

Учредитель ООО "Научно-техническое издательство
"Инновационное машиностроение"

Главный редактор С.Н. ПЕДЕНКО

Редакционный совет

В.С. Антипенко,
д-р техн. наук, проф.
Е.В. Балакина,
д-р техн. наук, проф.
Д.Х. Валеев,
д-р техн. наук
Ю.Э. Васильев,
д-р техн. наук, проф.
В.А. Волчков,
"Autotransportnik.ru"
С.М. Гайдар,
д-р техн. наук, проф.
Л.В. Грехов,
д-р техн. наук, проф.
В.А. Зорин,
д-р техн. наук, проф.
М.Ю. Карелина,
д-р техн. наук, проф.
Н.Т. Катанаев,
д-р техн. наук, проф.
В.Н. Козловский,
д-р техн. наук, проф.
В.В. Комаров,
канд. техн. наук

А.В. Кочетков,
д-р техн. наук, проф.
В.А. Марков,
д-р техн. наук, проф.
Л.Б. Миротин,
д-р техн. наук, проф.
А.Н. Новиков,
д-р техн. наук, проф.
А.Н. Ременцов,
д-р пед. наук, проф.
О.Н. Румянцева,
генеральный директор
ООО "Изд-во
Инновационное
машиностроение"
А.Ф. Синельников,
канд. техн. наук, проф.
А.А. Солнцев,
д-р техн. наук, проф.
В.С. Устименко,
канд. техн. наук
Х.А. Фасхиев,
д-р техн. наук, проф.
Н.Д. Чайнов,
д-р техн. наук, проф.

Корпункт:

Я.Е. Карповский (г. Минск)

Адрес редакции:

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

Адрес издательства:

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

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

Подписной индекс:
по объединенному каталогу
"Пресса России" 39799

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

Перепечатка материалов из журнала «Грузовик» возможна при
обязательном письменном согласовании с редакцией журнала. При
перепечатке материалов ссылка на журнал «Грузовик» обязательна.
За содержание рекламных материалов ответственность несет
рекламодатель.



В НОМЕРЕ:

Энергетическое машиностроение

3 Фасхиев Х. А. Альтернативы развития автомобильного транспорта России. Часть 2

Исследования. Расчет

15 Устименко В. С. Способ ускоренных испытаний многоцелевых автомобилей с автоматической гидромеханической трансмиссией

19 Коптилов В. И. О нормальных реакциях опорной поверхности при движении колесной машины

25 Шалимов В. Э., Дворцов А. И. Нейросетевой метод диагностирования механической системы топливоподачи автомобильных дизелей

Городской пассажирский наземный транспорт

30 Меркулов А. А., Шемякин А. В., Терентьев В. В., Андреев К. П. Общие аспекты в разработке проекта организации дорожного движения

Транспортный комплекс

33 Якубович А. Н., Якубович И. А. Прогнозирование воздействий грузового автотранспорта на дорожную сеть криолитозоны России в условиях изменения климата

Практика

38 Кулик В. И., Нилов А. С. Перспективы применения композиционных материалов в высоконагруженных системах сцепления "мокрого" типа автотранспортной техники

Безопасность

43 Щеголева Н. В., Кочетков А. В., Янковский Л. В., Задворнов В. Ю. Анализ правоприменения осуществления временных ограничений или прекращения движения транспортных средств

Журнал входит в Перечень утвержденных ВАК РФ изданий для публикации трудов соискателей ученых степеней <http://perechen.vak2.ed.gov.ru/> Система Российского индекса научного цитирования www.elibrary.ru. Двухлетний импакт-фактор РИНЦ 2017 г. — 0,507. Место в рейтинге SCIENCE INDEX за 2017 г. по тематике "Транспорт" — 27; по тематике "Машиностроение" — 52.

Информация на сайте "Autotransportnik.ru"

Founder JSC Scientific and Technical Publishing House "Innovative Engineering"

Editor-in-Chief S.N. PEDENKO

Editorial council

V.S. Antipenko,
dr. en. s., prof.
E.V. Balakina,
dr. en. s., prof.
D.H. Valeev,
dr. en. s.
Ju.E. Vasilyev,
dr. en. s., prof.
B.A. Volchkov,
«Autotransportnik.ru»
S.M. Gaidar,
dr. en. s., prof.
L.V. Grekhov,
dr. en. s., prof.
V.A. Zorin,
dr. en. s., prof.
M.Ju. Karelina,
dr. en. s., prof.
N.T. Katanaev,
dr. en. s., prof.
V.N. Kozlovsky,
dr. en. s., prof.
V.V. Komarov,
cand. tehn. s.

A.V. Kochetkov,
dr. en. s., prof.
V.A. Markov,
dr. en. s., prof.
L.B. Mirotin,
dr. en. s., prof.
A.N. Novikov,
dr. en. s., prof.
A.N. Rementsov,
dr. hab, phd in en. s.
O.N. Rumyantseva,
gen. dir. JSC "Publisher
"Innovative Engineering"
A.F. Sinelnikov,
cand. tehn. s., prof.
A.A. Solntsev,
dr. en. s., prof.
V.S. Ustymenko,
cand. tehn. s.
J.A. Faskhiyev,
dr. en. s., prof.
N.D. Chaynov,
dr. en. s., prof.

Correspondent's office:

Ya.E. Karpovsky (Minsk)

Address of the editorial office:

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

Address of publishing house:

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

The magazine is registered by the Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology and Mass Communications (Roskomnadzor).

Registration number PI number FS77.-63955
on December 9, 2015

Subscription index:

according to the integrated catalog
"Press of Russia" 39799

JSC Innovatsionnoye mashinostroyeniye Publishing House, "Truck", 2019

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

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



CONTENTS:

Power engineering

- 3 Faskhiev Kh. A. Alternatives to the development of road transport in Russia. Part 2

Research. Calculation

- 15 Ustymenko V. S. Method of accelerated tests of multipurpose vehicles with automatic hydromechanical transmission
- 19 Kopotilov V. I. About normal reaction of the supporting surface during of the wheeled vehicle
- 25 Shalimov V. E., Dvortsov A. I. Neural networks method of diagnosis the mechanical system of fuel supply for automobile diesel engine

Public passenger land transport

- 30 Merkulov A. A., Shemyakin A. V., Terentyev V. V., Andreev K. P. General aspects in developing the draft road traffic organization project

Transportation complex

- 33 Yakubovich A. N., Yakubovich I. A. Forecasting the impact of trucks on the road network of the Russian cryolithozone in the context of climate change

