торможения автомобиля, которые осуществляются с замедлением $0,8...1,7 \text{ м/с}^2$. В работе [15] отмечается, что эффективные служебные торможения автомобиля осуществляются с замедлениями в пределах $2,5...3,0 \text{ м/с}^2$. Для внесения ясности в этот вопрос авторами было проведено исследование замедления маршрутного такси при эксплуатации на городском маршруте. В результате получено, что замедления маршрутного такси находятся в близких к указанным в работе [15] пределах $2,66...3,08 \text{ м/с}^2$. С меньшим замедлением водитель тормозил редко, поскольку тогда тормозной путь становится неприемлемо большим. Таким образом, верхним пределом замедления при служебном торможении легковых автомобилей, число которых составляет в РФ 84 % общего количества автотранспортных средств, можно принять $3,0 \text{ м/с}^2$.

Из анализа рис. 4 следует, что торможение двигателем со скорости 40 км/ч целесообразно начинать на II передаче с замедления $1,5 \text{ м/с}^2$, а заканчивать на скорости около 20 км/ч с замедлением $0,9 \text{ м/с}^2$. Поскольку характеристика замедления автомобиля на II передаче на участке изменения скорости от 40 до 20 км/ч практически линейная, то условно можно считать замедление автомобиля равнозамедленным, с замедлением:

$$a_{\text{ср}} = 0,5(a_{\text{н}} + a_{\text{к}}), \quad (8)$$

где $a_{\text{н}}$ и $a_{\text{к}}$ — замедления при начальной и конечной скоростях соответственно.

При этом среднее замедление будет $a_{\text{ср}} = 1,2 \text{ м/с}^2$, что значительно ниже рекомендуемых значений. Путь, пройденный автомобилем в процессе торможения двигателем при уменьшении скорости от $v_{\text{н}} = 40 \text{ км/ч}$ до $v_{\text{к}} = 20 \text{ км/ч}$, считая, что он движется с постоянным средним замедлением, определим по формуле:

$$S_{\text{д}} = [(v_{\text{н}})^2 - (v_{\text{к}})^2] / 2a_{\text{ср}}, \quad (9)$$

$$S_{\text{д}} = [11,1^2 - 5,5^2] / 2 \cdot 1,2 = 38,5 \text{ м.}$$

После торможения двигателем водителю необходимо снизить скорость до нуля рабочей тормозной системой. Тормозной путь при уменьшении скорости от v' до нуля рабочей тормозной системой определим по формуле:

$$S_{\text{тор}} = (v_{\text{н}})^2 / 2a_{\text{ср}}, \quad (10)$$

$$S_{\text{тор}} = (5,55)^2 / 2 \cdot 1,2 = 12,8 \text{ м.}$$

Тогда суммарный тормозной путь автомобиля до остановки равен 51,3 м. Такой большой тормозной путь не всегда может быть реализован в городе, поэтому служебное торможение со средним замедлением $a_{\text{ср}} = 1,2 \text{ м/с}^2$, которое обеспечивает ДВС современного легкового автомобиля на второй передаче, нельзя считать эффективным. Тормозной путь автомобиля до остановки при осуществлении служебного торможения с верхним пределом замедления $a_{\text{ср}} = 3,0 \text{ м/с}^2$ составляет 20,5 м, т. е. в 1,5 раза короче.

На рис. 5 приведены обобщенные зависимости тормозного пути от скорости автомобиля при торможении рабочей тормозной системой с начальной скорости 40 км/ч при экстренном и служебном торможении.

Анализ рис. 5. показывает следующие особенности процесса торможения. Если тормозной путь при служебном торможении, который равен 30 м, разбить на 2 равных по изменению скорости участка, то на втором участке торможения, соответствующем снижению скорости с 20 до 0 км/ч, тормозной путь при снижении скорости уменьшается быстрее, чем на первом участке. Так, если на первом участке он составил (без учета пути, пройденного за время срабатывания тормозов) 18 м, то на втором участке торможения он сократился до 12 м. Зная тормозной путь и начальную скорость, можно определить среднее установившееся замедление при служебном торможении рабочей тормозной системой:

$$a_{\text{ср}} = (v_{\text{н}})^2 / 2S_{\text{тор}}, \quad (11)$$

$$a_{\text{ср}} = 11,1^2 / 2 \cdot 30 = 2,05 \text{ м/с}^2.$$

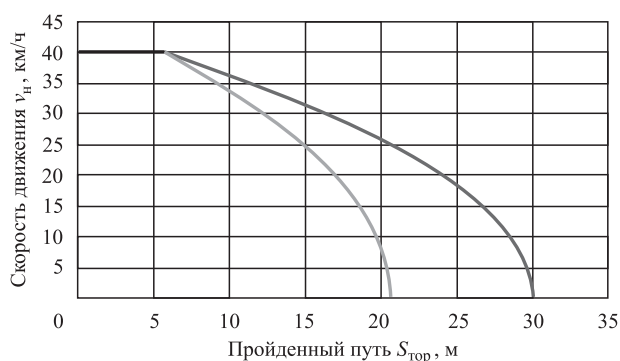


Рис. 5. Зависимости тормозного пути от скорости автомобиля при торможении рабочей тормозной системой с начальной скорости 40 км/ч при экстренном и служебном торможении

Тормозной путь до полной остановки автомобиля с использованием ДВС состоит из двух участков, длина которых определяется по формулам (9) и (10). В сумме они должны составлять также 30 м. Поскольку водитель может нажать на педаль тормоза и начать подключение рабочей тормозной системы во время торможения двигателем, то время на переход с торможения двигателем на торможение рабочей тормозной системой будем считать равным нулю. Поэтому за нижний предел максимального замедления при служебном торможении легковых автомобилей можно принять $2,0 \text{ м/с}^2$.

Таким образом, проведенный анализ показал, что для обеспечения эффективного служебного торможения автомобиля двигателем среднее замедление, а следовательно, среднюю мощность механических потерь ДВС необходимо увеличить в 1,7–2,5 раза. Эти значения можно считать исходными данными для проектирования моторных тормозов.

Заключение

1. Показано, что частое применение торможения автомобилей двигателем для служебных торможений является перспективным направлением повышения безопасности и эффективности перевозок грузов и пассажиров.

2. Анализ особенностей мощности механических потерь ДВС показал, что она мала и быстро уменьшается при снижении частоты вращения коленчатого вала двигателя, что не обеспечивает эффективное служебное торможение автомобиля двигателем и не позволяет использовать его часто для получения присущих ему преимуществ.

3. В результате анализа особенностей мощности механических потерь ДВС, расчетных зависимостей замедлений автомобиля от скорости, а также результатов существующих и собственных исследований по замедлению автомобиля при служебном торможении выявлено, что для обеспечения эффективного служебного торможения двигателем уровень мощности его механических потерь необходимо увеличить в 1,7–2,5 раза. Эти значения можно считать исходными данными для проектирования систем управления механическими потерями ДВС.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Рябов И. М., Аль-Сумайдаи Ф. Р.** Оценка ресурсосбережения при использовании ДВС автомобиля в качестве тормоза-замедлителя при служебных

- торможениях // Энерго- и ресурсосбережение: промышленность и транспорт (Волгоградский государственный технический университет). — 2019. — № 4 (21). — С. 33—37.
2. **Путинцев С. В.** Механические потери в поршневых двигателях: специальные главы конструирования, расчета и испытаний: уч. пособие. — М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2011. — 287 с.
 3. **Гребенников С. А., Иванов Р. В.** Способ определения механических потерь автотракторных двигателей // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н. И. Вавилова. — 2008. — № 4. — С. 62—66.
 4. **Иванов Р. В.** Диагностирование и управление техническим состоянием двигателя по мощности механических потерь // Логистика и экономика ресурсосбережения и энергосбережения в промышленности: сб. науч. тр. Т. 3. — Саратов: СГТУ, 2007. — С. 114—117.
 5. **Якунин Р. В.** Методические основы оптимизации профиля юбки поршня ДВС с целью снижения механических потерь: дис. ... канд. техн. наук: 05.04.02. — М., 2012. — 127 с.
 6. **Снижение механических потерь в быстроходном дизеле воздушного охлаждения совершенствованием конструкции деталей ЦПГ:** дис. ... канд. техн. наук: 05.04.02. — Москва, 2017. — 68 с.
 7. **Карелина М. Ю., Гайдар С. М., Пыдрин А. В.** Исследование влияния наноструктурирования поверхностей трибосопряжений на эксплуатационные характеристики двигателей // Грузовик. — 2015. — № 2. — С. 29—37.
 8. **Путинцев С. В.** Снижение механических потерь в автотракторных двигателях внутреннего сгорания: дис. ... д-ра техн. наук. М., 1997. — 390 с.
 9. **Повышение износостойкости узлов трения / С. М. Гайдар, М. Ю. Карелина, Е. А. Петровская, Э. А. Зиятдинов // Труды ГОСНИТИ, 2016. Т. 122. — С. 40—47.**
 10. **Kennedy M., Hoppe S., Esser J.** Piston ring coating reduces gasoline engine friction // MTZ. — 2012. — N 5. — P. 41—43.
 11. **Кравец В. Н.** Теория автомобиля: учебник / В. Н. Кравец; Нижегород. гос. технич. ун-т им. Алексея. 2-е изд., перераб. — Нижний Новгород, 2013. — 413 с.
 12. **Рябов И. М., Аль-Сумайдаи Ф. Р.** Особенности механических потерь в ДВС и их влияние на процесс торможения автомобиля двигателем / Энерго- и ресурсосбережение: промышленность и транспорт (Волгоградский государственный технический университет). — 2019. — № 4 (29). — С. 37—43.
 13. **ГОСТ Р 51709—2001.** Автотранспортные средства. Требования безопасности к техническому состоянию и методы проверки [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://xn--glaldfa.xn--plai/gost-51709-2001.pdf>.
 14. **Автомобили:** Эксплуатационные свойства: Учебник для вузов. — М.: Издательский центр "Академия", 2005. — 240 с.
 15. **Литвинов А. С., Фаробин Я. Е.** Автомобиль: Теория эксплуатационных свойств: Учебник для вузов. — М.: Машиностроение, 1989. — 240 с.

Новый эталонный офис на "КАМАЗе"

В рамках работы по развитию Производственной системы "КАМАЗ" в блоке развития появился новый эталонный офисный участок.

Современные реалии диктуют новые требования к организации эффективных рабочих процессов не только в производстве, но и в офисе. Лучшим по этим показателям в блоке развития "КАМАЗа" по итогам II квартала стал отдел моделирования технологий Технологического центра. По словам начальника отдела Александра Маркелова, идея совершенствования рабочего места по разработке технологических процессов возникла в момент создания департамента моделирования технологий. "Технолог вынужден заниматься ведением технологической документации, подбором инструмента, разработкой техпроцессов, составлением техзаданий с последующим согласованием документации в многочисленных инстанциях, — рассказал Александр Маркелов. — В результате возникают различные виды потерь. Например, "излишние запасы", когда в шкафах и на рабочих местах скапливается документация; "время ожидания", когда разрабатываемые техпроцессы согласовываются в бумажном виде; "излишняя обработка", когда для передачи согласованной документации в смежные подразделения требуется ее сканирование".

Также руководитель отметил, что сотрудников отдела оснастили мощными компьютерами с двумя мониторами и 3D-манипуляторами, которые по характеристикам не уступают современным вычислительным центрам. "Теперь мы можем одновременно работать с двумя и более источниками информации из различных корпоративных систем (TeamCenter, NX, SAP, "Комета") и специализированных ПО для 3D-моделирования технологических процессов. В итоге удалось исключить потери и соответствовать основным критериями оценки в номинации "Лучший эталонный офисный участок", — пояснил он.

Для повышения производительности и качества работы, наведения порядка и чистоты, создания комфортных условий труда было исключено ведение бумажной документации, вся технологическая документация хранится в электронном виде, внедрены бизнес-процессы для разработки и согласования технологической документации в подразделениях ПАО "КАМАЗ". Кроме того, организовано хранение конструкторско-технологической документации в системе Teamcenter.

Пресс-служба ПАО "КАМАЗ"

УДК 656.135

DOI: 10.36652/1684-1298-2020-12-21-27

А. В. Кочетков, д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО "Пермский национальный исследовательский политехнический университет", г. Пермь,

Е. М. Генсон, канд. техн. наук, e-mail: genson@pstu.ru, ФГБОУ ВО "Пермский национальный исследовательский политехнический университет", г. Пермь,

Р. Ф. Шаихов, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО "Пермский государственный аграрно-технологический университет", г. Пермь

МОДЕРНИЗАЦИЯ СТЕНДА КИ-1363-В ДЛЯ ОБКАТКИ И ИСПЫТАНИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

На сегодняшний день стенды для обкатки и испытания двигателей внутреннего сгорания активно используются как на автосервисных предприятиях, так и в учебном процессе профильных специальностей образовательных учреждений. В статье проанализирован стенд КИ-1363-В, установленный на базе кафедры технического сервиса и ремонта машин ФГБОУ ВО "Пермский ГАТУ", предложены и реализованы мероприятия по его модернизации. Кроме того, выполнен обзор аналогов, представленных на рынке, в результате которого установлено, что приобретение готового комплекса для испытания двигателей внутреннего сгорания экономически необоснованно. В ходе работы был разработан и внедрен аппаратно-программный комплекс (АПК), позволяющий автоматизировать процессы снятия рабочих характеристик с испытуемого двигателя и снизить погрешность измерений с целью повышения эффективности использования рассматриваемого стенда. Кроме того, в статье описана проведенная работа по модернизации испытуемого двигателя, реализована система управления двигателем с распределенным впрыском топлива и электронным управлением. Разработаны электронный блок управления двигателем и стендом и специализированное программное обеспечение "АПК стенда КИ-1363-В", которое во взаимодействии с программным продуктом EFI Analytics TunerStudio позволяет реализовать широкий спектр проводимых исследований и лабораторных работ, связанных с настройкой и снятием характеристик испытуемого двигателя внутреннего сгорания.

Ключевые слова: двигатель внутреннего сгорания, стенд для испытания ДВС, нагрузочная характеристика ДВС, показатели работы двигателя.

Today, stands for running in and testing internal combustion engines are actively used both at car service enterprises and in the educational process of specialized specialties of educational institutions. The article analyzes the stand KI-1363-V, installed on the basis of the department of technical service and repair of machines of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education of the Perm State Technical University, proposed and implemented measures for its modernization. In addition, a review of analogues on the market was carried out, as a result of which it was established that the purchase of a ready-made complex for testing internal combustion engines is economically unjustified. In the course of the work, a hardware and software complex (HSC) was developed and implemented, which allows automating the processes of taking performance characteristics from the engine under test and reducing the measurement error in order to increase the efficiency of using the test bench. In addition, the article describes the work carried out on the modernization of the test engine, implemented an engine management system with distributed fuel injection and electronic control. The electronic control unit for the engine and the stand and the specialized software "APK of the KI-1363-V stand" have been developed, which, in conjunction with the EFI Analytics TunerStudio software product, allows to implement a wide range of research and laboratory work related to tuning and characterizing the tested internal combustion engine...

Keywords: internal combustion engine, ICE test bench, ICE load characteristic, engine performance indicators.

Лабораторные и исследовательские работы при обучении специалистов инженерных специальностей в вузах России играют значительную роль в освоении учебного материала. Направление подготовки специалистов транспортной отрасли 23.03.03 "Эксплуатация транспортно-тех-

нологических машин и комплексов", в частности профиль "Автомобильный сервис", базируется на изучении конструкции и процессов, происходящих в автомобилестроении. Основным агрегатом транспортных средств является двигатель. Для описания процессов, происходящих

в двигателях, проводятся лабораторные работы на специальных испытательных стендах, имитирующих нагрузку на коленчатом валу с помощью асинхронного двигателя. Во многих вузах страны в 1980—1990-х гг. были установлены нагрузочные стенды, которые на сегодняшний день в связи с развитием компьютерных технологий морально и физически устарели. Они не позволяют получать оперативные и актуальные данные о характеристиках испытуемого двигателя внутреннего сгорания (ДВС). Из-за значительного износа элементов и систем стендов при снятии характеристик ДВС возникают погрешности, превышающие предельно допустимые. Таким образом, проблема модернизации лабораторных нагрузочных стендов для проведения испытаний ДВС является актуальной.