Practice

- 38 Kulik V. I., Nilov A. S. Perspectives of application of composite materials in high-loaded clutch systems of "wet" type of motor transport equipment

Security

- 43 Shchegoleva N. V., Kochetkov A. V., Jankovskiy L. V., Zadvornov V. Yu. Analysis of right application of implementation of temporary restrictions or terminations of the movement of vehicles

The journal is included in the list approved by the WAC RF publishers for publications of papers candidates degrees <http://perechen.vak2.ed.gov.ru/> System of Russian Science Citation Index www.elibrary.ru. The system of the Russian index of scientific quoting www.elibrary.ru. The two-year impact factor INDEK 2017 — 0.507. Place in the rating of SCIENCE INDEX for 2017 on the subject "Transport" — 27; on the subject "Mechanical Engineering" — 52. http://elibrary.ru/title_about.asp?id=9777 Information on the site "Autotransportnik.ru"

ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 656.025

Х. А. Фасхиев, д-р техн. наук, профессор Уфимского филиала Финансового университета при Правительстве Российской Федерации", профессор Уфимского государственного авиационного технического университета
E-mail: faskhiev@mail.ru

АЛЬТЕРНАТИВЫ РАЗВИТИЯ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА РОССИИ. ЧАСТЬ 2

Показаны альтернативные варианты развития автотранспорта в целях решения назревших экологических проблем. Приводятся доводы и возражения перевода автотранспорта на газомоторное топливо и на электрическую тягу. Отмечается, что переход на электрическую тягу стратегически более перспективен, чем перевод транспорта на газомоторное топливо. Получены данные, показывающие, что электромобили уже сейчас более экономичны, чем автомобили с двигателями внутреннего сгорания. С учетом начала массового перевода автомобилей на электрическую тягу России целесообразно взять курс на массовое внедрение электромобилей, а не вкладывать огромные ресурсы на инфраструктуру использования газомоторного топлива. С точки зрения современных экономических систем электромобили более перспективны, чем автомобили с двигателями на газомоторном топливе, базирующиеся на технологии "вчерашнего дня". Газ более эффективно было бы применять для генерации электроэнергии и тепла. Освоение массового производства технически более совершенных, дешевых аккумуляторных батарей окончательно отправит двигатели внутреннего сгорания автомобилей на "свалку истории". Электротранспорт ввиду своей высокой технологичности, экологичности кардинально сдвигает экономику страны в сторону энергоэффективных решений, что должно быть принято во внимание при выборе стратегии развития транспорта будущего.

Ключевые слова: автомобиль, экология, газ, моторное топливо, заправочная станция, электромобиль, экономическая эффективность, цена.

The problems and trends in the development of rolling stock on the motor transport complex are revealed. The arguments and objections of the transfer of motor vehicles to gas engine fuel and electric traction are given, the strategy of switching to electric vehicles is noted. Data have been obtained showing that electric vehicles are now more economical than cars equipped with internal combustion engines. In the last decade, a rapid electromigration has started in the world, so it would be more correct for Russia to take a course not on transferring transport to gas engine fuel, but for electric traction. Gas would be more effectively used to generate electricity and heat. The progress in the sphere of batteries is to finally and irrevocably send the internal combustion engines to the "dump of history".

Keywords: automobile, ecology, gas, motor fuel, gas station, electric vehicle, economic efficiency, price.

Есть ли альтернатива газомоторным автомобилям?

Переход с нефтяного топлива на газ кардинально не решит экологические проблемы транспорта. Для нормального функционирования транспортного комплекса потребуются создание полновесной газомоторной инфраструктуры в стране. Возникает вопрос: если не газ, то как будет решена экологическая проблема транспорта? Не лучше ли направить заложенные в газо-

вую программу 770 млрд руб. в альтернативный проект?

Альтернатива известна — электрификация, а газ целесообразно использовать для генерации электроэнергии и тепла в теплоэлектростанциях (ТЭС). Ряд экспертов считают, что переход на электротягу может нанести еще больший вред экологии, чем автомобили, работающие на нефтяном топливе, так как увеличение количества электрокаров приведет к повышению нагрузки на тепловые электростанции (ТЭС), что,

в свою очередь, вызовет увеличение объема выбросов вредных веществ в атмосферу, включая сажу, углекислый газ и серные соединения.

С помощью тепловых электростанций сейчас производится около 90 % всей мировой электроэнергии. В структуре мощностей российской энергетики на долю ТЭС приходится 68 %, а доля "зеленых" генерирующих мощностей — гидроэлектростанций 21 %, атомных — 11 %. Доля возобновляемых источников энергии не превышает 0,2 % общей выработки электроэнергии.

В качестве топлива в ТЭС в основном используется уголь и газ. Так, в 2015 г. из выработанной 24 255 ТВт·ч электроэнергии в мире 39 % генерировалась сжиганием угля, 23 % — газа, и лишь менее 34 % путем использования экологически чистых источников (рис. 1). В некоторых странах существует сильная зависимость ТЭС от одного вида топлива. Так, в Китае, Индии, Польше и ряде других стран более 3/4 электроэнергии вырабатывается на угольных ТЭС. В европейской части России большинство ТЭС переведены на газ. Уголь сжигается преимущественно на станциях, расположенных в Сибири и на Дальнем Востоке. Многие тепловые электростанции в России используют несколько видов топлива. Например, Новочеркасская ГРЭС использует все три основных вида топлива: доля мазута составляет 17 %, газа — 9 %, а угля — 74 %.

Вредные выбросы ТЭС могут быть существенно сокращены путем увеличения доли газа в выработке электроэнергии и повышения эффективности сжигания топлива. Так, у современных ТЭС, вырабатывающих только электроэнергию, коэффициент полезного действия составляет 39...40 %, а у теплоэлектроцентралей он доходит до 85 %. Кстати, у газовых двигателей внутреннего сгорания КПД не превышает 35 %. ТЭС, как правило, расположены за пределами населенных

пунктов. Львиная доля же выбросов газомоторного транспорта будет сосредоточена в городах.

Ученые Австралии поставили весьма интересный эксперимент, который наглядно продемонстрирует, какая силовая установка окажется более экологичной — электрическая или дизельная. Зарядить аккумулятор электрокара Tesla Model S P85D они решили с помощью дизельного генератора. В роли объекта сравнения взяли универсал Volvo V40 с дизельным двигателем D4 рабочим объемом в 2 л. Сравнимые автомобили проехали по тестовому маршруту с одинаковой скоростью 105 км. Испытания показали, что дизельный автомобиль израсходовал на этот путь 4,8 л дизтоплива, а электромобиль, в пересчете на дизельное топливо, потраченное на работу генератора — 4,46 л, т. е. на 7,6 % меньше. Таким образом, если даже использовать для зарядки аккумуляторов дизельное топливо, то все равно электромобиль, имеющий в отличие от дизельного нулевые выбросы в атмосферу, экономически выгоднее. А если заряжать электромобили электроэнергией, получаемой за счет возобновляемых экологически чистых источников, то не это ли решение проблемы зависимости человечества от "черного золота"?

Страны, думающие о своем будущем, сейчас массово внедряют в энергетике "зеленые" технологии. Так, в 2017 г. около 22 % мирового энергопотребления было удовлетворено путем использования возобновляемых ресурсов, таких, как солнечная энергия, водные потоки, ветер, приливы, геотермальные источники. По данным Международного агентства по возобновляемым источникам энергии, благодаря удешевлению "зеленой" энергетики и роста цен на нефть к 2030 г. около 40 % генерируемой электроэнергии будет приходиться на экологически чистую энергетику, что в 2 раза больше сегодняшней доли рынка. Развитие "зеленой" энергетики и является акселератором мировой тенденции электрификации транспортных средств. К примеру, в Норвегии — в мировом лидере по индексу человеческого развития последних восьми лет — 98 % электричества производят из возобновляемых источников энергии [2].

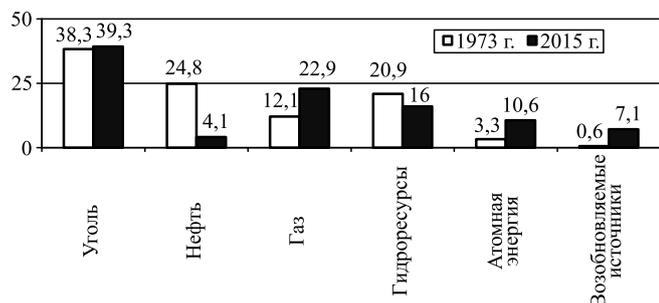


Рис. 1. Доля видов топлива в выработке электроэнергии в мире

Электромобилизации дан старт

В мире в последние годы наметилась явная тенденция трансформации автомобилей на электрическую тягу. На всемирной конференции по климату в Париже COP21 было сделано заяв-

ление, что Великобритания, Германия, Китай, Индия, Нидерланды и Норвегия, а также ряд других стран после 2050 г. намерены запретить использование на транспорте нефтяного топлива. Германия приняла резолюцию о запрете производства автомобилей с двигателями внутреннего сгорания с 2030 г. и призывает присоединиться к этой инициативе остальные страны ЕС. Правительство Великобритании пошло еще дальше, объявив, что к 2040 г. в стране будут запрещены к продаже не только автомобили с двигателями внутреннего сгорания, но и машины с гибридными двигателями. Купить можно будет только электрокары.

Переориентация на электротягу стала магистральной линией развития автомобилестроения во всем мире. На рынке предлагаются электрокары "на любой вкус": гибридные, заряжаемые двигателем внутреннего сгорания (HEV), гибридные с возможностью зарядки от сети (PHEV), чисто электрические (EV) и автомобили на топливных ячейках (FCV). Лавинообразно растет их производство и продажа (рис. 2, табл. 1). В 2017 г. в мире было продано 1,2 млн электрокаров, что на 57 % больше, чем годом ранее. Причем 66 % из них пришлось на долю чисто электрических автомобилей. В целом на электрокары пока приходится 1,3 % всех мировых автомобильных продаж. Однако в некоторых странах их доля уже довольно существенна: в Норвегии — это 39,2 % всех продаж, в Исландии — 14 %, в Швеции — 5,3 %. По прогнозам экспертов, в 2018 г. объем продаж электрокаров увеличится на 60 %. При этом доля чисто аккумуляторных автомобилей составит 70 % [3].

Эта тенденция продолжится и в будущем, так как автомобильная промышленность в мире из года в год увеличивает инвестиции на "зеленый" транспорт. В 2016 г. инвестиции в этот сегмент во

всем мире составили \$ 2 млрд, что в два раза больше, чем годом ранее, и на \$ 650 млн больше, чем за три предыдущих года вместе взятых. Это только те инвестиции в стартапы, которые связаны непосредственно с электрокарами (выпуск электрокаров, производство зарядных станций), не говоря уже о вложениях со стороны автопроизводителей и программах господдержки разных стран. Только один концерн Daimler планирует потратить €10 млрд на создание 10 моделей электрокаров к 2025 г. Другой немецкий бренд, Volkswagen ставит перед собой более амбициозную задачу — создать к этому же сроку 30 новых электрокаров и довести уровень их продаж до 1 млн в год.

Парк электрокаров к 2017 г. достиг 4,1 млн штук (0,2 % парка) [4]. В настоящее время в мире выпускаются более 130 моделей легковых электрокаров, действует более 10 тыс. "быстрых" зарядных станций. Практически все автомобильные заводы в своем модельном ряду имеют электрокары, причем из года в год очень интенсивно наращивают их объемы выпуска. Так, крупнейший автопроизводитель в мире General Motors к 2023 г. планирует освоить производство как минимум 20 новых полностью электрифицированных автомобилей. Volvo Cars объявила, что с 2019 г. все легковые автомобили компании будут оснащаться только электродвигателем. Британская компания Land Rover в 2017 г. сообщила, что с 2020 г. планирует выпускать все новые модели только на базе электрических или гибридных двигателей. Такие планы имеются и у других автопроизводителей.

Самым продаваемым электрокаром в мире является Tesla Model S. В 2016 г. концерном было продано 52,6 тыс. таких электрокаров (табл. 2). На долю пяти крупнейших производителей электрокаров приходится более 50 % мирового рынка. Пятерку лидеров возглавляет китайский концерн BYD с долей 13,6 %. Следом за ним идут Renault-Nissan (11,3 %), Tesla Motors (10,8 %), Volkswagen (7,8 %) и BMW (7,7 %). Причем среди них только у Tesla насчитывается менее пяти моделей. Рынок электрокаров пока сосредоточен в ограниченном числе стран — 95 % продаж электрокаров приходится на десять стран — Китай, США, Японию, Канаду, Норвегию, Великобританию, Францию, Германию, Нидерланды и Швецию. В этих странах принят целый ряд преференций, льгот и преимуществ как производителям, так и покупателям "зеленой" техники [5].