Многие вузы России активно занимаются модернизацией и цифровизацией данных стендов [1—5]. Разрабатываются устройства и специальное программное обеспечение для автоматизированного управления стендами. Проводятся исследования, направленные на повышение безопасности при проведении лабораторных работ.

Объектом проводимого исследования является испытательный стенд для двигателей внутреннего сгорания КИ-1363-В, расположенный на базе кафедры технического сервиса и ремонта машин ФГБОУ ВО "Пермский ГАТУ", г. Пермь.

Стенд для обкатки и испытания двигателей КИ-1363-В предназначен для обкатки и испытания двигателей различных марок на мотороремонтных участках автотранспортных и автосервисных предприятий. В комплект оборудования обкаточно-тормозного стенда КИ-1363-В входят: приводное устройство, расположенное на общей плите с весовым механизмом; пульт управления; устройство для крепления обкатываемых двигателей, состоящее из четырех стоек с домкратными винтами (попарно установлены на двух фундаментных плитах). Также в комплект поставляемого оборудования входят жидкостный реостат и установка для замера расхода топлива. Приводное устройство представляет собой балансирную асинхронную электрическую машину трехфазного тока. В зависимости от режима обкатки она работает как электродвигатель или генератор. Статор асинхронного электродвигателя установлен на стойках и соединен с весовым механизмом. Пульт управления смонтирован на общей плите. Контрольные приборы предназначены для определения мощности испытуемого двигателя и расхода топлива. Посредством реостата, включенного в цепь ротора

балансирной электрической машины, регулируют частоту вращения вала двигателя и необходимую нагрузку в процессе испытаний [6].

Целью исследования является повышение эффективности эксплуатации стенда для обкатки и испытания двигателей КИ-1363-В за счет разработки и внедрения аппаратно-программного комплекса (АПК), позволяющего автоматизировать процессы снятия рабочих характеристик с испытуемого двигателя и снизить погрешность измерений.

Особенностью разрабатываемого АПК будет его универсальность, открытый код, возможность реализации различных лабораторных работ и испытаний двигателей внутреннего сгорания, что позволит адаптировать его к аналогичным нагрузочным стендам.

В ходе выполнения работы были проанализированы аналогичные готовые решения автоматизированных стендов для обкатки и испытаний ДВС. Анализ конструкции и возможностей стендов приведен в таблице.

Проведенный анализ позволил сделать вывод о том, что существующие на рынке предложения практически полностью автоматизированы, позволяют снимать и обрабатывать параметры работы ДВС в автоматическом режиме с использованием ПЭВМ. Однако проводить замену стенда на базе кафедры технического сервиса и ремонта машин ФГБОУ ВО "Пермский ГАТУ" нецелесообразно из-за больших капитальных вложений. Ввиду изложенного было предложено провести модернизацию существующего стенда обкатки и испытания бензиновых двигателей КИ-1363В.

При проведении анализа состояния объекта исследования были выявлены следующие недостатки: лабораторная установка оснащена карбюраторным двигателем ВА3-2106; имеет следы физического и морального износа; имеет механическое управление и аналоговые датчики для снятия рабочих параметров двигателя. Для приведения стенда в актуальное состояние была поставлена задача реализовать систему управления двигателем с распределенным впрыском топлива. В данных типах ДВС системами подачи топлива управляет микроконтроллер, а вид управления называется электронным. Принцип работы такой системы основан на том, что решение о моменте и длительности открытия форсунок принимает микроконтроллер, основываясь на данных, поступающих от датчиков, установленных на двигателе. На основе ранее проведенных исследований был проведен выбор необходимых для модернизации стенда датчиков [7, 8].

ИССЛЕДОВАНИЯ. РАСЧЕТ

Сравнительные характеристики нагрузочных стендов

Характеристики	Наименование стенда	
		Автоматизированный лабораторный комплекс "Рабочие процессы 4-цилиндрового бензинового двигателя с мотор-генераторной нагружающей установкой"
Производитель	ООО НПП "Учтех-Профи"	ООО "СЦ "ТАЛВИ"
Управляемые параметры	<p>Управление нагрузкой</p> <p>Управление подачей воздуха на входе в двигатель</p> <p>Управление составом топливоздушнoй смеси</p> <p>Управление углом опережения зажигания</p>	<p>Управление нагрузкой в диапазоне 0...3000 Вт с шагом 500 Вт</p> <p>Управление подачей воздуха на входе в двигатель</p> <p>Изменение типа системы подачи топлива: впрыск электромагнитной форсункой во впускной патрубок или через штатный карбюратор</p> <p>При впрыске топлива управление составом топливоздушнoй смеси</p> <p>Ручное или компьютерное управление углом опережения зажигания</p>
Регистрируемые параметры и используемые датчики	<p>Датчик давления газов в камере сгорания (1 шт.);</p> <p>датчик массового расхода воздуха (1 шт.);</p> <p>датчик температуры воздуха во впускном трубопроводе двигателя (1 шт.);</p> <p>датчик разряжения во впускном трубопроводе двигателя (1 шт.);</p> <p>датчик температуры отработавших газов (1 шт.);</p> <p>датчик давления отработавших газов (1 шт.);</p> <p>датчик температуры масла в системе смазки двигателя (1 шт.);</p> <p>датчик положения топливной рейки (1 шт.);</p> <p>датчик положения коленчатого вала двигателя (1 шт.);</p> <p>датчик вращающего момента на коленчатом валу двигателя (1 шт.);</p> <p>газоанализатор (1 шт.);</p> <p>оптический измеритель температуры (пирометр) (1 шт.);</p> <p>электронные весы для определения массового расхода топлива (1 шт.)</p>	<p>Вибрация по двум осям в плоскости движения КШМ (пьезоэлектрический датчик)</p> <p>Частота вращения коленчатого вала двигателя (датчик Холла)</p> <p>Фаза открытия впускного клапана (датчик Холла)</p> <p>Массовый расход воздуха (термоплечный датчик HFМ5)</p> <p>Фактический состав смеси (двухступенчатый лямбда-зонд)</p> <p>Объемный расход топлива в карбюраторе (датчик на элементе X-ducer)</p> <p>Положение дроссельной заслонки (потенциометрический датчик)</p> <p>Разрежение за дроссельной заслонкой (датчик на элементе X-ducer)</p> <p>Ток нагрузки генератора (линейный датчик на эффекте Холла)</p> <p>Напряжение нагрузки генератора (делитель напряжения)</p> <p>Температура отработавших газов перед глушителем (ХА термopара)</p> <p>Температура головки и цилиндра по четырем точкам (терморезистор HRTS)</p> <p>Температура карбюратора (терморезистор HRTS)</p> <p>Давление топлива перед форсункой (датчик на элементе X-ducer)</p> <p>Уровень топлива в баке (потенциометрический датчик)</p>
Вычисляемые параметры	<p>Длительность открытия форсунки</p> <p>Массовый расход топлива</p> <p>Эффективные мощность и крутящий момент</p> <p>Эффективные средние давление и КПД цикла</p> <p>Коэффициент наполнения</p> <p>Экологические показатели работы двигателя</p>	<p>Длительность открытия форсунки</p> <p>Массовый расход топлива</p> <p>Эффективные мощность и крутящий момент</p> <p>Эффективные средние давление и КПД цикла</p> <p>Коэффициент наполнения</p>
Стоимость, тыс. руб.	3088	1620

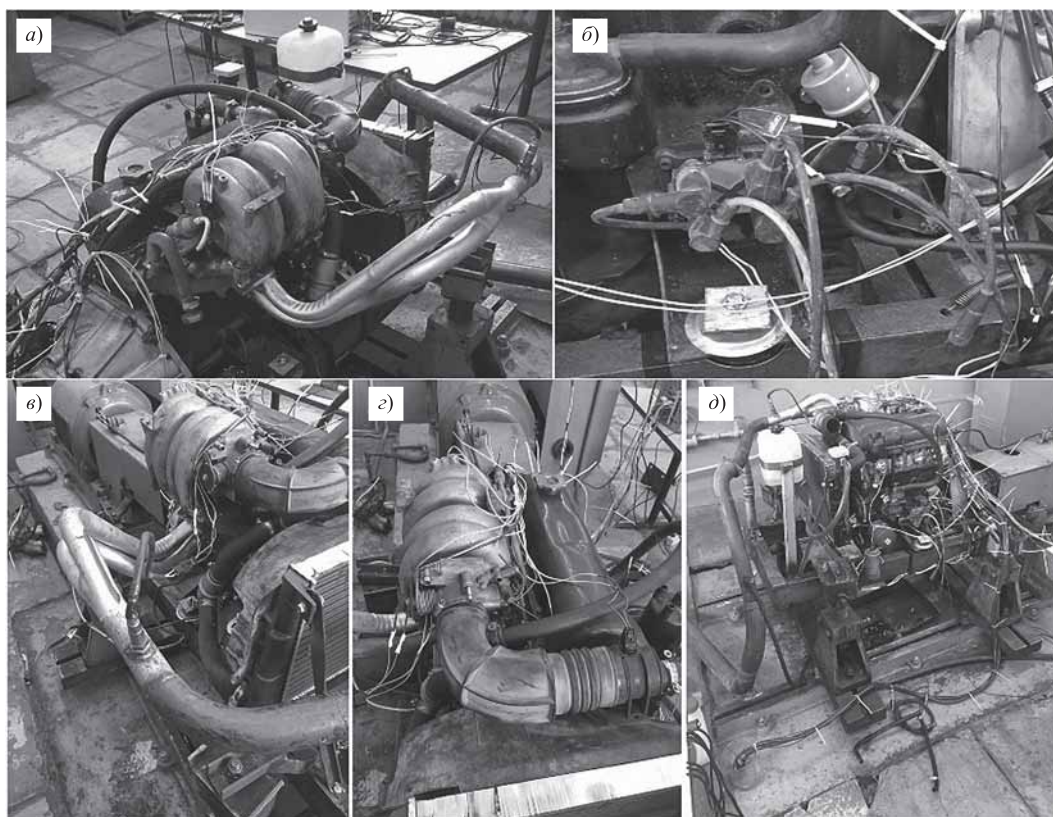


Рис. 1. Установленное оборудование и датчики:

a — впускной коллектор; *б* — модуль зажигания; *в* — датчик кислорода; *г* — датчик температуры всасываемого воздуха; *д* — бензонасос

Для регулирования параметров двигателя и стенда, а также для регистрации данных на исследуемый ДВС и стенд была произведена установка необходимых датчиков и исполнительных механизмов инжекторной системы впрыска топлива (рис. 1), а именно: датчик положения коленчатого вала; датчик положения дроссельной заслонки; датчик кислорода; датчик температуры воздуха; датчик абсолютного давления; тензодатчики веса; модуль зажигания; форсунки; бензонасос.

Кроме того, в ходе проведения работы были разработаны и изготовлены:

- электронный блок управления стендом и двигателем;
- компьютерная программа "АПК стенда КИ-1363-В";
- программа для контроллера управления стендом.

Общий вид модернизированного стенда КИ-1363-В представлен на рис. 2.

Все измерительные устройства и исполнительные механизмы подключаются к изготовленному

ЭБУ стендом и двигателем 4 разъемами типа DS1073-01-2x5-MR3T6 (MF2x5MR). ЭБУ расположен в системном блоке компьютера и устанавливается в разъем PCI материнской платы. В программную часть АПК входит и разработанная на языке Microsoft Visual C# программа "АПК стенда КИ-1363-В".

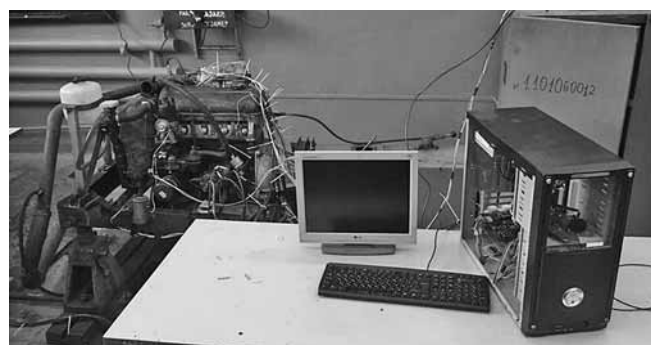


Рис. 2. Общий вид модернизированного стенда КИ-1363-В

ИССЛЕДОВАНИЯ. РАСЧЕТ

Программа для работы с ЭБУ двигателя EFI Analytics TunerStudio (рис. 3) достаточно функциональна и имеет возможность настройки карт топлива и зажигания, настройки холостого хода, прогревочных режимов и режимов ускорения

(рис. 4). Программа распространяется бесплатно на сайте разработчика. Одно из основных преимуществ данного программного обеспечения (ПО) — это возможность автоматической настройки таблицы коэффициента наполнения двигателя. С помощью данного ПО можно настроить параметры ЭБУ двигателя и стенда.

Также ПО позволяет настраивать угол опережения зажигания для любого режима работы двигателя (рис. 5).

В рамках выполнения исследовательской работы было разработано оригинальное ПО, а именно: программа управления работой исследуемого двигателя и стенда "АПК стенда КИ-1363-В", которая позволяет задавать и реализовывать различные алгоритмы работы со стендом для выполнения конкретных лабораторных работ, например построения характеристик двигателя.

При запуске программы пользователь попадает в окно запуска (рис. 6), в котором производится выбор необходимой лабораторной работы для выполнения. До запуска необходимой лабораторной работы необходимо выполнить калибровку весовых датчиков нажатием на кнопку "Открыть окно калибровки".

В процессе проведения испытаний двигателя установленные датчики фиксируют параметры его работы в режиме реального времени. Фиксируется температура охлаждающей жидкости, обороты коленчатого вала, крутящий момент, положение дроссельной заслонки. Данные направляются

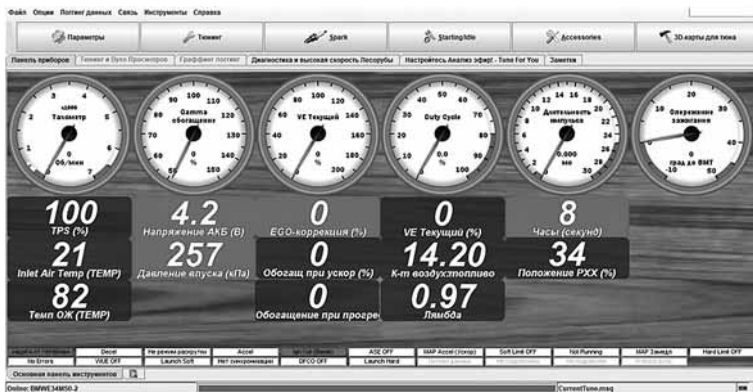


Рис. 3. Рабочее окно программы EFI Analytics TunerStudio

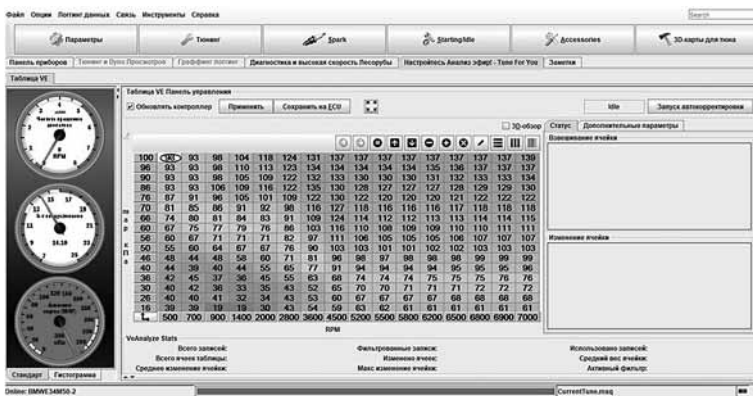


Рис. 4. Рабочее окно настройки коэффициента наполнения исследуемого двигателя

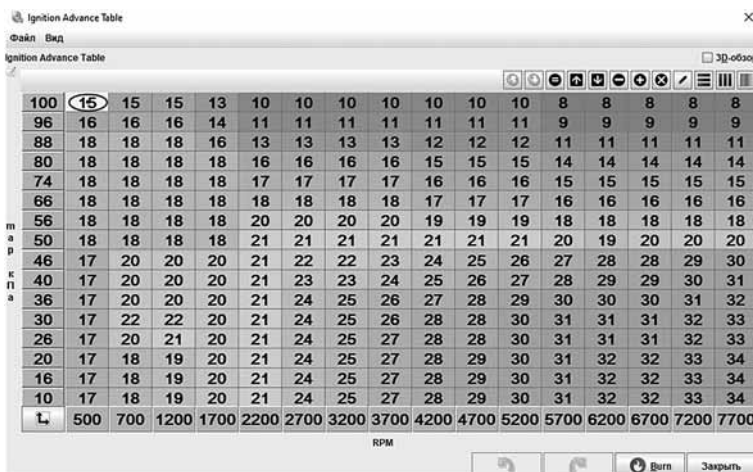


Рис. 5. Рабочее окно настройки угла опережения зажигания исследуемого двигателя

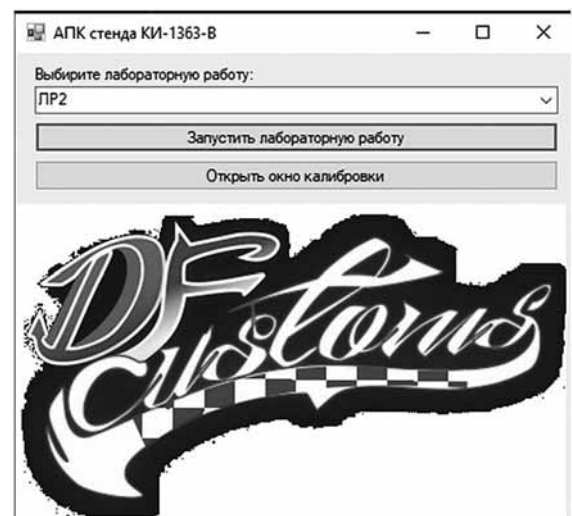


Рис. 6. Окно выбора лабораторных работ, разработанное ПО "АПК стенда КИ-1363-В"