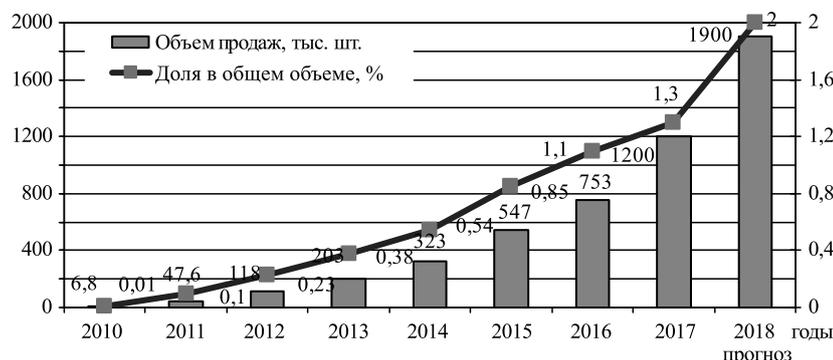


Рис. 2. Динамика продаж электрокаров и гибридов в мире [4]

ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

Таблица 1

Объем продаж электромобилей по странам, тыс. шт.*

Страна	Годы						
	2005	2010	2012	2013	2014	2015	2016
Канада	—	—	2,02	3,12	5,07	6,96	11,58
Китай	—	1,43	9,90	15,34	73,17	207,38	336
Франция	0,01	0,19	6,26	9,62	12,64	22,95	29,51
Германия	0,02	0,14	3,37	6,93	12,74	23,19	24,61
Индия	—	0,35	1,43	0,19	0,41	1,00	0,45
Япония	—	2,44	24,44	28,88	32,29	24,65	24,85
Ю. Корея	—	0,06	0,51	0,60	1,31	3,19	5,26
Нидерланды	—	0,12	5,12	22,42	15,09	43,77	24,48
Норвегия	—	0,39	4,51	8,52	19,76	35,61	50,18
Швеция	—	—	0,93	1,55	4,67	8,59	13,42
Великобритания	0,22	0,28	2,69	3,75	14,74	29,34	37,91
США	1,12	1,19	53,24	96,70	118,78	113,87	159,62
Россия	—	н. д.	н. д.	0,096	0,082	0,116	0,083
Другие	0,53	0,18	3,64	6,05	12,77	26,62	35,31
Итого	1,89	6,78	118,06	203,66	323,42	547,12	753,17

* По данным Международного энергетического агентства [<https://itc.ua/blogs/obshhee-kolichestvo>].

Таблица 2

10 самых продаваемых моделей электромобилей и гибридов*

Место	Модель	2015 г.	2016 г.	В % к 2015 г.
1	Tesla Model S	50 366	52 600	+4,4
2	Nissan Leaf	43 870	49 818	+7
3	BYD Tang	18 375	31 405	+71
4	Chevrolet Volt	17 508	28 295	+67
5	Mitsubishi Outlander PHEV	43 259	27 850	-36
6	BMW i3	24 083	25 576	+6
7	Tesla Model X	214	25 372	+11756
8	BYD Qin	31 898	21 868	-31
9	Renault Zoe	18 846	21 626	+16
10	BYD e6 EV	7034	20 609	+193
	Другие	292 757	470 209	+60,6
	Итого	548 210	773 563	+41,1

* Составлено на основе данных [6].

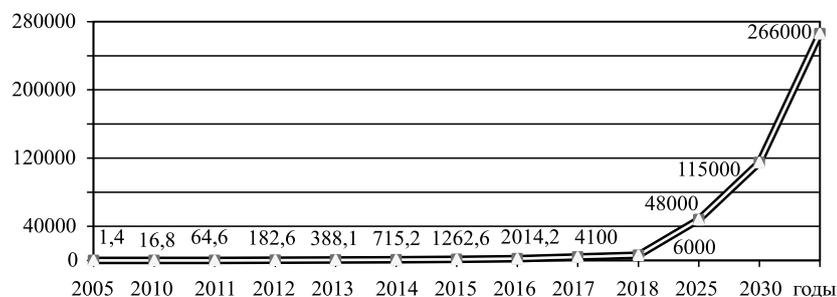


Рис. 3. Динамика мирового парка электромобилей, тыс. шт. [4]

По прогнозам Международного энергетического агентства, в 2020 г. мировой парк электромобилей составит 20 млн ед., а в 2040 г. увеличится до 266 млн (рис. 3). Согласно прогнозам ОПЕК, к 2040 г. продажи электромобилей превысят продажи автомобилей с двигателями внутреннего сгорания и составят примерно 51 % всех продаж, что приведет к радикальным изменениям на нефтяных рынках.

Двигатель прогресса — льготы и субсидии

Электромобили сейчас в 2–3 раза дороже бензиновых машин, что естественно, отпугивает потенциальных покупателей. По этой причине многие страны стимулируют как покупателей, так и производителей электромобилей. Введены на законодательном уровне разнообразные льготы и преференции (табл. 3). Практику налоговой стимуляции покупки электрокара применяют

в 15 из 27 государств — членов ЕС. В некоторых странах разработаны весьма амбициозные планы. Самым продвинутым в этом отношении считается Норвегия, где бензин стоит 1,7 евро, что в среднем в 3 раза выше, например, чем в США или в России. Норвегия намерена с 2025 г. разрешить продажу только тех автомобилей, которые имеют нулевой уровень выбросов. В 2017 г. доля

Таблица 3

Льготы и дотации покупателям электромобилей

Страна	Описание льгот и субсидий
Норвегия	Импортная пошлина 0 %. Отменен налог на покупку, ежегодный регистрационный сбор, налог для корпоративных авто, плата за дорогу, ставка НДС равна нулю. Бесплатная зарядка, парковка, проезд на паромов. Разрешено движение по выделенным полосам общественного транспорта
Великобритания	Годовые налоги уменьшают на сумму, составляющую до 1/4 стоимости машины (но не более \$7800), при покупке коммерческого электромобиля налоговая льгота до 20 % (не более \$12 500). В Лондоне бесплатная парковка в определенных местах, а также бесплатная 4-часовая зарядка автомобиля
Португалия	Субсидия в размере 5000 евро, освобождение от регистрационного сбора
Дания	Льготы по налогу на доходы, не платят сбор при регистрации, бесплатная парковка в Копенгагене
США	Дотация в размере 25 % стоимости машины (не более \$7500), налоговые льготы на сумму в размере 50 % цены "зарядки" (до \$2 тыс.)
Япония	Отменен единовременный налог на покупку, и ежегодный транспортный сбор. В результате стоимость автомобиля снижается в среднем на 45 %
Нидерланды	Освобождены от уплаты налога при регистрации и сбора за пользование дорогами. Отдельные места в паркингах с зарядкой
Германия	Субсидии в 4 тыс. евро при покупке электромобиля и 3 тыс. при покупке гибрида
Франция	Эко-бонусы покупателям транспорта с низкими выбросами — до 6300 евро
Украина	Налоговая скидка в размере стоимости электромобиля, отменен НДС и акциз в размере 109 евро на импорт электрокара до 1 января 2020 г
Эстония	Дотация в размере 50 % стоимости автомобиля (не более 18 тыс. евро), 1 тыс. евро для приобретения и монтажа зарядного устройства
Россия	Субсидии производителям электротранспорта (КАМАЗ и ГАЗ) — по 900 млн руб. ежегодно до 2025 г. Бесплатная парковка в Москве и Санкт-Петербурге