ИССЛЕДОВАНИЯ. РАСЧЕТ

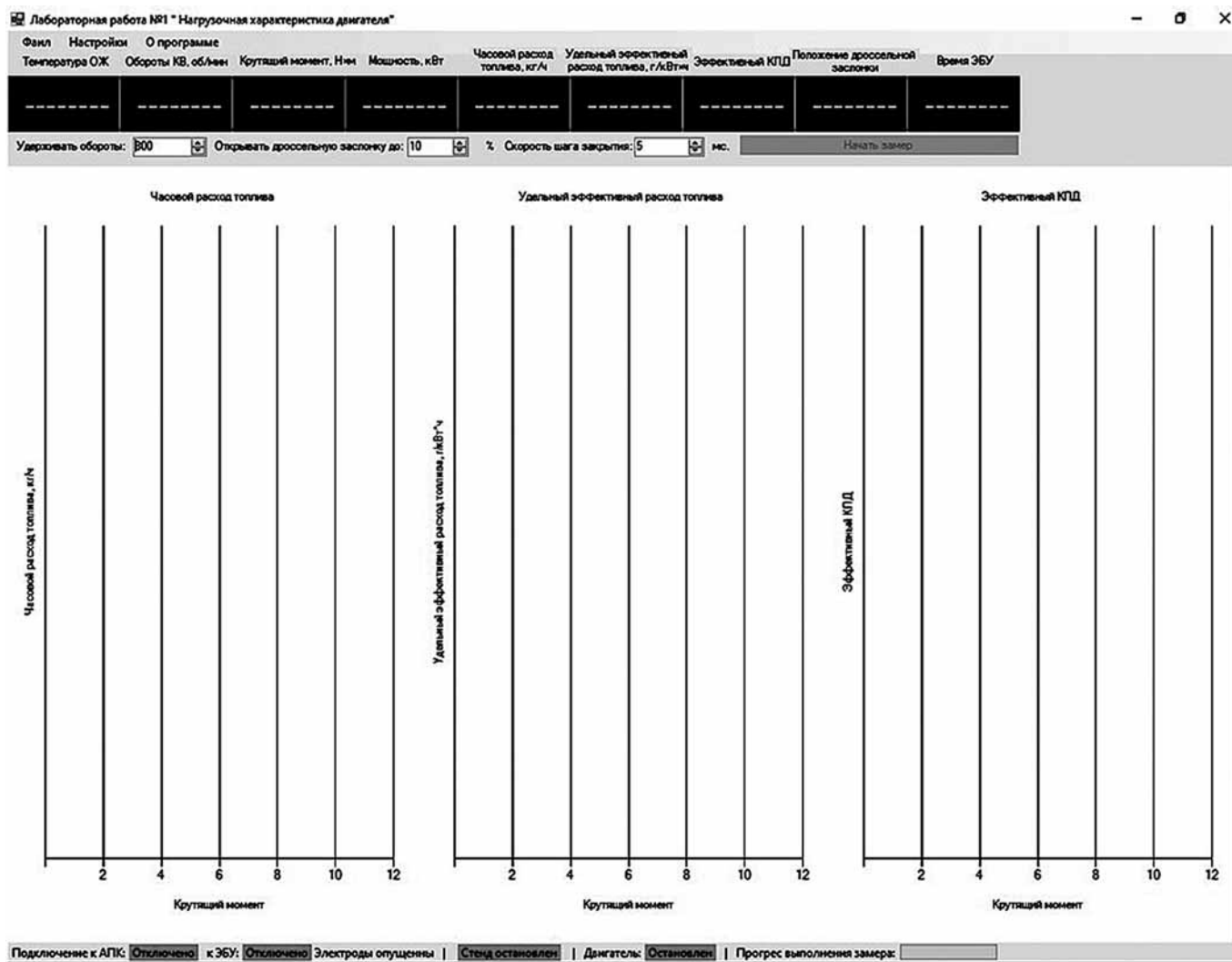


Рис. 7. Рабочее окно лабораторной работы № 1 "Нагрузочная характеристика двигателя"

в ЭБУ, и с помощью разработанного ПО определяются выходные параметры работы двигателя: мощность, часовой расход топлива, удельный эффективный расход топлива, эффективный КПД. В рабочем окне программы (рис. 7) в реальном времени строятся зависимости параметров работы двигателя.

К управляемым параметрам модернизированного стенда относятся: нагрузка на коленчатом валу двигателя, регулируемая положением ножей жидкостного реостата, и положение дроссельной заслонки, которое изменяется с помощью установленного шагового энкодера.

После выполнения исследования получены следующие результаты.

1. Проведен анализ состояния объекта исследования — стенда для обкатки и испытания

бензиновых двигателей внутреннего сгорания КИ-1363-В. Доказана актуальность проведения модернизации данного стенда и автоматизации процессов снятия характеристик исследуемого ДВС.

2. Проанализированы аналогичные стенды с реализованными функциями автоматизации процессов. Установлено, что аналогичные стенды не являются универсальными и имеют достаточно высокую стоимость.

3. Проведена модернизация стенда КИ-1363-В и двигателя, установленного на данном лабораторном стенде. Реализована система управления двигателем с распределенным впрыском топлива.

4. Разработано и внедрено специализированное программное обеспечение по управлению ДВС и стендом, которое позволяет организовать

проведения различного рода лабораторных и исследовательских работ, в автоматическом режиме фиксировать и вычислять характеристики испытуемого двигателя и формировать отчет о проведенных испытаниях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Кузнецов И. С.** Разработка автоматизированной системы сбора данных с нагрузочного стенда // Сборник материалов VIII Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых с международным участием "Россия молодая". — Кемерово, 19—22 апреля 2016 г. — С. 231—237.
2. **Тарасенко В. Е., Жешко А. А., Бобриков М. Д.** Построение многопараметровой характеристики дизеля DEUTZ BF06M1013FC // Механика машин, механизмов и материалов. — 2017. — № 4 (41). — С. 37—42.
3. **Усев Д. А., Максимов К. В., Щербина В. А.** Математическая модель автоматизированного нагрузочного стенда // Техника XXI века глазами молодых ученых и специалистов. — 2018. — № 17. — С. 207—216.
4. **Химченко А. В., Мищенко Н. И., Коваленко В. В.** К выбору параметров электрического тормоза испытательного стенда для двигателей внутреннего сгорания // Повышение эффективности использования мобильных энергетических средств в различных режимах движения: материалы Международной научно-практической конференции. Воронеж, 06 апреля 2017 г. — С. 231—238.
5. **Анализ** температурных полей и системы вентиляции при эксплуатации стенда для испытания дизельных двигателей // Приоритетные направления развития науки и образования: сборник статей II Международной научно-практической конференции. / Ю. Г. Загвоздин, И. И. Малахов, И. А. Волков, А. В. Штиб, Д. Д. Примак — Пенза, 2018. — С. 33—38.
6. **Кобозев А. К., Швецов И. И., Алексеенко В. А.** Испытания автотракторных двигателей: учеб. пособие. — Ставрополь: АГРУС, 2014. — 52 с.
7. **Поливаев О. И., Костиков О. М., Ведринский О. С.** Электронные системы управления бензиновых двигателей: учеб. пособие. — М.: КНОРУС, 2018. — 196 с.
8. **Коваленко О. Л.** Электронные системы автомобилей: учеб. пособие. — Архангельск: ИПЦ САФУ, 2013. — 80 с.

"Мировая премьера" от CASE в России



Россия стала первой страной, куда отправились 40 мини-погрузчиков с бортовым поворотом новой серии "В" от CASE Construction (бренд CNH Industrial), разработанных для более комфортной и эффективной работы. Эти машины в колесном и гусеничном исполнении были произведены в начале января для одного из ключевых клиентов дилера CASE в Центральном и Приволжском федеральных округах компании "МЕГА Машинери". А уже в марте машины были введены в эксплуатацию на рабочих площадках клиента, который занимается строительством и обслуживанием дорог. Внушительная поставка компактной спецтехники была осуществлена в кратчайшие

сроки, что стало возможным благодаря слаженной работе дилера и компании CNH Industrial.

"Я горжусь тем, что одна из первых в мире крупных сделок по приобретению новых мини-погрузчиков CASE состоялась именно в России, — комментирует Фабрицио Чеполлина генеральный директор ООО "СиЭнЭйч Индастриал Руссия". — Это очень эффективные и надежные машины, и я рад, что они уже помогают в строительстве и обслуживании дорог Москвы и Подмосковья".

В новых мини-погрузчиках реализован ряд решений, направленных на повышение эффективности работы и создание более комфортной обстановки для оператора. Благодаря изменениям в настройках управления насосом приводного двигателя возросла стабильность машин при движении по прямой, а значит, оператору больше не нужно корректировать траекторию движения. Таким образом, он меньше отвлекается на управление и больше сосредоточивается на непосредственной работе. Кроме того, была значительно оптимизирована электрическая проводка машины, поэтому риск возникновения поломок, вызванных неисправностями электропроводки, сводится к минимуму. Это означает, что техника будет работать, а не простаивать. Изменения также коснулись кабины: в ней стало больше свободного места, а внутреннее пространство сейчас организовано более эргономично и грамотно. Нововведения повышают комфорт оператора погрузчика, что положительно влияет на эффективность выполняемой работы.

Пресс-служба "СиЭнЭйч Индастриал Руссия"

ЭКСПЛУАТАЦИЯ. РЕМОНТ

УДК 629.235

DOI: 10.36652/1684-1298-2020-12-28-33

В. А. Рыжиков, д-р техн. наук, e-mail: rigikov54@mail.ru, КЭС ИСОиП (филиал) ДГТУ, г. Шахты,
Д. Ю. Батышев, e-mail: batyshhev@bk.ru, КЭС ИСОиП (филиал) ДГТУ, г. Шахты,

О. А. Туркеничева, доц., e-mail: olgat-59@rambler.ru, Ростовский государственный университет путей сообщения (РГУПС), г. Ростов-на-Дону

ТЕХНОЛОГИЯ СМАЗКИ ТРАНСМИССИИ АВТОМОБИЛЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ПЛЕНОК

Рассмотрен процесс поляризации смазочного материала при воздействии на него электрического потенциала. Представлена модель формирования тонких пленочных структур на поверхностях трения, реализующих эффект избирательного переноса при протекании электрохимических процессов с управлением электрическим полем. Представлены результаты экспериментальных исследований износостойкости опытных образцов при различных физико-механических условиях работы с использованием электрических полей. Выполненный сравнительный анализ износостойкости материалов показал большую защитную способность поляризованных смазочных материалов.

Ключевые слова: трансмиссия, смазка, процесс, поляризация, износостойкость, экспериментальные, исследования, анализ.

The process of polarization of a lubricant when exposed to an electric potential is considered. A model is presented for the formation of thin film structures on friction surfaces that realize the effect of selective transfer during electrochemical processes with electric field control. The results of experimental studies of the wear resistance of prototypes under various physical and mechanical conditions using electric fields are presented. A comparative analysis of the wear resistance of materials showed a greater protective ability of polarized lubricants.

Keywords: transmission, lubrication, process, polarization, wear resistance, experimental, research, analysis.

В настоящее время использование автомобильного транспорта непрерывно увеличивается. Увеличиваются грузоподъемность и скорость движения автомобилей. Наряду с этим возрастают требования к безопасной эксплуатации транспортных средств. Это, в свою очередь, требует повышения надежности всех узлов и агрегатов автомобиля [1–3]. Одним из наиболее ответственных агрегатов является трансмиссия. Эксплуатация автомобилей большой грузоподъемности в плохих дорожных условиях приводит к преждевременному выходу их строя элементов трансмиссии: выкрашивание поверхности и поломка зубьев, выход из строя синхронизаторов и кулис механизма переключения передач. В автоматических коробках передач, кроме этого, выходят из строя фрикционные механизмы.

Важную роль в повышении надежности трансмиссии играет смазка трущихся поверхностей, которая зависит от правильного подбора смазочного материала (СМ) и режимов его применения во время эксплуатации. При больших внешних нагрузках ухудшается процесс смазывания поверхностей трения из-за выдавливания смазоч-

ного материала и появления зон сухого трения, что увеличивает износ деталей. Поэтому целью повышения надежности трансмиссии автомобиля является разработка новых технологий смазки трущихся поверхностей, с образованием на них высокопрочных поверхностно-активных пленок с низким коэффициентом трения и эффектом безызносности [4–6].

1. Ионизация смазочного материала

Смазочный материал на минеральной основе, как правило, в основном содержит неполярные молекулы, включая поверхностно-активные вещества (органические кислоты, смолы и др.). Полярные молекулы (диполи) составляют только несколько процентов от общего количества молекул. Полярные молекулы смазочного материала ориентируются перпендикулярно к поверхности трения в виде ворса, так как металлическая поверхность всегда имеет отрицательный заряд, обусловленный избыточной энергией не скомпенсированных межатомных связей на поверхности. При перемещении поверхностей трения диполи

полярных молекул изгибаются в противоположном направлении движения. После образования мономолекулярного слоя на поверхности происходит формирование последующих рядов. По нормали к поверхности такие пленки, в сравнении с пленками их неполярных молекул, обладают высоким сопротивлением сжатию с давлением 10—12 МПа.

Основная масса неполярных молекул прикрепляется к поверхности трения за счет адсорбции. Адсорбция молекул связана с межмолекулярным взаимодействием на границе раздела фаз не скомпенсированными силами межмолекулярного взаимодействия. Это так называемая физическая адсорбция, обусловленная силами Ван-дер-Ваальса. Возможна хемосорбция с образованием химических связей. Пленки на поверхности трения, образованные из неполярных молекул, имеют небольшую прочность на сжатие при давлении 0,5 МПа и разрушаются [7].

Одним из путей повышения прочности связей между молекулами смазочного материала и поверхностью трения является его поляризация с образованием ПАС — тонкого поверхностно-активного слоя молекул из пространственно-разделенных зарядов противоположного знака, обладающего высокой механической прочностью.

Поляризация смазочного материала возможна при воздействии на него потенциалом несколько кВ на электроде, опущенном в картер коробки передач. При поляризации диэлектриков имеет место электронная и дипольная поляризация. Поляризация диэлектрика $P(t)$ с релаксирующими частицами происходит по экспоненциальному закону [7]

$$P(t) = P_0(1 - e^{-t/\mu}),$$

где P_0 — установившееся значение поляризации; t — время протекания процесса; μ — время релаксации.

После снятия внешнего электрического поля поляризованность уменьшается по закону

$$P(t) = P_0 e^{-t/\mu}.$$

Для неполярных молекул характерна в основном электронная поляризация, а для полярных молекул — дипольная поляризация. При поляризации диэлектриков происходит перенос металла электрода в смазочный материал. [7, 8]. На рис. 1 показана зависимость увеличения массы меди и алюминия M в диэлектрике от величины заряда поляризации Q . Таким образом, в процессе поляризации смазочный материал насыщается атомами металла электрода, имеющего положительный потенциал.

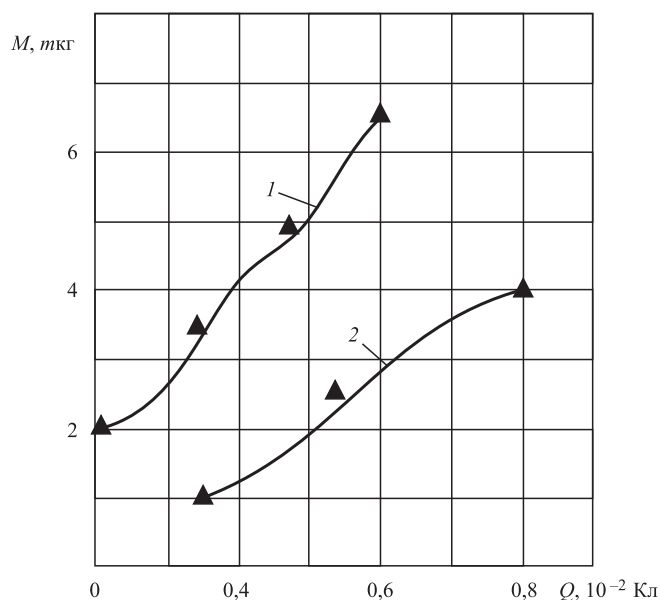


Рис. 1. Зависимость увеличения массы меди и алюминия в диэлектрике от величины заряда поляризации:
1 — медный электрод; 2 — алюминиевый электрод

Смазочный материал обладает рядом свойств, присущих низкомолекулярным электролитам [8, 9], что дает предположение о возникновении электрохимических процессов под влиянием прохождения тока через смазочный материал. При потенциале электрода в пределах 2...5 кВ и внутреннем сопротивлении смазочного материала 4 МОм величина тока будет составлять 0,6...1,5 мА. В данном случае имеет место ионная электропроводимость смазочного материала, обусловленная движением ионов. Электрохимическая поляризация сопровождается изменением состава смазочного материала с образованием веществ, отличающихся от его первоначального состояния. Под действием электрического поля в смазочном материале происходит ориентация полярных групп, что вызывает изменение структуры и свойств. В электрических полях напряженностью 50...500 кВ/см обнаружено снижение скорости звука и плотности полимеров, что объясняют образованием плотных упорядоченных областей [7]. На рис. 2 показана зависимость степени кристалличности K в полимерном материале от объемного заряда S . При электрохимических процессах происходит перенос ионов металла на поверхность трения с образованием аморфной серфинг-пленки, имеющей низкий коэффициент трения [6]. В этом случае целесообразно использование медного электрода для получения антифрикционного покрытия толщиной несколько микрон.

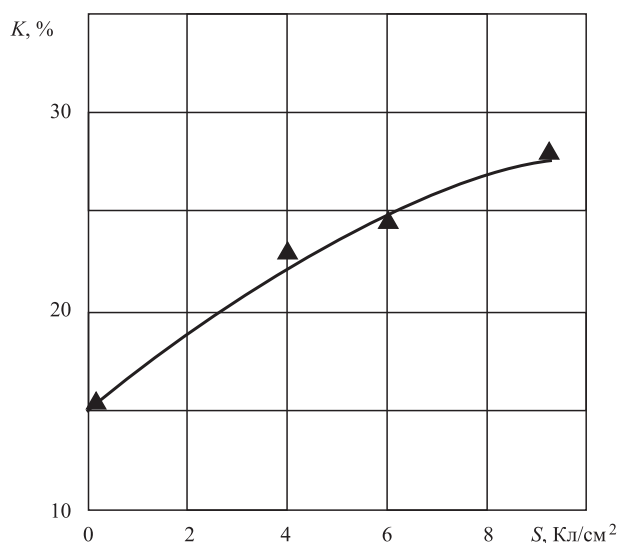


Рис. 2. Зависимость степени кристалличности полимерного материала от плотности заряда

2. Модель формирования поверхностно-активного слоя

При взаимодействии зубьев механической передачи присутствует трение скольжения. В этом случае могут иметь место две схемы скольжения поверхностей трения: скольжение при граничной смазке и скольжение при полужидкой смазке [6].

При граничной смазке между соприкасающимися поверхностями возникает тонкая адсорбированная пленка смазочного материала. На площадках возникают упруго-пластические деформации. Если силы адгезии меньше сдвигающих усилий, происходит сдвиг граничного слоя и пропахивание поверхностей с внедрением части объемов металла. Происходит разрушение поверхностей и повышение температуры. Это приводит к схватыванию металлов на поверхности. Полужидкая смазка характеризуется наличием одновременно участками с граничной и полужидкой смазкой.

На поверхности трения при воздействии на смазочный материал электрическим полем высокого потенциала в зоне контакта индуцируются токи [10]. В результате протекания электрохимических процессов возникает разность потенциалов при движении частиц в зазорах и оседании их на поверхностях трения. Эти явления свидетельствуют о том, что на границах раздела фаз возникает поверхностно-активный слой из пространственно-разделенных зарядов.

При трении активно протекают диффузионные процессы, в частности переход электронов с поверхности твердого тела в раствор. Электроны

под действием тепла трения и других физико-химических процессов приобретают дополнительную энергию (энергию активации) и эмитируют с поверхности, соударяясь с атомами, образующими смазочный материал (СМ). Это приводит к деструкции молекул СМ с образованием ионов, некоторого количества теплоты, необходимой для дальнейших химических превращений в узлах трения. Поскольку при высоких температурах вероятнее протекают эндотермические реакции. Экзоэлектронная эмиссия — явление, затухающее со скоростью, зависящей от температуры, освещенности и других факторов; поэтому для ее осуществления необходим внешний источник тепла или света. При этом за счет межмолекулярных сил, сил электростатического взаимодействия и теплового движения в результате избирательной адсорбции ионов, достраивающих кристаллическую решетку твердой фазы (поверхностный слой характеризуется высокой активностью, поскольку обладает большим числом не скомпенсированных связей), поверхность тела постепенно приобретает устойчивый знак заряда. Частицы металла находятся под действием электрического поля заряженной поверхности и теплового движения, стремящегося равномерно распределить их в объеме. Это приводит к закономерному их распределению подобно облаку, плотность которого убывает по мере удаления от поверхности. Максимальное количество ионов, которое может поглотиться поверхностью твердого тела, зависит от его природы, концентрации ионов в растворе и твердой фазе, фактора рН среды.

В результате поверхность приобретает некий специфический заряд, устанавливающий равновесие между процессами выделения и осаждения ионов. Во фрикционном контакте на границе между твердой фазой и раствором возникает подобие конденсатора, внутренняя обкладка которого образована ионами, а внешняя — отрицательно заряженными частицами.

По мере заполнения активных центров поверхности ионами происходит увеличение межфазового потенциала [11]. На рис. 3 представлены схемы образования ПАС на поверхностях трения.

Вследствие наличия шероховатостей, высоких давлений, малого объема СМ в зазоре на поверхности трибосопряжения возникает точечный контакт. В процессе расхождения точечных контактов возникают гидродинамические эффекты выдавливания из зоны контакта СМ и, как следствие, образуются токопроводящие мостики. Вследствие чего возникает подобие электрического пробоя между обкладками конденсатора, и даже при не-

больших токах ввиду малой площади контакта (на уровне единичной микронеровности) плотность тока может достигать очень больших значений.

Если происходит взаимодействие металлов, имеющих разный электрохимический потенциал, то в точках фактического контакта образуется термопара. Температура вспышки в этих точках достигает нескольких сот градусов — эффект термопары, приводящий к увеличению ЭДС между контактирующими поверхностями. Поэтому выбор материала пар трения так важен при проектировании узлов.

В зоне трения материалы контактирующих поверхностей плавятся (процессы микросварки) и схватываются, что приводит к электроэрозионному разрушению последних — к вырыванию частиц, задирам и, как следствие, к высоким уровням изнашивания. Однако этот процесс приводит к дополнительному притоку электронов "высокой энергии" в приповерхностный слой СМ, что сопровождается дополнительным разложением его структуры на ионы (дополнительный массоперенос).

В момент протекания вышеописанных процессов структура ПАС изменяется (рис. 3, а). В силу максимальных давлений, минимальной толщины СМ происходит процесс "упругого" деформирования электрического поля вблизи поверхностей трения. Так чисто механически ионы из диффузионной части проникают в плотный слой ПАС, что приводит к перезарядке "коллоидов" (рис. 3, б).

Этот процесс сродни процессу протекания переменного тока, частота которого в первом приближении пропорционально частоте внешних воздействий.

Поверхности трения можно представить в виде трех последовательно соединенных плоских конденсаторов с площадью пластин, равной фактической площади контакта.

При избирательном переносе в результате электрохимического процесса осаждения меди на трущихся поверхностях происходит "рождение" серфинг-пленки, толщина и скорость образования которой носит чисто вероятностный характер процессов самоорганизации.

Процесс трения возбуждает поверхностные слои, вызывая их химическую активацию (что и является причиной экзоэлектронной эмиссии), кроме того, он возбуждает и поверхностные слои, приводя к их структурно-термической активации, в частности — к движению дислокаций. Дислокация выходит на поверхность — заряжается, а затем разряжается в сопряженную деталь, и, как следствие, происходит схватывание.

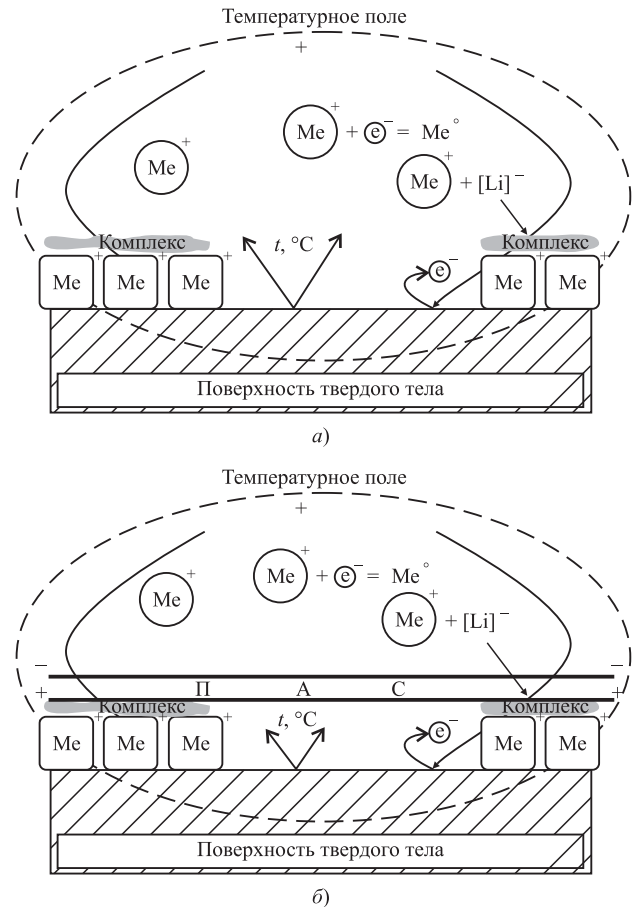


Рис. 3. Схема образования двойного электрического слоя в зоне фактического контакта:

а — образование защитных пленок на поверхности твердого тела; б — перераспределение зарядов вблизи поверхности твердой фазы

В этом и состоит вероятностный характер самоорганизации: в одном случае при разрядке дислокаций друг в друга и схватывании выделяется большое количество теплоты, что катализирует процессы образования серфинг-пленки [12]. В силу того, что поверхность твердого тела не является монолитной, различные ее точки обладают разным уровнем поверхностной энергии, а следовательно, и концентрация адсорбированных ионов в различных ее точках неодинакова. Там, где она больше, потенциал больше. Но все вышеописанные процессы носят чисто случайный характер.

При ИП схватывания не происходит, поскольку возникают благоприятные условия для образования комплексных соединений. Активные компоненты смазки образуют на площадках выхода дислокаций медные комплексы объемной или плоской структуры. Комплекс может образовываться и за счет присоединения к центрально-

му атому нейтральных молекул, имеющих ярко выраженный дипольный момент. Образование в комплексе координационной связи приводит к разрыву или ослаблению связи атома металла в комплексе с атомом металла в решетке. Связь между металлом и комплексом переходит в адсорбционную. Комплекс получает возможность двигаться по поверхности, соединяясь с другими комплексами в островки пленки. Это приводит к образованию сервовитной пленки, защищающей поверхности трения от разрушения [13, 14].

3. Результаты экспериментальных исследований

Для подтверждения теоретических положений о влиянии электрических полей на формирование поверхностно-активных пленок на поверхностях трения, реализующих эффект безызносности, были проведены экспериментальные исследования. Для этих целей была разработана лабораторная установка на базе машины трения модели "МАСТ-1". Данная машина предназначена для проведения натурных испытаний пластичных и жидких видов смазочных материалов, используемых в машинах и аппаратах по схеме "диск—палец". В ходе испытаний на МАСТ-1 определяются основные триботехнические характеристики трибосопряжений: время испытаний — T , сила трения — F , износ испытуемых образцов — U , температура смазочного материала — t . Испытывались одновременно три цилиндрических образца, выполненных из стали 45 диаметром 6 мм, площадью поперечного сечения 28 мм². Контактное давление оставалось постоянным на протяжении всей серии опытов — $\sigma = 0,9$ Н/мм². Скорость движения образцов была постоянной и составляла 0,8 м/с. Перед испытаниями опытные образцы подвергались грубому шлифованию до получения шероховатости поверхности Rz 20.

Для определения эффекта изменения триботехнических свойств трансмиссионного масла под действием электрического поля в смазочной ванне на изоляторе устанавливался медный проводник, на который подавалось постоянное напряжение величиной 1...10 кВ. Для проведения испытаний использовалось минеральное трансмиссионное масло "Лукойл 80W90". Для определения сравнительных характеристик смазочных материалов проводились их испытания под действием ионизирующего воздействия и без него. В ходе проведения каждого испытания фиксировалось десять замеров характеристик трения. Обработка полученных результатов проводилась в среде Microsoft Excel с построением двухмерных графиков и записью корреляционных уравнений.