электромобилей в объеме продаж легковых машин в этой нефтедобывающей стране достигла рекордных 52 %. Совсем недавно — в 2014 г. она была 12 %. Парк электромобилей страны уже достиг 150 тыс. (5 % парка). В стране огромная сеть бесплатных зарядных станций — около 10 тыс. пунктов. На миллион жителей Норвегии приходится 7,3 электрозаправок, тогда как в США, например, этот показатель равен 2,1, в Дании — 1,9. Кроме того, у 96 % владельцев электрокар дома имеются персональные зарядные станции. Быть владельцем электромобиля в Норвегии выгодно. По подсчетам экспертов Grønn Bil, используя электромобиль, житель Осло экономит в год в среднем 3336 евро. Общий объем государственных субсидий в поддержку электромобилей оценивается в 5 млрд долларов. Пример Норвегии показывает, что при активном государственном стимулировании электрификация страны вполне осуществимая задача, причем в кратчайшие сроки.

Среди других стран можно отметить Китай, поставивший цель к 2025 г. достичь показателя в 20 % продаж электромобилей. В Китае сейчас находится 6 из 10 крупнейших мировых компаний, которые освоили массовое производство электромобилей. Благодаря государственным субсидиям Китай в 2015 г. по объему продаж электромобилей вышел в мировые лидеры. В 2017 г. каждый второй электромобиль (652 тыс.) продавался в Китае, где сейчас сосредоточена треть мирового парка транспорта на электрической тяге. Более 40 % выпускаемых в мире электромобилей производится в Китае, причем из топ-30 моделей китайские бренды занимают 45 % объема выпуска. Пекин поставил грандиозную задачу: к 2025 г. продавать не менее 7 млн новых электромобилей в год, а к 2040 г. вообще запретить продажи бензиновых и дизельных машин.

В крупных китайских городах вследствие крайне загрязненного воздуха ограничена регистрация автомобилей с двигателями внутреннего сгорания, поэтому для многих покупателей электромобили становятся альтернативой, тем более что государство предоставляет еще и финансовые льготы. Одна из мер стимулирования электротранспорта — это возможность зарегистрировать купленный электромобиль быстро и бесплатно. Дело в том, что регистрационные знаки в Китае платные, а стоимость их приобретения зависит от провинции и колеблется от 300 тыс. руб. до 1 млн руб. В Китае введена система государственных и провинциальных субсидий покупателям "зеленых" автомобилей, размер которых достигает до

50 тыс. юаней (\$ 7700). Покупатель электромобиля получает компенсацию в размере около 35 % его розничной стоимости. В Пекине все новые такси должны быть электрическими. В городе установлены 100 тыс. пунктов зарядки аккумуляторов. Государство стимулирует муниципалитеты поддерживать развитие зарядной инфраструктуры путем субсидирования строительства зарядных станций, в рамках реализации градостроительной политики, политики в области землепользования, а также посредством инструментов регулирования цен на электроэнергию. Госсовет Китая поставил задачу построить как минимум одну зарядную станцию на каждые 2 тыс. электромобилей, а к 2020 г. расширить зарядную инфраструктуру для обеспечения потребностей около 5 млн электрокаров. Количество зарядных станций в Китае уже превысило 500 тыс. шт. Буквально за 3...5 лет Китаю удалось запустить процесс электрификации транспорта, охватив все его аспекты: производство компонентов и самих электромобилей, создание сети зарядных станций, сервис и утилизацию аккумуляторов.

Россия вне мирового тренда

Россия, с ее нефтяными запасами, сравнительно низкими ценами на нефтяное моторное топливо, лояльными экологическими требованиями и, самое главное, всемогущими нефтегазовыми лоббистами, находится вне мирового тренда электрификации. Парк электромобилей растет там, где их выгодно купить, есть преференции, льготы владельцам зеленого транспорта. В России пока нет условий для развития электротранспорта. В начале 2018 г. был разработан проект плана по стимулированию производства и использованию электротранспорта на период 2018—2020 гг. В проекте предусмотрено освобождение владельцев электромобилей от транспортного налога, предоставление бесплатной стоянки с зарядными устройствами. Кстати, уже сейчас парковка электромобилей в Москве и Санкт-Петербурге бесплатна, а в Московской области для них отменен транспортный налог. В плане также предусмотрено снижение ввозных таможенных пошлин на импортные комплектующие для сборки электромобилей совместно с иностранными компаниями. В 2017 г. Минэкономразвития предложило выделять субсидии производителям электротранспорта. В частности, КАМАЗу и ГАЗу по 900 млн руб. ежегодно до 2025 г. У Правительства имеются разработки по предоставлению налоговых льгот ин-

весторам электрозаправкам, выделению квот бюджетным организациям на покупку электротранспорта, упрощения порядка установки устройства ЭРА-ГЛОНАСС на электромобили. Перспективы развития электромобильного транспорта в России будут зависеть от того, насколько эти планы будут выгодны для покупателей, и как будет развиваться инфраструктура для электрокара. А пока рынок электромобилей в России находится в зачаточном состоянии — на 01.01.18 г. парк составил 1,8 тыс. автомобилей 7 моделей. За 2017 г. было продано всего 95 электрокаров, что на 28 % больше, чем годом ранее. Объем продаж электромобилей в РФ не превышает 0,01 % общемирового уровня [7].