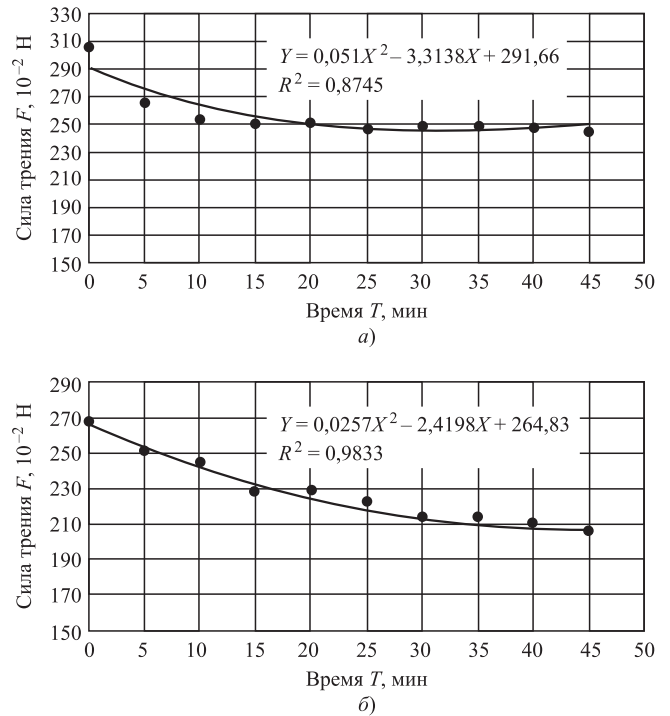


Рис. 4. Изменение силы трения в зависимости от времени:

а — без ионизации; б — при напряжении ионизации 1 кВ

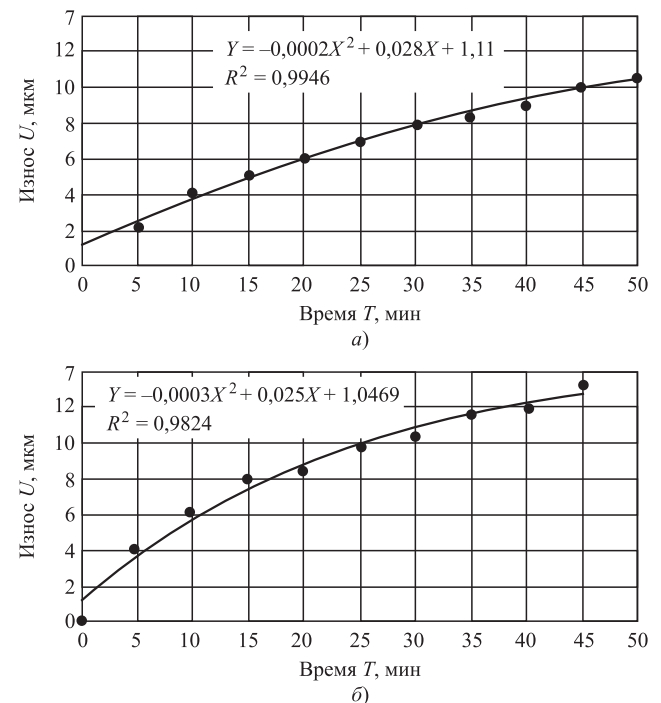


Рис. 5. Изменение величины износа в зависимости от времени трения:

а — без ионизации; б — при напряжении ионизации 1 кВ

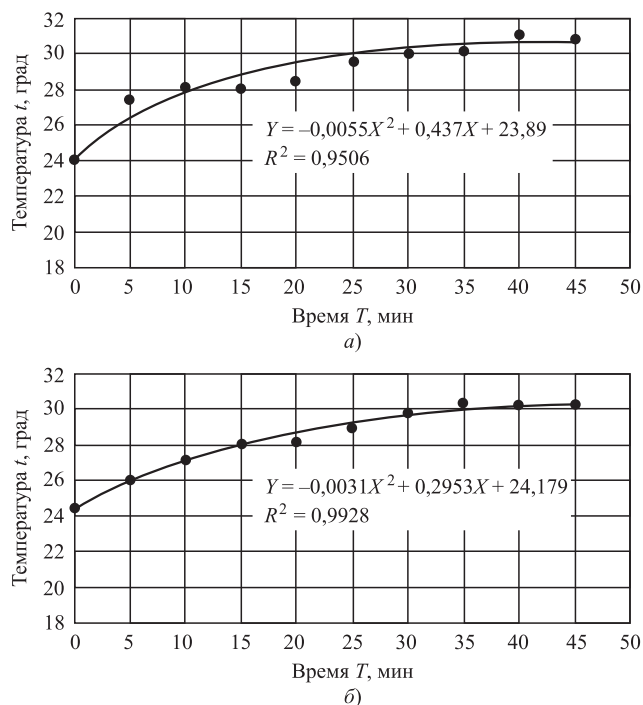


Рис. 6. Изменение температуры масла:

а — без ионизации; *б* — при напряжении ионизации 1 кВ

На рис. 4 показано изменение величины силы трения в процессе испытаний. Наибольшая сила трения $F = 3,34$ Н наблюдалась в момент начала испытания, которая постепенно снижалась до величины $F = 2,41$ Н. При воздействии на смазочный материал потенциала 1 кВ наблюдалось снижения силы трения на величину 0,44 Н. На рис. 5 показано изменение величины износа в процессе испытаний. На рис. 6 показано изменение температуры масла в процессе испытаний. Снижение температуры масла при ионизации на два градуса может быть обусловлено появлением серфинг-пленок на поверхностях трения.

При увеличении напряжения ионизации смазочного материала до 10 кВ наблюдалось уменьшение износа на 4 мкм. Ионизация минерального масла позволяет снизить выработку трущихся поверхностей на 40 %, уменьшить силу трения на 15 % и улучшить физические свойства минеральных масел.

Заключение

1. Разработана модель формирования тонких пленочных структур на поверхностях трения, реализующая эффект избирательного переноса при протекании электрохимических процессов с управлением электрическим полем.

2. Экспериментальные исследования износостойкости опытных образцов при различных физико-

механических условиях работы показал, что использование электрических полей позволяет формировать тонкие серфинг-пленки на поверхностях трения.

3. Выполненный сравнительный анализ износостойкости опытных образцов указывает на большую защитную способность поляризованных смазочных материалов.

4. Применение технологии, позволяющей осуществлять контролируемый избирательный перенос, даст возможность применять безызностную эксплуатацию трансмиссии автомобилей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Басков В. Н., Денисов А. С. Эксплуатационные факторы и надежность автомобиля: монография. — Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2003. — 269 с.
2. Анисимов И. Г., Бадыштова К. М. и др. Топлива, смазочные материалы, технические жидкости. Ассортимент и применение / Под ред. В. М. Школьников. Изд. 2-е перераб. и доп. — М.: Издательский центр "Техинформ", 1999. — С. 12—15.
3. Шевеля В. В., Олександренко В. П. Трибохимия и реология износостойкости: монография. — Хмельницкий: ХНУ, 2006. — 278 с.
4. Система смазки ДВС с дополнительным контуром // Новая наука: опыт, традиции, инновации: материалы Междунар. науч.-практ. конф. 24 декабря 2015 г. Ч. 2. Риц Ами Стерлитамак — 2015. — С. 129—131.
5. Лазарев В. А., Рыжиков В. А. Анализ способов и режимов смазки трансмиссии автомобилей // Грузовик. — № 1. — 2019 г. — С. 2—4.
6. Гаркунов Д. Н. Триботехника, износ и безызносность. — М.: Издательство МСХА, 2001. — 616 с.
7. Воронежцев Ю. И., Гольдаде В. А., Пинчук Л. С. и др. Электрические и магнитные поля в технологии полимерных композитов / Под ред. А. И. Свириденка. — Мн.: Наука и техника, 1990. — 263 с.
8. Гельферих З. Ф. Иониты. — М.: Наука, 1962. — 430 с.
9. Любимов Д. И., Рыжиков В. А. Физико-химические процессы при трении: учеб. пособие / Шахтинский институт ЮРГТУ. 2-е изд., доп. — Новочеркасск: ЮРГТУ, 2006. — 148 с.
10. Марков Д. П., Маркова Т. Ф. Электромониторинг смазанных пар трения // Трение и износ. — 2001. — № 1. — 92 с.
11. Рыжиков В. А., Долгополов К. Н. Электрохимические процессы в узлах трения // Проблемы синергетики в трибологии, трибохимии, материаловедении и мехатронике: материалы IV Международной науч.-практ. конф. — 6 ноября. Новочеркасск, ЮРГТУ (НПИ), 2005. — С. 7—11.
12. Рыжиков В. А., Долгополов К. Н. Эффект безызносности машин // Механизация, автоматизация и электрификация горного и строительного производства, сервис технологических машин и оборудования: сб. науч. тр. Шахтинского института ЮРГТУ (НПИ). — Шахты: Изд-во УПЦ "Набла" ЮРГТУ (НПИ), 2005. — С. 60—63.
13. Hornung E. Stand der Forschung auf Gebiet der Reaktionsschichten — bildung bei mechanischer Beanspruchung faster Korper (1. Folge). Schwirungstechnik, 1973. No. 4. S. 244—248.
14. Finkin M. F. What Happens When Parts Wear. "Machine Design", 1970, No. 3. P. 148—154.

Э. Л. Жебрик, асп., e-mail: elzazhebrik@yandex.ru, Институт государственной службы и управления ФГБОУ ВО "Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации", г. Москва

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРИМЕНЯЕМОЙ ТАМОЖЕННЫМИ ОРГАНАМИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ КАК ИНСТРУМЕНТА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

В статье проведен анализ практики применения таможенными органами системы управления рисками в качестве инструмента обеспечения экономической безопасности Российской Федерации и выделены актуальные направления ее дальнейшего совершенствования.

Ключевые слова: экономическая безопасность, международная торговля, таможенные органы, система управления рисками, фискальные риски, профили рисков.

The article analyzes the practice of the customs risk management system as an instrument for ensuring the economic security of the Russian Federation and highlights the actual directions of its further improvement.

Keywords: economic security, international trade, customs authorities, risk management system, risk profiles.

Обеспечение экономической безопасности страны в призме международных экономических отношений представляет собой одно из ключевых направлений государственной политики, что особенно актуально в текущей социально-экономической обстановке и условиях полицентризации мира.

Неотъемлемой частью указанных отношений является внешнеэкономическая деятельность, которую в контексте рыночной экономики принято рассматривать безусловным драйвером экономического роста и фундаментальной составляющей экономической политики государства.

По мнению отечественного ученого-экономиста, крупнейшего исследователя в сфере обеспечения экономической безопасности В. К. Сенчагова, внешнеэкономическая составляющая является определяющей с точки зрения позиции страны в системе мирового хозяйства [1].

В условиях динамично развивающейся среды, формируемой под влиянием явлений современной глобализации и интеграции в сфере внешнеэкономической деятельности, необходимо осуществлять непрерывный мониторинг экономической безопасности и реализовывать действенные

инструменты, направленные на минимизацию внешних и внутренних угроз, возникающих в контексте международных экономических отношений.

В частности, речь идет о растущих трансграничных потоках "серого" и "черного" импорта, в том числе за счет новых методов совершения преступлений и административных правонарушений, и других факторов, создающих угрозы экономической безопасности страны в сфере внешнеэкономической деятельности.

С учетом изложенного в международной торговле инструментарий таможенного регулирования выступает в качестве ключевого механизма защиты экономических интересов государства и определения вектора его внешнеэкономической политики.

Таможенные органы Российской Федерации, представляя собой структуру, осуществляющую функции по контролю и надзору, а также исключительные полномочия в сфере таможенного дела, в текущих интеграционных процессах на евразийском пространстве в части компетенции обеспечивают единство торговой политики, таможенно-тарифного регулирования и безопасность

цепи поставок товаров, что призвано содействовать социально-экономическому развитию государства и сообщества в целом.

Как отмечает В. К. Сенчагов, наряду с защитой российских товаропроизводителей и содействием продвижению отечественных товаров на мировом рынке одной из главных функций таможенных органов в национальной финансовой системе является именно обеспечение доходной части федерального бюджета. [1] Следует отметить, что, по данным Минфина России, к настоящему времени таможенными органами обеспечено перечисление более 27 % доходной части федерального бюджета за 2020 г. (табл. 1) [2, 3].

Исторически в разрезе экономических интересов государства минимизация фискальных рисков, выражающихся в недополучении доходов в федеральный бюджет в виде таможенных платежей, рассматривается основной функцией таможенной службы (рис. 1).

Вместе с тем в настоящее время таможенные органы глобально ориентированы на необходимость повышения инвестиционной и деловой привлекательности за счет ускорения и упрощения таможенных формальностей, оптимизации регуляторной нагрузки при одновременном сни-



Рис. 1. Основные виды фискальных рисков, минимизируемых таможенными органами

жении соответствующих издержек бизнеса, прежде всего за счет выборочного таможенного контроля, основанного на риск-ориентированном подходе.

Наиболее распространенным и общепризнанным инструментом оценки качества среды для ведения внешнеэкономической деятельности, в том числе с точки зрения совершенствования таможенного администрирования, является рейтинг группы Всемирного банка Doing Business.

Необходимо отметить достаточно низкую на протяжении последних пяти лет динамику

Таблица 1

Объемы поступлений в доходы федерального бюджета таможенных платежей

Вид таможенного платежа	Объем поступлений в федеральный бюджет по годам, млрд руб.				
	2015	2016	2017	2018	2019
Ввозные таможенные пошлины	484,2	489,8	506	578,6	618,2
Налог на добавленную стоимость	1 643,5	1 762,8	1 900,8	2 255,5	2 613,4
Акцизы	47,5	58,8	76	95,2	88,8
Таможенные сборы	16	16,9	18,4	20,3	20
Вывозные таможенные пошлины	2 780,4	2 054,1	1 968,3	3 025,7	2 291,3
Иные платежи, в том числе уплачиваемые физическими лицами	-38,4	24,5	106,2	87,9	97,4
Итого	4 933,2	4 406,9	4 575,7	6 063,2	5 729,1

Рейтинг Российской Федерации в рейтинге Doing Business в 2015–2019 гг.

Показатель	Место в рейтинге				
	2015	2016	2017	2018	2019
Рейтинг "Легкость ведения бизнеса"	62	36	40	35	28
Создание предприятий	34	37	26	28	40
Получение разрешений на строительство	156	117	115	115	26
Подключение к системе энергоснабжения	143	26	30	10	7
Регистрация собственности	12	8	9	12	12
Получение кредитов	61	42	44	29	25
Защита миноритарных инвесторов	100	51	53	51	72
Налогообложение	49	40	45	52	58
<i>Международная торговля</i>	<i>155</i>	<i>138</i>	<i>140</i>	<i>100</i>	<i>99</i>
Обеспечение исполнения контрактов	14	8	12	18	21
Разрешение неплатежеспособности	—	49	51	54	57

показателя "Международная торговля", учитывающего временные и финансовые издержки участников внешнеэкономической деятельности, связанные с совершением таможенных операций (табл. 2) [4].

В современных реалиях деятельности таможенной службы ключевым инструментом повышения эффективности таможенного контроля, позволяющим обеспечивать соблюдение баланса в рамках всех описанных выше тенденций, является система управления рисками, основанная на наиболее успешно зарекомендовавших себя международных практиках — Рамочные стандарты безопасности и облегчения мировой торговли Всемирной таможенной организации и Международная конвенция об упрощении и гармонизации таможенных процедур от 18 мая 1973 г. (Генеральное приложение).

Применяемая на всех этапах таможенного контроля в целях оптимального распределения имеющихся у таможенных органов ресурсов и исключения механизма "сплошного" контроля система управления рисками представляет собой основной инструмент определения объекта таможенного контроля, формы таможенного контроля и обеспечивающей его проведение меры (рис. 2).

Управление таможенными рисками базируется на субъектно-ориентированном подходе, обеспеченном сложной многофакторной математической моделью, который позволяет оценивать уровень

риска для последующего категорирования участников внешнеэкономической деятельности в целях дифференцированного применения мер по минимизации рисков [5].

В рамках инструментария системы управления рисками, обеспечивающего проведение многоступенчатого анализа и оценки риска, таможенными органами осуществляется оценка вероятности несоблюдения таможенного законодательства на основе сведений о возможных его нарушениях и подготовка обеспечивающих реализацию механизма выборочного таможенного контроля профилей рисков — совокупности сведений об области риска, индикаторах риска, а также мерах по их минимизации.

Результаты применения таможенными органами системы управления рисками на протяжении последних пяти лет свидетельствуют о безусловном росте ее эффективности (табл. 3) [2].

Вместе с тем, несмотря на проведенную к настоящему времени работу, представляется воз-

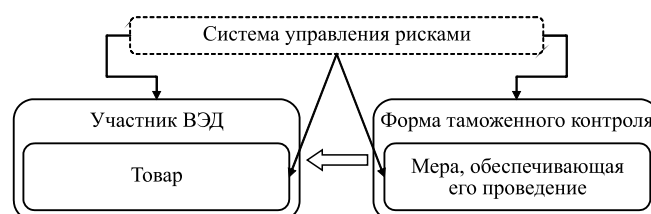


Рис. 2. Назначение системы управления рисками

Результаты применения системы управления рисками таможенными органами Российской Федерации в 2015—2019 гг.

Показатель	2015	2016	2017	2018	2019
Всего утверждено (актуализировано) профилей рисков, ед.	35 140	38 203	49 182	57 284	64 989
В том числе:					
общероссийские профили рисков, ед.	445	654	872	851	1 136
региональные (зональные) профили рисков, ед.	3 761	3 440	4 730	2 888	1 992
целевые профили рисков, ед.	30 934	34 109	43 580	53 545	61 861
Довзыскано таможенных платежей, млрд руб.	19,0	24,0	22,0	21,5	32,0
<i>Справочно: средняя экономическая эффективность профиля риска, тыс. руб.</i>	<i>540,7</i>	<i>628,2</i>	<i>447,3</i>	<i>375,3</i>	<i>492,4</i>
Принято решений об отказе в выпуске товаров, ед.	24 304	31 190	34 638	27 263	29 084
Принято решений о запрете ввоза (вывоза) товаров, ед.	12 556	11 281	19 190	13 000	17 668
Возбуждено дел об административных правонарушениях, ед.	32 231	33 518	40 996	41 562	48 246
Возбуждено уголовных дел, ед.	934	606	791	505	543

можно отметить факторы, определяющие направление ее дальнейшего совершенствования.

Так, при расчете целевых индикаторов, характеризующих эффективность и "бизнес-ориентированность" таможенного контроля, в качестве одного из ключевых параметров принято использовать предельное время совершения таможенных операций при помещении товаров под таможенную процедуру "выпуск для внутреннего потребления", являющуюся преобладающей в структуре применяемых в отношении перемещаемых через таможенную границу Евразийского экономического союза товарных партий.

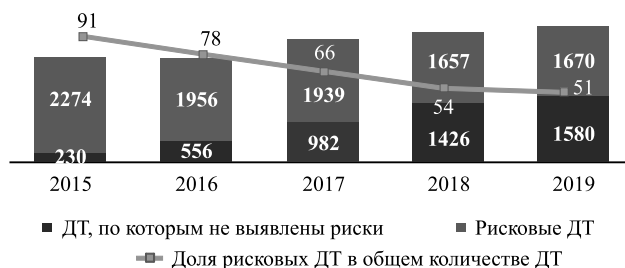
Для анализа в данном случае, исходя из практики, учитываются декларации на товары (далее — ДТ), в рамках которых товары не идентифицированы в качестве рискованных поставок и не подлежат дополнительным видам государственного контроля, по которым таможенная служба Российской Федерации продемонстрировала положительную динамику, сократив предельное время совершения таможенных операций с 96 ч в 2012 г. до 1,35 ч в 2018-м.

При этом достаточно высокими остаются значения показателя времени совершения таможенных операций в отношении товарных партий, идентифицируемых в качестве рискованных и составляющих не менее 50 % от общего декларационного массива, что коррелируется с приведенной в рейтинге

Всемирного банка оценкой показателя "Международная торговля" (рис. 3) [2].

С учетом изложенного целесообразно при оценке времени совершения таможенных операций в отношении товаров, перемещаемых через таможенную границу Евразийского экономического союза в рамках таможенной процедуры "выпуск для внутреннего потребления", осуществлять систематический открытый мониторинг показателя предельного времени их совершения в отношении "рискованных" товарных партий, который с учетом вышеизложенного следует рассматривать как основной.

Другим проблемным вопросом, несмотря на проводимую Федеральной таможенной службой



Показатель	2015	2016	2017	2018	2019
Время совершения таможенных операций по ДТ, в отношении которых выявлены риски, час.	47,6	47,1	33,3	26,9	26,5
Время совершения таможенных операций по ДТ, в отношении которых не выявлены риски, час.	1,7	1,6	1,5	1,4	—

Рис. 3. Структура декларационного массива в рамках таможенной процедуры "выпуск для внутреннего потребления" в разрезе выявляемых таможенными органами рисков

работу по минимизации участия должностных лиц таможенных органов при реализации механизма управления таможенными рисками и принятия соответствующих решений в сфере таможенного дела, является сохранившаяся субъективная составляющая.

В частности, по результатам проведенного в текущем году Счетной палатой Российской Федерации контрольного мероприятия по проверке организации применения системы управления рисками таможенными органами Российской Федерации в 2018—2020 годах, в рамках которого анализировалась деятельность Федеральной таможенной службы, непосредственно подчиненной ей Московской областной таможни, а также Тверской таможни, установлены факты принятия должностными лицами таможенных органов неправомερных решений при проведении контроля таможенной стоимости товаров, проверке классификационного кода товаров в соответствии с единой Товарной номенклатурой внешнеэкономической деятельности Евразийского экономического союза, факты неприменения системы управления рисками в отношении идентичных поставок, повлекшие возможное непоступление в качестве доходов федерального бюджета более 90 млн руб.

Кроме того, согласно заключению аудиторов Счетной палаты Российской Федерации применяемая таможенными органами в рамках процесса категорирования участников внешнеэкономической деятельности автоматизированная информационная система "Центральный реестр субъектов внешнеэкономической деятельности" не исключает их неправомερное отнесение к "зеленому сектору", что подтверждается в том числе выявленными фактами неправомερного отнесения организаций к категории низкого уровня риска [6].

Необходимо отметить, что в случае присвоения участнику внешнеэкономической деятельности категории низкого уровня риска декларируемые им товарные партии, как правило, не попадают

под действие "тяжелых" мер по минимизации рисков, предусмотренных соответствующими профилями риска, а совершение таможенных операций происходит в рамках технологии автоматического выпуска товаров в любом таможенном органе.

Вышеизложенное определяет направления дальнейшего поиска механизмов совершенствования применяемой таможенными органами системы управления рисками, представляющей собой основной инструмент обеспечения баланса тенденций минимизации фискальных рисков и снижения обременительности таможенных формальностей в контексте обеспечения таможенными органами экономической безопасности Российской Федерации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Сенчагов В. К.** Экономическая безопасность России: учебник. — М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015. — С. 470—474.
2. **Таможенная служба Российской Федерации в 2015—2019 годах:** справочные материалы к заседаниям Коллегии ФТС России. URL: <http://customs.ru>.
3. **Мониторинг** сводной информации об исполнении консолидированного бюджета субъектов Российской Федерации и сравнение регионов по основным показателям Минфина России. URL: <http://www.iminfin.ru/>
4. **Doing Business: A World Bank Group Flagship Report.** URL: <http://doingbusiness.org>.
5. **Распоряжение** Правительства РФ от 23 мая 2020 г. № 1388-р "Об утверждении Стратегии развития таможенной службы Российской Федерации до 2030 года". URL: <https://www.garant.ru/>
6. **Отчет** Счетной палаты Российской Федерации о результатах контрольного мероприятия "Проверка организации применения таможенными органами системы управления рисками при осуществлении таможенных операций и процедур, а также организации категорирования лиц, совершавших таможенные операции в 2018—2019 годах и истекшем периоде 2020 года". URL: <https://ach.gov.ru/>

УДК 629.331

DOI: 10.36652/1684-1298-2020-12-39-42

Ю. И. Моисеев, канд. техн. наук, доцент, e-mail: vat_vpi@mail.ru, Волжский политехнический институт (филиал) ФГБОУ ВО "Волгоградский государственный технический университет", г. Волжский,

А. В. Степанова, канд. юрид. наук, доцент, e-mail: urist@volpi.ru, ВПИ (филиал) ФГБОУ ВО ВолгГТУ, г. Волжский,

О. А. Беспалова, генеральный директор ООО "Тахобан", e-mail: sales@tahobank.ru, г. Москва,

А. В. Попов, ст. преподаватель, e-mail: alexandrus238@yandex.ru, ВПИ (филиал) ФГБОУ ВО ВолгГТУ, г. Волжский

СООТВЕТСТВИЕ ВОДИТЕЛЕЙ И ДРУГИХ РАБОТНИКОВ ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА СТРАНЫ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫМ И КВАЛИФИКАЦИОННЫМ ТРЕБОВАНИЯМ КАК ЗАЛОГ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ УЧАСТНИКОВ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ

В рамках данной работы проанализированы основные нормативные документы по указанной теме. Отмечается, что квалификационные требования не тождественны наличию документа, подтверждающего право управления транспортным средством. Квалификационные требования — это требования к знаниям, умениям, профессиональным навыкам водителя. Установлена правовая коллизия для водителей, получивших водительские удостоверения ранее 12.08.2014: наличие российского национального водительского удостоверения соответствующей категории позволяет говорить о несоответствии профессиональным требованиям, в свою очередь, отсутствие знаний, умений, профессиональных навыков по работе с различными типами тахографов однозначно свидетельствует о несоответствии квалификационным требованиям. Отмечается, что подтвердить наличие умений, профессиональных навыков по работе с различными типами тахографов лицам, получившим водительские права до 12.08.2014, может только документ, подтверждающий обучение по программе подготовки, соответствующей требованиям Приказа Минтранса РФ от 17.01.2012 № 7.

Ключевые слова: водитель, тахограф, безопасность движения.

In the framework of this work, the main regulatory documents on this topic are analyzed. It is noted that the qualification requirements are not identical to the presence of a document confirming the right to drive a vehicle. Qualification requirements are the requirements for the knowledge, skills, and professional skills of the driver. A legal conflict was established for drivers who received a driver's license earlier than 12/12/2014: the presence of a Russian national driver's license of the corresponding category makes it possible to speak of non-compliance with professional requirements, and in turn, the lack of knowledge, skills and professional skills in working with various types of tachographs clearly indicates a mismatch with qualifications requirements. It is noted that to confirm the availability of skills, professional skills in working with various types of tachographs to persons who have received a driver's license before 08/12/2014, only a document confirming training in the training program that meets the requirements of Order of the Ministry of Transport of the Russian Federation of January 17, 2012 No. 7 can be confirmed.

Keywords: driver, tachograph, traffic safety.

Темпы развития современной экономики определяются не только динамикой нарастания ресурсов, задействованных в ее обороте, но и качественно-количественной характеристикой перемещений пассажиров, без чего не будет полноценного развития. Кроме того, снижение транспортных издержек

на данное перемещение является ключевой задачей, так как они занимают существенную часть в стоимости того или иного продукта. Рост активности перевозок заставляет максимально активно заниматься нивелированием факторов риска, связанных с утерей груза или с утратой здоровья пассажира.

В связи с этим текущее определение безопасности дорожного движения, как состояние процесса, отражающее степень защищенности его участников от дорожно-транспортных происшествий и их последствий [6], является наиболее простым и емким. Как правило, возникновению дорожно-транспортных происшествий способствуют несколько факторов риска. Среди них можно выделить: нарушение ПДД участниками движения; техническое состояние дороги; степень исправности транспортного средства, погодные условия.

Вместе с тем важнейшую роль в системе обеспечения безопасности дорожного движения, по нашему мнению, играет соответствие водителей и других работников автомобильного и наземного городского электрического транспорта профессиональным и квалификационным требованиям, которую должны обеспечивать юридические лица, индивидуальные предприниматели, осуществляющие эксплуатацию транспортных средств (далее — субъекты транспортной деятельности) [4].

Согласно ст. 20 Федерального Закона № 196-ФЗ "О безопасности дорожного движения" субъекты транспортной деятельности обязаны организовывать работу водителей в соответствии с требованиями, обеспечивающими безопасность дорожного движения. Дополнительно субъекты транспортной деятельности, осуществляющие перевозки пассажиров на основании договора перевозки или договора фрахтования и (или) грузов на основании договора перевозки (коммерческие перевозки), а также осуществляющие перемещение лиц, кроме водителя, и (или) материальных объектов автобусами и грузовыми автомобилями без заключения указанных договоров (перевозки для собственных нужд автобусами и грузовыми автомобилями), обязаны:

- создавать условия для повышения квалификации водителей и других работников автомобильного и городского наземного электрического транспорта, обеспечивающих безопасность дорожного движения;

- обеспечивать соответствие работников профессиональным и квалификационным требованиям, предъявляемым при осуществлении перевозок и установленным федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим функции по выработке государственной политики и нормативно-правовому регулированию в сфере транспорта.

Приказ Минтранса России от 15.01.2014 № 7 уточнил, что субъект транспортной деятельности должен обеспечить профессиональную компетентность и профессиональную пригодность водителей транспортных средств, безопасность условий перевозок грузов и пассажиров.

Как видим, достаточно определенные и жесткие требования. Попробуем разобраться, как эти требования применяются на практике. Прежде всего проанализируем, что понимается под профессиональными и квалификационными требованиями.

Важно отметить, что квалификационные требования не тождественны наличию документа, подтверждающего право управления транспортным средством. Наличие у водителя российского национального водительского удостоверения соответствующей категории подтверждает соответствие профессиональным требованиям, предъявляемым на момент получения образования. Квалификационные же требования — это требования к знаниям, умениям, профессиональным навыкам водителя. Как видим, понятия не тождественны. Рассмотрим на примере.

Профессиональные и квалификационные требования к водителям утверждены приказом Минтранса России от 28 сентября 2015 г. № 287. Согласно п. 5.2 данного приказа водитель грузового автомобиля и водитель автобуса должны уметь использовать в работе различные типы тахографов [5].

В свою очередь, примерные программы профессионального обучения водителей транспортных средств соответствующих категорий и подкатегорий, утвержденные приказом Минобрнауки России от 26.12.2013 № 1408, содержат раздел, посвященный применению тахографов, а именно: виды контрольных устройств (тахографов), допущенных к применению для целей государственного контроля (надзора) за режимом труда и отдыха водителей на территории Российской Федерации; характеристики и функции технических устройств (тахографов), применяемых для контроля за режимами труда и отдыха водителей; технические, конструктивные и эксплуатационные характеристики контрольных устройств различных типов (аналоговых, цифровых), правила использования контрольного устройства; порядок применения карт, используемых в цифровых устройствах контроля за режимом труда и отдыха водителей; техническое обслуживание контрольных устройств, устанавливаемых на транспортных средствах; выявление неисправностей контрольных устройств. Также предусмотрены практические занятия по применению тахографов [3].

Однако по данным программам водители стали обучаться с 12.08.2014. Лица, получившие водительские удостоверения ранее, обучались по примерным программам подготовки водителей транспортных средств различных категорий, утвержденным приказом Минобрнауки РФ от 18.06.2010 № 636, которые не предусматривали изучение правил работы с тахографами.

И здесь в отношении лиц, получивших водительские удостоверения ранее 12.08.2014, возникает следующая коллизия. Наличие российского национального водительского удостоверения соответствующей категории позволяет говорить о несоответствии профессиональным требованиям, в свою очередь, отсутствие знаний, умений, профессиональных навыков по работе с различными типами тахографов однозначно свидетельствует о несоответствии квалификационным требованиям.

Теперь рассмотрим, какие риски в связи с этим возникают у субъектов транспортной деятельности [1].

Во-первых, возникает риск привлечения к ответственности при квалификации правонарушения как несоответствие профессиональным и квалификационным требованиям. При установлении факта несоответствия водителя квалификационным требованиям (в том числе к умению использовать в работе различные типы тахографов) должностные и (или) юридического лица привлекаются к ответственности по ч. 1 ст. 12.31.1 КоАП РФ.

Осуществление перевозок пассажиров и багажа, грузов автомобильным транспортом и городским наземным электрическим транспортом с нарушением профессиональных и квалификационных требований, предъявляемых к работникам, влечет наложение административного штрафа на должностных лиц в размере 20 тыс. руб.; на юридических лиц — 100 тыс. руб.

Несоблюдение требований, предъявляемых к работникам при осуществлении проверок, свидетельствует о нарушении ч. 11 ст. 19 Федерального закона "О лицензировании отдельных видов деятельности" и п. 7 Положения о лицензировании перевозок и является грубым нарушением лицензионных требований, образуя событие правонарушения по ч.ч. 1—4 ст. 14.1 КоАП РФ.

Согласно ч. 4 ст. 14.1 КоАП РФ осуществление предпринимательской деятельности с грубым нарушением требований и условий, предусмотренных специальным разрешением (лицензией), влечет наложение административного штрафа на юридических лиц от 100 тыс. до 200 тыс. руб. или административное приостановление деятельности на срок до девяноста суток.