В продажах явные лидеры автомобили Tesla — Model X и Model S (доля 65 %), цена которых колеблется от 7 до 10 млн руб. Свыше 60 % парка электромобилей — это японская Nissan Leaf — 1,1 тыс. ед. Подержанные экземпляры таких электрокаров завозят из Японии, большинство из них оседает на Дальнем Востоке. На учете в Приморском крае зарегистрировано 415 экз. Чуть меньше — в Москве и Подмосковье (404 ед.).

Российскому покупателю электромобиль обходится гораздо дороже, чем покупателям стран-производителей электромобилей. Российскому покупателю за импортный электрокар кроме его цены приходится платить таможенную пошлину (30 % цены), акциз по ставке 15 руб./л.с., таможенный сбор (0,15 %), НДС (18 %) и утилизационный сбор (17,2 тыс. руб.). Импортный электромобиль на российском рынке стоит как минимум в 1,5 раза дороже, чем в стране производителя. Временная отмена таможенных пошлин на ввоз электромобилей в прошлом году никак не сказалась на рынке. Так что электромобиль в России пока остается роскошью. Его покупают обычно богатые люди в качестве второго или даже третьего автомобиля. И, как правило, заряжают их на своих индивидуальных станциях дома. Впрочем, в США 85 % владельцев электромобилей тоже пользуются только домашними зарядными станциями и платят за электроэнергию по ночному льготному тарифу.

Доступность электрокара для россиян можно обеспечить, освоив собственное производство. Пока у наших производителей нет стимула выпускать электромобили, так как в стране отсутствуют понятные для конечного потребителя выгоды их приобретения. Российские инновационные электрокары Marussia и "e-мобиль", которым предрекали большое будущее, развалились на фоне экономической нестабильности в стране.

Освоенная в 2012 г. ВАЗом электрическая ВАЗ-1817 Ellada на базе "Калины" была продана в количестве 93 шт. Автомобиль имел пробег менее 100 км на одной зарядке. При этом его цена была около 1 млн руб., т. е. дороже бензиновых иномарок своего класса. Естественно, он не пользовался спросом. И проект был закрыт.

С учетом опыта создания электро-Калины завод разработал другую модель — Lada Vesta EV с литий-ионным аккумулятором и мощностью двигателя в 60 кВт. Электрокар способен в летнее время преодолеть до 150 км без подзарядки. На полную зарядку требуется 9 ч, а при наличии доступа к трехфазной сети время зарядки не превысит 3 ч. Самый "больной" вопрос Vesta EV — его цена. По приблизительным подсчетам она составляет около 3 млн руб. (при цене бензиновой Весты в полной комплектации 800 тыс. руб.). Есть сомнение, что автолюбители согласятся отдать такие деньги за автомобиль с достаточно низкими характеристиками скорости и динамичности, когда за такие деньги можно приобрести мощную спортивную иномарку с бензиновым двигателем.

В России расстояния большие, автомобили эксплуатируются в суровых климатических условиях. Запас хода продаваемых ныне электромобилей не рассчитан для российских просторов (в пределах 150...200 км). Правда, модели Tesla на одной зарядке имеют пробег до 500 км, но они дорогие, и их доля в парке электромобилей менее 20 %.

В нашей стране нет ни одного специализированного сервисного центра. Правда, конструкция электрокаров намного проще бензиновой машины. У них нет сложного бензинового двигателя, сцепления, коробки передач, шарниров угловых скоростей, не нужно менять масло, фильтры. Если даже что-то сломается, их можно отремонтировать в обычном автосервисе. По данным агентства "АВТОСТАТ", на этом рынке более 39 тыс. операторов, большинство из которых вполне в состоянии обслуживать электрические автомобили.

Нерешенной остается проблема создания сети зарядных станций. В России по оценкам экспертов в начале 2018 г. было около 200 станций быстрой зарядки, из них около 100 расположены в Москве, 15 — в Санкт-Петербурге. К концу 2018 г. администрация Москвы планирует довести их число до 200. В 2015 г. Правительство РФ приняло постановление, по которому все российские АЗС (их более 30 тыс.) до 1 ноября 2016 г. должны были установить зарядные устройства. Однако по причине отсутствия спроса на услуги зарядки

заправки пока не спешат инвестировать в зарядную инфраструктуру. Когда цена электромобилей приблизится, за счет господдержки как в других странах, к цене бензиновых аналогов, тогда и производители проявят активность на этом сегменте рынка, и инвесторы начнут вкладываться в развитие инфраструктуры зарядных станций.

Если посмотреть на опыт стран ЕС, реальное отношение числа электромобилей к числу зарядных станций должно составлять 5:1. Так, в США этот показатель составляет 10:1, в Норвегии 15:1. Чем больше станций зарядки будет в населенном пункте, тем популярнее там станут электромобили.

Зарядные станции могут быть созданы довольно быстро. Например, в Японии буквально в течение 5 лет было оборудовано 40 тыс. зарядных станций. Это на 5 тыс. больше, чем число бензиновых автозаправочных станций (35 тыс.) [8]. Большое внимание в Японии уделяется развитию скоростных "зарядок", и сейчас страна является лидером по числу "быстрых" зарядных пунктов — 6469 ед. Второе место в данном секторе принадлежит странам ЕС — 3028 станций, третье место у США — 1686 ед., а всего у них около 9000 зарядных станций.

Еще одним препятствием развитию рынка электромобилей в России является холодный климат. При отрицательных температурах применяемые на электромобилях литий-ионные аккумуляторы могут терять до 30...40 % емкости. Система подогрева аккумуляторов будет потреблять часть энергии, и тем самым сокращать дальность поездок. Кроме того, в климатических условиях России в зимний период на обогрев салона и освещение будет расходоваться 20...30 % емкости аккумуляторов. В итоге и так "скромный" запас хода может уменьшиться до 80...100 км. Получается, автомобиль дорогой, заряжать негде, запас хода мизерный — отсюда и единичные продажи электромобилей в России. "Дальнобойность" автомобиля можно поддержать путем программирования прогрева салона до поездки, пока он подключен к сети, тогда энергии на обогрев понадобится гораздо меньше. Электромобили хорошо подходят для теплых стран, где обычно ровные дороги и нет пробок. Но, правда, летом там слишком жарко и надо включить кондиционер, что опять негативно сказывается на запасе хода.

Есть ли экономическая выгода от электромобиля?

Мнение, что "электромобили всегда будут дороже, чем машины с ДВС", скорее всего миф, чем

реальность. Все познается в сравнении. Расчеты экспертов бизнес-школы "Сколково" показывают, что за три года владения Tesla Model S стоимость уже в 2013 г. стала ниже, чем у бензинового Mercedes S: \$120 и \$110 тыс. соответственно [9].

Было проведено сравнение топливной экономичности двух хэтчбеков Nissan в смешанном цикле движения. Это были распространенный в России электромобиль Leaf (мощность 84 кВт, цена € 23 тыс.) и бензиновый Tiida (90 кВт, € 18 тыс.). Электромобиль Leaf расходует в среднем 15 кВт·ч/100 км, а расход бензина АИ-95 у Tiida составляет 6,4 л/100 км. При тарифе на электроэнергию, например в Уфе, 4,5 руб./кВт·ч стоимость 1 км пробега Leaf составит 68 коп. Пробег 1 км Tiida при цене бензина 45 руб./л составит 2,88 руб., т. е. в 4,2 раза дороже. Достаточно ли данная экономия для возврата переплаты при покупке электромобиля?

Разница в цене машин в 5 тыс. евро при курсе 72 руб./евро, благодаря экономии топлива, может быть "скомпенсирована" при пробеге 165 тыс. км. При годовом пробеге в 30 тыс. км на это уйдет около пяти лет. Расчеты показывают, что владелец при покупке электромобиля имеет небольшую суммарную выгоду. Но при расчетах не был учтен тот факт, что техническое обслуживание электромобиля дешевле бензинового на 30...50 %. Кроме того, система рекуперации позволит экономить до 20 % энергии аккумуляторов и свести к минимуму износ тормозных колодок [2].

Если Tiida перевести на метан, то затраты на топливо при цене газа 16 руб./м³ составят 1,12 руб./км, т. е. на 65 % больше. Можно сделать вывод, что электромобиль по затратам на топливо однозначно экономичнее, чем газомоторные и бензиновые автомобили.

Расчеты авторов показывают, что применение электротяги дает особую выгоду на коммерческом транспорте. Здесь расход топлива и пробеги машин несравненно выше, чем у легковых автомобилей. Была произведена сравнительная оценка экономической эффективности электротягача Tesla Semi с полуприцепом и аналогичного импортного дизельного тягача DAF XF105 по критерию "совокупная стоимость владения" [2]. Годовой пробег автопоездов был принят равным 160 тыс. км, срок эксплуатации 10 лет. Для обеспечения сопоставимости расчетов полная масса автопоездов была принята одинаковой — 36,28 т. После 1 млн км пробега предусматривался капитальный ремонт тягачей. Затраты на капитальный

ремонт дизельного автопоезда принимались в размере 50 % стоимости тягача, а электротягача — вдвое меньше, так как его самые дорогие компоненты — аккумулятор, электромоторы, инверторы не подвергаются капитальному ремонту, служат до списания грузовика.

Расчеты показали, что совокупная стоимость владения электрогрузовика на 5377 тыс. руб. меньше, чем дизельного тягача. При этом суммарные эксплуатационные расходы за 10 лет эксплуатации дизельного тягача составили 44 387 тыс. руб., а у Tesla Semi — 30 588 тыс. руб., т. е. на 13 799 тыс. руб. меньше. Удельные эксплуатационные затраты электрического тягача на 1 км пробега меньше на 45 %.

Данная экономия получена потому, что электрогрузовик на 1 км пробега расходует электроэнергию на 5,7 руб., тогда как дизельный автопоезд на 11,70 руб., т. е. в 2 раза больше. А за 10 лет — на 9600 тыс. руб. больше, чем Tesla Semi. Кроме того, затраты на техническое обслуживание, текущий и капитальный ремонт электрогрузовика за 10 лет на 3569 тыс. руб. ниже, чем у конкурента.

С учетом того, что Tesla Semi дороже дизельного автопоезда на 8422 тыс. руб. получается, что экономическая выгода от эксплуатации электрокара в 1,6 раза больше, чем переплата при покупке. Ежегодно получаемая выгода от эксплуатации электрогрузовика составила в среднем 1380 тыс. руб., что позволяет компенсировать "переплату" при покупке за 6 лет эксплуатации.

На улицах городов России начали появляться регулярные "зеленые" маршруты. Так, в Подмоскowie в Одинцовском филиале "Мострансавто" с 2017 г. эксплуатируется разработанный в ПАО "КАМАЗ" электробус КАМАЗ-6282. Литий-титанатные аккумуляторы энергоемкостью 70,4 кВт·ч обеспечивают автобусу пробег на одной зарядке в 38 км. Электробус в день выполняет два рейса — утренний и вечерний — на маршруте протяженностью 30 км. Остальное линейное время отводится на технологический перерыв — зарядку батарей, для чего машина вынуждена возвращаться в парк. По причине отсутствия емкого, легкого и дешевого аккумулятора автобус не может полноценно эксплуатироваться, следовательно, имеет скромные коммерческие результаты. Хотя у него реже регулярное обслуживание, отсутствует ряд расходных материалов — моторные и трансмиссионные масла, фильтры. Затраты на электроэнергию у КАМАЗ-6282 в 5 раз меньше, чем на дизельное топливо при том же объеме перевозок. В "Мострансавто" посчитали, что расходы на об-

служивание электробуса не превысят 0,5 руб./км, тогда как дизельный автобус только на топливо требует 8 руб./км, т. е. в 16 раз больше. Правда, электробус стоит недешево — 25 млн руб., т. е. в 3,5 раза дороже аналогичного автобуса с дизельным двигателем. При такой цене сэкономленные электробусом на средства, даже при ресурсе до списания в 1 млн км, явно недостаточны для покрытия переплаты при покупке. Высокая цена электромобилей обусловливается дороговизной ныне применяемых в них тяговых аккумуляторов, которые в России не производят.

Как предупреждают эксперты, если нормы на выбросы вредных веществ продолжают ужесточаться, то к 2020 г. автомобили с бензиновыми и дизельными двигателями по цене "догонят" электромобили. В то же время, вследствие снижения цен на самый дорогой компонент электромобиля — аккумуляторы — будет снижаться цена и на автомобили.

Батарейная поддержка

Темпы и сроки замены классических транспортных средств электрическими будет определяться техническим уровнем развития аккумуляторов и объемами их производства. Высокая цена, привязанность к зарядной инфраструктуре, большой вес — ключевые проблемы современного электро-транспорта, замыкаются на несовершенстве ныне применяемых аккумуляторов. Цена самого дорогостоящего компонента электромобиля — аккумуляторов — остается пока на достаточно высоком уровне — около 40 % общей стоимости.