Во-вторых, возникает риск привлечения к ответственности при квалификации правонарушения как управление транспортным средством либо выпуск на линию транспортного средства с неработающим техническим средством контроля или без него.

Если водитель не в состоянии предоставить распечатку тахографа, то инспектор ГИБДД впра-

ве считать это нарушением правил эксплуатации, изложенных в приказе Минтранса России от 13.02.2013 № 36, и наложить взыскание по ст. 11.23 КоАП (управление транспортным средством или выпуск на линию транспортного средства без тахографа, несоблюдение норм времени управления транспортным средством и отдыха либо нарушение режима труда и отдыха водителей) [2].

Субъектом правонарушения, предусмотренного ч. 1 ст. 11.23 КоАП РФ, может являться не только водитель транспортного средства, но и лицо, ответственное за выпуск на линию данного транспортного средства (или владелец транспортного средства), поскольку в обязанности механика/владельца входит обеспечение водителя инструкцией по эксплуатации тахографа и достаточным набором знаний, для того чтобы уметь управлять прибором.

За данное правонарушение КоАП РФ предусмотрено наложение административного штрафа на водителя в размере от 3 тыс. до 5 тыс. руб., на должностных лиц в размере от 7 тыс. до 10 тыс. руб.; на индивидуальных предпринимателей — от 15 тыс. до 25 тыс. руб.; на юридических лиц — от 20 тыс. до 50 тыс. руб.

Если водителем допущены нарушения при работе с тахографом, связанные с регистрацией времени труда и отдыха, то правонарушение квалифицируется по ст. 5.27 КоАП (нарушение режима труда и отдыха). За данное нарушение предусмотрен штраф водителю — до 3000 руб. Должностному лицу штраф за нарушение условий лицензии — до 10 тыс., для предприятия — до 200 тыс. руб. Также предусмотрен штраф за нарушения трудового законодательства должностному лицу — до 5 тыс., юридическому лицу — до 80 тыс. руб.

Важно отметить, если из-за нарушения режима труда и отдыха произойдет ДТП с причинением тяжкого вреда здоровью или со смертельным исходом — это основание для возбуждения уголовного дела в отношении водителя и должностных лиц, выпустивших транспортное средство на линию (статья 143 УК, предусматривающая до 3 лет лишения свободы).

В-третьих, возможен отказ в выплате страхового возмещения при ДТП, в случае если водитель не соответствовал профессиональным и квалификационным требованиям.

Если водитель не соответствует профессиональным и квалификационным требованиям (не умеет использовать в работе различные типы тахографов) — это может стать основанием для отказа страховой компанией в выплате страхового возмещения. Такой подход в судебной практике

продемонстрировал, в частности, АС Московского округа в постановлении от 26.04.2016 по делу № А40-149211/15, судебная коллегия по гражданским делам ВС РФ в определении от 28.02.2017 № 49-КГ17-3. Суды обращают внимание, что к управлению застрахованным транспортным средством допускаются только лица, соответствующие профессиональным и квалификационным требованиям. Если во время ДТП автомобилем управляет водитель, не соответствующий профессиональным и квалификационным требованиям, в части отказа в иске страхователю применяется условие договора страхования.

Кроме этого, Верховный Суд РФ в определении от 20.02.2016 по делу № 301-ЭС15-19900, А29-606/2015 четко сформулировал требование к судам при принятии решения о страховом возмещении учитывать причинно-следственную связь между ДТП и недостаточной квалификацией водителя транспортного средства.

Таким образом, если рассматривать вопрос в разрезе нашего примера, подтвердить наличие умений, профессиональных навыков по работе различными типами тахографов лицам, получившим водительские права до 12.08.2014, может только документ, подтверждающий обучение по программе подготовки, соответствующей требованиям приказа Минтранса РФ от 17.01.2012 № 7.

При отсутствии такого обучения субъекты транспортной деятельности, допуская до работы сотрудника, не соответствующего квалификационным требованиям, по нашему мнению, нарушают требования пп. 5.3 6.2 приказа Минтранса России от 28 сентября 2015 г. № 287.

Теперь вспомним, что п. 1 ст. 20 Федерального закона от 10.12.1995 № 196-ФЗ "О безопасности дорожного движения" установлено, что субъекты транспортной деятельности обязаны создавать условия для повышения квалификации водителей и других работников автомобильного и наземного городского электрического транспорта, обеспечивающих безопасность дорожного движения.

Статьей 196 ТК РФ установлено, что работодатель должен проводить профессиональную подготовку, переподготовку, повышение квалификации работников, обучение их вторым профессиям в организации, а при отсутствии лицензии на ведение образовательной деятельности — в образовательных учреждениях начального, среднего, высшего профессионального и дополнительного образования.

Работникам, проходящим профессиональную подготовку, работодатель должен создавать необходимые условия для совмещения работы с обучением, предоставлять гарантии, установленные трудовым законодательством и иными норматив-

ными правовыми актами, содержащими нормы трудового права, коллективным договором, соглашениями, локальными нормативными актами, трудовым договором.

По нашему мнению, обучение с целью обеспечения соответствия профессиональным и квалификационным требованиям водителей и других работников автомобильного и наземного городского электрического транспорта является необходимым при внесении изменений в соответствующие программы подготовки.

Таким образом, исполнение требований законодательства по обеспечению соответствия профессиональным и квалификационным требованиям в части повышения квалификации водителей и других работников автомобильного и наземного городского электрического транспорта, обеспечивающих безопасность дорожного движения, будет являться залогом обеспечения безопасности участников дорожного движения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Степанова А. В.** Правовая ответственность водителя: монография. — Волгоград, 2018. — 162 с.
2. **Приказ** Минтранса РФ от 13 февраля 2013 г. № 36 "Об утверждении требований к тахографам, устанавливаемым на транспортные средства, категорий и видов транспортных средств, оснащаемых тахографами, правил использования, обслуживания и контроля работы тахографов, установленных на транспортные средства".
3. **Приказ** Министерства образования и науки РФ от 26 декабря 2013 г. № 1408 "Об утверждении примерных программ профессионального обучения водителей транспортных средств соответствующих категорий и подкатегорий".
4. **Приказ** Министерства транспорта РФ от 15 января 2014 г. № 7 "Об утверждении Правил обеспечения безопасности перевозок пассажиров и грузов автомобильным транспортом и городским наземным электрическим транспортом и Перечня мероприятий по подготовке работников юридических лиц и индивидуальных предпринимателей, осуществляющих перевозки автомобильным транспортом и городским наземным электрическим транспортом, к безопасной работе и транспортным средств к безопасной эксплуатации".
5. **Приказ** Министерства транспорта РФ от 28 сентября 2015 г. № 287 "Об утверждении профессиональных и квалификационных требований к работникам юридических лиц и индивидуальных предпринимателей, осуществляющих перевозки автомобильным транспортом и городским наземным электрическим транспортом".
6. **Федеральный закон** "О безопасности дорожного движения" от 10.12.1995 № 196-ФЗ.

Е. В. Шепелева, асп., e-mail: sev_08@mail.ru, В. А. Городокин, канд. юрид. наук, проф., В. Д. Шепелев, канд. техн. наук, доцент, З. В. Альметова, канд. техн. наук, ФГАОУ ВО Южно-Уральский Государственный Университет (НИУ) (ЮУрГУ)

ОРГАНИЗАЦИЯ БЕЗЗАТОРНОГО ДВИЖЕНИЯ НА ПЕРЕКРЕСТКЕ ПРИ ОГРАНИЧЕНИИ ВРЕМЕНИ ЦИКЛА И ШИРИНЫ ПРОЕЗЖЕЙ ЧАСТИ

В системе организации дорожного движения в общем случае необходимо решение двух проблем — это обеспечение безопасности дорожного движения и пропускной способности. В представленной работе предлагается использовать расчетный путь оптимизации цикла работы светофорного объекта с целью обеспечения максимальной пропускной способности узла улично-дорожной сети (УДС). Методика расчета сводится к определению оптимального соотношения количества полос, предназначенных для движения транспортных средств (ТС), и продолжительности цикла работы светофорного объекта.

Ключевые слова: пропускная способность, улично-дорожная сеть, транспортный поток, стоп-линия, ширина проезжей части.

In General, two problems need to be solved in the traffic management system: road safety and capacity. In this paper, it is proposed to use a calculated way to optimize the cycle of a traffic light object in order to ensure the maximum capacity of the node of the road network. The calculation method is based to determining the optimal ratio of the number of lanes intended for vehicle traffic and the duration of a cycle of the traffic light object.

Keywords: capacity, street and road network, traffic flow, stop line, width of the roadway.

В организации дорожного движения существуют две проблемы — это безопасность дорожного движения и пропускная способность узлов УДС. Безусловно, снижая скорость транспортного потока в предельном значении, можно прийти к практически абсолютной безопасности [1, 2]. И если вопросы безопасности дорожного движения поднимаются на различных уровнях власти и доводятся до уровня Закона и Федеральных Целевых программ (Федеральная целевая программа "Повышение безопасности дорожного движения в 2013—2020 гг.", Федеральный Закон № 196-ФЗ "О безопасности дорожного движения" от 15 ноября 1995 г.), то проблемы пропускной способности, в основном, обсуждаются на уровне специалистов [3, 4]. Вместе с тем проблема пропускной способности причиняет морально-психологический, физический и экономический вред. Моральная и физическая часть проблемы состоит в том, что граждане, попадающие в затор, причиняют вред своему здоровью, вдыхая воздух, перенасыщенный вредными и отравляющими (в зависимости от концентрации) газами. Экономический вред наносится в виде громадных в общем количестве потерь бесцельно потраченного топлива в результате работы двигателей на холостом ходу и в режиме

"старт — стоп", износа деталей и агрегатов. Эти проблемы всем известны, но проблема заторов, в основном связанная с пропускной способностью узлов УДС, остается нерешенной.

Целью данного исследования является разработка методики по обеспечению беззаторного проезда УДС при ограничении времени цикла и ширины проезжей части.

Анализ исследований и публикаций

Способов решения проблемы образования заторов в крупных городах с ростом числа количества автомобилей на дорогах предложено немало как зарубежными, так и российскими исследователями.

Часть специалистов предлагает регулировать работу светофорного объекта с использованием информационных и коммуникационных технологий [5—10].

В работе [5] авторы разработали модель, которая оптимально планирует время зеленого света в соответствии с условиями движения на каждой полосе, чтобы минимизировать среднее время ожидания на перекрестке. Авторы в исследованиях [6—8] использовали сенсорную сеть для

сбора данных о трафике, которая в зависимости от загрузки перекрестка изменяет протокол работы светофоров в режиме реального времени. Исследователи в [9] предложили метод интеллектуального управления транспортом, включающий в себя оптимизацию разрешающего сигнала светофора и комбинирования полос для движения. Зиновьев И. В. в своей работе [10] разработал алгоритм адаптивного управления светофорами на основе роя частиц и моделирования в программе микроскопического моделирования SUMO, позволяющий повысить пропускную способность приблизительно на 19 %.

Ряд работ посвящен применению компьютерного зрения в целях повышения пропускной способности перекрестков [11–12].

В работе [11] авторы представили систему, использующую искусственный интеллект и компьютерное зрение для сбора и анализа данных о дорожном трафике. Отличительной особенностью работы [12] авторов является повышение точности распознавания транспортных средств компьютерным зрением в неблагоприятных погодных условиях с помощью алгоритма, основанного на R-CNN и быстрой двусторонней фильтрации.

В то время как специалистами проводятся исследования по повышению пропускной способности УДС с помощью новых технологий, в самих городах применяются различные меры по борьбе с заторами: платный проезд в центр города и платные дороги, развитие общественного транспорта, повышение цены на транспортные средства и введение платных лицензий на управление ТС, строительство новых дорог и их модернизация.

Понимая, что решение пропускной способности узлов УДС не может бесконечно решаться за счет расширения дорог, необходимо прийти к выводу о необходимости оптимизации работы светофорных объектов [13–17].

Проведенные исследования и полученные результаты предоставляют инструмент для организации работы светофорного объекта в рамках интеллектуальной транспортной системы с возможностью обеспечения беззаторного проезда узла УДС транспортному потоку в моменты пиковых нагрузок. Вместе с тем существующие методики расчета продолжительности основного разрешающего такта не учитывают допустимость продолжения движения транспортного средства через перекресток при включении запрещающего желтого сигнала светофора. Устранение указанного недостатка позволяет с большей точностью определить продолжительность основного такта и установить допустимый момент включения за-

прещающего сигнала светофора. В свою очередь, при высокой степени интенсивности транспортного потока и предельном значении продолжительности цикла работы светофорного объекта возникает необходимость увеличения числа полос движения для снижения интенсивности, приходящейся на одну полосу. Принятие компромиссного решения по оптимальному соотношению количества полос движения и продолжительности основного такта по каждому направлению позволит минимизировать вероятность заторной ситуации и, соответственно, повысит пропускную способность узла УДС.

Методика расчета

В научных источниках [18–20] продолжительность разрешающего такта данного направления узла УДС (t_0), во-первых, определяется исходя из количества транспортных средств, подъезжающих к узлу УДС за время цикла работы светофорного объекта, с условием, что все подъехавшие за указанный отрезок времени транспортные средства освободят перекресток в течение одного разрешающего такта [21, 22]. Во-вторых, на продолжительность разрешающего такта оказывает влияние допустимость продолжения движения через перекресток в случае невозможности остановить транспортное средство при включении запрещающего (желтого) сигнала светофора перед местом, регламентированным требованиями п. 6.13 Правил дорожного движения, не прибегая к экстренному торможению:

$$t_0 = t_{lst} - t_{el}, \quad (1)$$

где t_{lst} — продолжительность времени, необходимого последнему в очереди на данной полосе автомобилю для достижения стоп-линии перед перекрестком; t_{el} — продолжительность времени с момента включения запрещающего желтого сигнала до момента пересечения последним из стоявших в очереди на данной полосе автомобилем стоп-линии перед перекрестком;

$$t_{lst} = \sqrt{\frac{2S_{lst}}{a}} + t_{dls}, \quad (2)$$

где S_{lst} — расстояние, на котором располагался от стоп-линии последний из находившихся в очереди на данной полосе автомобиль, в момент включения для него разрешающего движение сигнала светофора; a — ускорение, с которым начинает набирать скорость последний из стоявших в очереди на данной полосе автомобиль при включенном разрешающем движении сигнале светофора

(принимается равным $0,6 \text{ м/с}^2$); t_{dls} — задержка начала движения последнего из стоявших в очереди на данной полосе автомобиля после включения для него разрешающего движение сигнала светофора (принимается равной n , с, где n — порядковый номер автомобиля в очереди).

Расстояние, на котором располагался от стоп-линии последний из находившихся в очереди на данной полосе автомобиль в момент включения для него разрешающего движение сигнала светофора (S_{lst}), определяется:

$$S_{lst} = n(l_a + d_a), \quad (3)$$

где n — количество автомобилей, подъехавших к узлу УДС за время цикла и стоящих в очереди в ожидании разрешающего движение сигнала светофора; l_a — средняя длина легкового автомобиля (принимается равной около $4,5 \text{ м}$); d_a — средняя дистанция между автомобилями, стоящими в очереди в ожидании включения разрешающего движение сигнала светофора (принимается равной 2 м).

Исследованиями установлено, что продолжительность времени с момента включения на светофоре запрещающего желтого сигнала до момента пересечения последним из стоявших в очереди на данной полосе автомобилем стоп-линии (t_{el}) связана с допустимостью продолжения движения через перекресток при отсутствии у водителя технической возможности остановить транспортное средство перед местом, регламентированным требованиями Правил дорожного движения (в рассматриваемом случае перед стоп-линией), не прибегая к экстренному торможению в момент переключения сигнала светофора с разрешающего движение сигнала на запрещающий желтый. Соответственно, продолжительность времени включения разрешающего сигнала (продолжительность разрешающего такта) может быть уменьшена на отрезок времени t_{el} :

$$t_{el} = \frac{V_{sl} - V_{acl}}{3,6a}, \quad (4)$$

где V_{sl} — скорость, которую достигнет начавший движение последний из находившихся в очереди на данной полосе автомобиль в момент пересечения стоп-линии, км/ч; V_{acl} — скорость, которую достиг начавший движение последний из находившихся в очереди на данной полосе автомобиль в момент включения для него запрещающего желтого сигнала светофора, определяется по приводимой ниже формуле, км/ч.

Расстояние, на котором в момент включения запрещающего движение желтого сигнала свето-

фора располагался от стоп-линии начавший движение автомобиль, последний из находившихся в очереди на данной полосе, определяется:

$$S_{el} = (t_{1el} + t_2 + 0,5t_{3el}) \frac{V_{acl}}{3,6} + \frac{V_{acl}^2}{26J_{el}}, \quad (5)$$

где t_{1el} — продолжительность времени реакции водителя транспортного средства при смене сигнала светофора с разрешающего зеленого мигающего на запрещающий желтый (принимается равной $0,6 \text{ с}$); t_2 — продолжительность времени запаздывания срабатывания тормозного привода транспортного средства при применении водителем торможения (для легкового автомобиля принимается равным $0,1 \text{ с}$); t_{3el} — продолжительность времени нарастания замедления транспортного средства при применении водителем торможения (для легкового автомобиля с учетом неприменения водителем экстренного торможения принимается равным $0,35 \text{ с}$ для сухого асфальтового покрытия); J_{el} — величина замедления транспортного средства при применении водителем торможения в темпе "не прибегая к экстренному" (для легкового автомобиля с учетом неприменения водителем экстренного торможения принимается равным $4,6 \text{ м/с}^2$ для сухого асфальтового покрытия).

Скорость, которую достиг начавший движение последний из находившихся в очереди на данной полосе автомобиль в момент включения для него запрещающего желтого сигнала светофора (V_{acl}), при которой водитель имеет право продолжить движение, определяется:

$$V_{acl} = \sqrt{26a(S_{lst} - S_{el})} = \sqrt{26aS_{lst} - 26a \left[(t_{1el} + t_2 + 0,5t_{3el}) \frac{V_{acl}}{3,6} + \frac{V_{acl}^2}{26J_{el}} \right]}. \quad (6)$$

После преобразований получено квадратное уравнение:

$$\left(1 + \frac{a}{J_{el}}\right) V_{acl}^2 + \left(\frac{26a(t_{1el} + t_2 + 0,5t_{3el})}{3,6}\right) V_{acl} - 26aS_{lst} = 0. \quad (7)$$

Найден дискриминант квадратного уравнения, и в результате в зависимости от дальности расположения последнего в очереди автомобиля получены два значения корня, одно из которых имеет отрицательное значение и при дальнейших расчетах не используется.

Расчетная часть

На основе разработанной методики расчетным путем установлена продолжительность основного такта светофорного объекта для одного из направлений движения транспортного потока на узле УДС.

Выполнены расчеты для транспортного потока с интенсивностью до 700 авт./ч для всех вариантов, начиная от одного автомобиля на полосе движения до 700 в час, что соответствует 24 автомобилям, накапливающимся перед стоп-линией в ожидании разрешающего сигнала светофора, при 120-секундном цикле светофорного объекта. Результаты расчетов приведены в таблице.

Таблица иллюстрирует удаленность последнего ТС, находящегося в очереди перед светофором,

величину скорости, достигаемую данным транспортным средством к моменту пересечения стоп-линии и к моменту включения желтого сигнала светофора, расположение данного ТС в момент включения желтого сигнала светофора, продолжительность времени достижения им стоп-линии с момента включения желтого сигнала светофора, с момента начала движения и необходимая продолжительность основного такта данного направления для беззаторного проезда узла транспортными средствами, стоящими в ожидании включения разрешающего сигнала светофора.

Таким образом, расчетами установлено, что при интенсивности транспортного потока 700 авт./ч, приходящейся на одну полосу проезжей части данного направления:

Порядковый номер N_a	S_{lst} , м	V_{sl} , км/ч	V_{acl} , км/ч	S_{el} , м	t_{el} , с	t_{lst} , с	t_0 , с
1	0	0	0	0	0,00	0	0
2	6,5	10,7	7,94	2,46	1,28	6,65475	5,38
3	13,0	14,24	11,8	4,03	1,13	9,58281	8,45
4	19,5	17,44	14,8	5,43	1,22	12,0623	10,84
5	26,0	20,14	17,3	6,71	1,31	14,3095	12,99
6	32,5	22,52	19,6	7,98	1,35	16,4083	15,06
7	39,0	24,67	21,6	9,15	1,42	18,4018	16,98
8	45,5	26,64	23,4	10,39	1,50	20,3153	18,82
9	52,0	28,48	25,2	11,43	1,52	22,1656	20,65
10	58,5	30,21	26,8	12,52	1,58	23,9642	22,39
11	65,0	31,84	28,3	13,57	1,64	25,7196	24,08
12	71,5	33,40	29,8	14,67	1,67	27,438	25,77
13	78,0	34,88	31,2	15,72	1,70	29,1245	27,42
14	84,5	36,31	32,5	16,73	1,76	30,7829	29,02
15	91,0	37,68	33,8	17,77	1,80	32,4165	30,62
16	97,5	39,00	35,0	18,78	1,85	34,0278	32,18
17	104,0	40,28	36,3	19,84	1,84	35,619	33,78
18	110,5	41,52	37,4	20,79	1,91	37,192	35,28
19	117,0	42,72	38,5	21,75	1,95	38,7484	36,79
20	123,5	43,89	39,6	22,74	1,99	40,2896	38,30
21	130,0	45,03	40,7	23,74	2,00	41,8167	39,81
22	136,5	46,15	41,8	24,77	2,01	43,3307	41,32
23	143,0	47,23	42,8	25,72	2,05	44,8327	42,78
24	149,5	48,29	43,8	26,69	2,08	46,3234	44,24
25	156,0	49,33	44,8	27,67	2,10	47,8035	45,71
26	162,5	50,35	45,7	28,59	2,14	49,2737	47,13
27	169,0	51,35	46,7	29,53	2,00	50,7346	48,56

1) последний стоящий в очереди автомобиль будет находиться от стоп-линии на расстоянии около 150 м;

2) продолжительность разрешающего сигнала светофора не должна быть менее 44,2 с, что при округлении в большую сторону составляет 45 с. При указанной продолжительности разрешающего сигнала вероятность заторной ситуации сводится к 0;

3) последний стоящий в очереди автомобиль получит возможность начать движение, ориентировочно, через 24 с после включения для его направления разрешающего сигнала светофора;

4) скорость, набираемая последним стоявшим в очереди автомобилем, к моменту допустимости переключения сигнала светофора с разрешающего на запрещающий составляет около 44 км/ч, а к моменту пересечения им стоп-линии — около 48 км/ч.

Вместе с тем указанная выше продолжительность разрешающего такта для одного из направлений движения на 4-стороннем перекрестке при высокой интенсивности всех направлений не всегда возможна. И при сопоставимой интенсивности всех направлений не может быть, в принципе, обеспечена беззаторная ситуация при допустимой максимальной продолжительности цикла светофорного объекта — 120 с. При указанных условиях нередко возникает необходимость уменьшения продолжительности разрешающего такта для какого-либо направления, что с технической точки зрения потребует снижения интенсивности транспортного потока, которое может быть достигнуто различными способами (в частности, увеличением числа полос движения).

Полученные расчетные данные (см. таблицу) позволяют с достаточной точностью определить необходимую продолжительность разрешающего такта при увеличении полос движения. Например, при увеличении количества полос на въезде на перекресток с одной полосы до двух позволит снизить интенсивность движения автомобилей, приходящуюся на одну полосу, до 350 авт./час, что, в свою очередь, приведет к уменьшению продолжительности разрешающего такта с 45 до 26 с (25,8 с) (см. рисунок).

Соответственно, при первоначальном наличии двух полос движения добавление третьей позволит снизить интенсивность движения автомобилей, приходящуюся на одну полосу, до 234 авт./ч, что позволит уменьшить продолжительность разрешающего такта с 33 до 19 с (18,82 с).

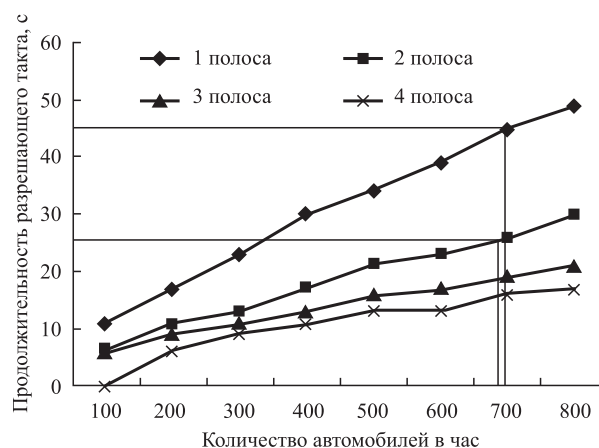


График расчетной продолжительности основного такта в зависимости от интенсивности транспортного потока и количества полос на въезде на перекресток

Разработанная методика позволяет решить проблему увеличения пропускной способности за счет увеличения продолжительности разрешающего такта светофорного объекта при отсутствии технической возможности добавления полос движения на узле УДС.

Например, при действующем цикле работы светофорного объекта продолжительность разрешающего такта составляет 28 с, при этом движение на перекрестке организовано по трем полосам, а интенсивность транспортного потока составляет 1839 авт./ч. Расчетами установлено, что на одну полосу движения приходится интенсивность 613 авт./ч. При 120-секундном цикле работы светофорного объекта получено, что за время одного цикла накапливаемость автомобилей перед стоп-линией составит 21 автомобиль:

$$n = \frac{N_a T}{3600}, \quad (8)$$

где N_a — часовая интенсивность транспортного потока, приходящаяся на одну полосу; T — продолжительность цикла работы светофорного объекта (принимается равной 120 с).

Последний 21-й очередной автомобиль расположен относительно стоп-линии на расстоянии 130 метров и для покидания им данного узла УДС необходима продолжительность разрешающего движения такта светофора 40 с (39,8) (см. табл.). Таким образом, ни при каких условиях фактическая продолжительность разрешающего такта, составляющая 28 с, не сможет обеспечить беззаторный проезд данного узла УДС. Затор на данном узле УДС при указанной интенсивности транспортного потока неизбежен.

Выводы

Предлагаемая в работе методика позволяет при расчете основного такта светофорного объекта для конкретного направления учесть возможность заблаговременного переключения разрешающего сигнала светофора на запрещающий. Данная математическая модель в зависимости от интенсивности транспортного потока в целом и приходящейся на одну полосу в частности позволяет привести в соответствие продолжительность основного такта и количество полос движения данного направления. При достижении предельных значений продолжительности цикла работы светофорного объекта предлагаемая методика позволяет обосновать необходимость введения дополнительных полос для движения транспортных средств, а также позволяет с высокой точностью произвести расчет как основных тактов всех направлений, приходящих к узлу УДС, так и цикла работы светофорного объекта при невозможности увеличения полос движения. Применение предлагаемой методики позволит обеспечить беззатормное движение транспортного потока через узел УДС.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Абрамова Л. С., Ширин В. В.** Способ повышения пропускной способности регулируемых перекрестков // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — 2010. — № 3 (46). — С. 62–65.
2. **Vitvitskii E., Simul M., Porkhacheva S.** Innovative technology for evaluation of capacity of thoroughfares // Transportation Research Procedia. — 2017. — Vol. 20. — P. 671–675.
3. **Afanasyev A., Panfilov D.** Estimation of intersections traffic capacity taking into account changed traffic intensity // Transportation Research Procedia. — 2017. — Vol. 20. — P. 2–7.
4. **Estimating** the parameters of traffic flows on the basis of processing of localization data on the movement of vehicles / D. Kapski, V. Kasyanik, O. Lobashov, A. Volynets, O. Kaptsevich, A. Galkin // Communications-Scientific letters of the University of Zilina. — 2019. — Vol. 21 (2). — P. 89–99.
5. **Adebiyi R. F., Abubilal K. A., Mu'azu M. B., Adebiyi B. H.** Development and simulation of adaptive traffic light controller using artificial bee colony algorithm // International Journal of Intelligent Systems and Applications. — 2018. — Vol. 10 (8). — P. 68–74.
6. **Younis O., Moayeri N.** Employing cyber-physical systems: dynamic traffic light control at road intersections // IEEE Internet of Things Journal. — 2017. — Vol. 4 (6). — P. 2296.
7. **Shinde S. M.** Adaptive traffic light control system // 1st International Conference on Intelligent Systems and Information Management. — 2017. — P. 300–306.
8. **Narnolia V., Jana U., Chattopadhyay S., Roy S.** Generalized smart traffic regulation framework with dynamic adaptation and prediction logic using computer vision // Advances in Intelligent Systems and Computing. — 2020. — Vol. 937. — P. 249–263.
9. **Guo P., Lei D., Ye L.** An indefinite cycle traffic light timing strategy // International Journal of Advanced Computer Science and Applications. — 2018. — Vol. 9. — No. 5.
10. **Зиновьев И. В.** Алгоритм адаптивного управления светофорами на основе алгоритма роя частиц // Научный журнал. — 2016. — № 4 (5). — С. 26–30.
11. **Mishra S., Birchha V.** An improved smart traffic signal using computer vision and artificial intelligence // International Journal of Recent Technology and Engineering. — 2019. — Vol. 8 (4). — P. 4124–4131.
12. **D2: Real-time** dehazing in traffic video analytics by fast dynamic bilateral filtering / A. Das, S. Pai, V. S. Shenoy, T. Vinay, S. S. Shylaja // Advances in Intelligent Systems and Computing. — 2020. — Vol. 1024. — P. 127–137.
13. **Krishnamurthy K., Thamizh Arasan V.** Effect of road width and traffic volume on vehicular interactions in heterogeneous traffic // Journal of Advanced Transportation. — 2014. — Vol. 48 (1). — P. 1–14.
14. **Абрамова Л. С., Ширин В. В.** Способ повышения пропускной способности регулируемых перекрестков // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — 2010. — № 3 (46). — С. 62–65.
15. **Басков В. Н., Борисов И. А.** Анализ факторов, влияющих на пропускную способность дороги // Вестник развития науки и образования. — 2014. — № 2. — С. 10–13.
16. **Злоказов В. В., Некрестьянов Д. Н.** О влиянии числа полос на пропускную способность автомобильных дорог // Автотранспортное предприятие. — 2010. — № 4. — С. 50–52.
17. **Исаков К., Стасенко Л. Н., Алтыбаев А. Ш., Даиырбеков Д.** Влияние параметров цикла светофорного регулирования на пропускную способность регулируемых пересечений // Вестник СибАДИ. — 2019. — № 16 (2). — С. 146–155.
18. **Adaptive** fuzzy urban traffic flow control using a cooperative multi-agent system based on two stage fuzzy clustering / F. Daneshfar, J. Ravan Jam Jah, F. Mansoori, H. Bevrani, B. Z. Azami // VTC Spring 2009. IEEE 69th Vehicular Technology Conference. — 2009. — No. 5073360.
19. **Ertman S., Ertman J., Zakharov D.** Adaptation of urban roads to changing of transport demand // International Conference on Sustainable Cities. — 2016. — Vol. 6 (01013).
20. **Köhler E., Strehler M.** Traffic signal optimization using cyclically expanded networks // Networks. — 2015. — Vol. 65 (3). — P. 244–261.
21. **Левтеров А. И., Ярута А. Н.** Определение зависимости времени проезда перекрестка от величины очереди транспортных средств и параметров дорожной сети // Автомобильный транспорт. — 2011. — № 29.
22. **Gorodokin V., Almetova Z., Shepelev V.** Algorithm of signalized crossroads passage within the range of permissive-to-restrictive signals exchange // Transportation Research Procedia. — 2017. — Vol. 20. — P. 225–230.

Технический редактор *Е. М. Патрушева*. Корректор *Е. В. Комиссарова*

Сдано в набор 05.10.2020. Подписано в печать 30.11.2020. 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 "Авансед солюшнз". 119071, г. Москва, Ленинский пр-т, д. 19, стр. 1. Сайт: www.aov.ru