Развитие электромобилей, пригодных для реальной эксплуатации, началось после изобретения в 1986 г. Дж. Гудэнафом кобальтата лития. На его основе через пять лет фирма Сони создала литий-ионные аккумуляторы. Литий обладает весьма необычным свойством: его ионы в соединениях с другими металлами могут перемещаться внутри кристаллической структуры вещества. Получается электрический ток — но не электронный, со знаком "минус", как в обычных сетях, а ионный, со знаком "плюс". Раз есть ионный ток, можно сделать и ионный накопитель, причем если в конденсаторе заряд собирается только на поверхности, то в ионном накопителе работает весь объем, а значит, емкость батареи увеличивается в разы. Литий-ионные аккумуляторы в отличие от кислотных-свинцовых имеют высокую энергоемкость, возможность быстрой зарядки, большое число циклов зарядки/разрядки, широкий диапазон рабочих температур,

не требуют обслуживания. Правда, у них по мере эксплуатации снижается энергоемкость, при зарядке их нельзя перегревать, а при отрицательных температурах емкость существенно снижается, поэтому требуется система подогрева/охлаждения. Кроме того, при замыкании электродов они могут самовозгораться.

Исследователи по всему миру ведут интенсивные поиски по усовершенствованию аккумуляторных батарей. Есть и существенные результаты. Например, аккумуляторы Tesla Roadster емкостью 250 кВт·ч обеспечивают ему пробег до 1000 км. Аккумулятор 36-тонного автопоезда Tesla имеет емкость 1000 кВт·ч, что позволяет осуществлять пробег до 800 км на одной зарядке. С развитием конструкций, технологий производства снижается и цена батарей. Совсем недавно — в 2010 г. удельная стоимость батарей составляла в среднем 750 \$/кВт·ч, а в 2018 г. она снизилась уже до 190 \$/кВт·ч, т. е. в 4 раза. Tesla уже сейчас сумела снизить цену своих батарей до 120 \$/кВт·ч.

Массовый выпуск тяговых аккумуляторов в мире только начинается. Так, в стоимостном выражении в 2010 г. объем мирового рынка литий-ионных аккумуляторов составлял не более 9,1 млрд долларов, а к 2016 г. он вырос в 2,8 раза и составил более 26 млрд. По прогнозу агентства Headwork Analytics, за 10 лет рынок литий-ионных аккумуляторов вырастет более чем в 2 раза и к 2026 г. составит до 50 млрд долларов. Рост будет обуславливаться ростом рынка электромобилей и замещения свинцовых аккумуляторов. Российский рынок литий-ионных аккумуляторов в силу ряда причин, связанных с развитием отечественной экономики, составляет в настоящий момент не более 0,3 % мирового рынка [10].

Мировой лидер в сфере электромобилей — Tesla — планирует в 2020 г. запустить вторую из пяти планируемых Gigafactory, которая будет производить аккумуляторов на 35 ГВт·ч в год. Кстати, этот завод не подключен к внешним источникам — солнечную энергию в электрическую будут генерировать панели из фотоэлементов, служащие одновременно крышей завода-гиганта. Строительство Gigafactory — необходимая мера для компании, так как только с помощью собственной фабрики Tesla сможет сократить траты на производство и выпустить необходимое количество сравнительно дешевой (35 тыс. долларов) Model 3. А пока ни один завод не может производить ли-

тий-ионные аккумуляторы для электрокаров в тех объемах, которые нужны Tesla, у которого на 2018 г. план выпуска — 500 тыс. электромобилей.

Еще амбициознее планы на рынке батарей у китайцев. Сегодня Китай на территории США строит заводы, способные производить батарей суммарно на 120,9 ГВт·ч. Этого хватит для ежегодного оснащения до 1,5 млн автомобилей Tesla Model S. Кроме строительства Gigafactory в США в Китае разработана программа усиления своего доминирующего положения на рынке производства батарей. По данным Bloomberg, 55 % литий-ионных батарей сейчас производится в Китае, 10 % — в США. По прогнозам, к 2020 г. мировые мощности производства литий-ионных батарей достигнут 273 ГВт·ч в год. Китай намерен не потерять контроль над ситуацией во время этого роста. Он планирует довести свою долю на этом рынке к 2020 г. до 65 %. В отличие от остального мира, в Китае нет ведущих производителей батарей. Это отдельные компании. Сейчас в стране планируют консолидировать их. Страна хочет уже к 2020 г. выпустить на дороги 5 млн электромобилей, а для этого нужна синхронизированная работа производителей компонентов электромобилей. Как следствие роста объемов выпуска батарей будет неизбежное падение их себестоимости и цены, что даст толчок к дальнейшему расширению рынка электромобилей.

А как же обстоят дела с производством батарей для электромобилей в России? Производство литий-ионных аккумуляторов для бытовой электроники гражданского назначения в РФ нет. Единственным производственным предприятием, способным серийно выпускать современные литий-ионные аккумуляторы высокой емкости для электротранспорта и систем накопления энергии, является завод Лиотех (Новосибирск), а остальные — ОАО "Аккумуляторная компания "Ригель", Верхнеуфалейский завод "Уралэлемент", ПАО "Сатурн", АО "НПК "Альтернативные технологии", ОАО "Энергия" производят лишь малые партии литий-ионных аккумуляторов для нужд гособоронзаказа.

Российское производство литий-ионных батарей для электромобилей "Лиотех" (Новосибирск) было открыто в 2011 г. Правда российским в них был только труд, а оборудование и сырье были из Китая. По проекту Роснано планировалось в будущем основное сырье — железо-фосфат лития разработать в Институте химии твердого тела

и механохимии СО РАН, а производство освоить на Новосибирском заводе химконцентратов. Корпорация Роснано в совместное предприятие с китайской Thunder Sky Group инвестировала 7,5 млрд руб. В 2014 г. иностранный инвестор вышел из проекта, предприятие остановило работу, признано банкротом. Созданный на базе данного предприятия ООО "Лиотех-Инновации" продолжает поставки на российский рынок литий-ионных аккумуляторов. Его доля рынка в 2016 г. составила 2,5 %. Российский рынок литий-ионных аккумуляторов обеспечивается в основном импортными поставками. Так, в 2016 г. Россия импортировала литий-ионных аккумуляторов на сумму 71,5 млн долларов, что в 2,5 раза больше, чем в 2010 г. 62 % поставок приходилось на Китай, где расположены основные мировые мощности по производству литий-ионных аккумуляторов и других электронных устройств [10].

Сфера применения литий-ионных источников огромна. Это не только современные гаджеты и автомобильные аккумуляторы. На электричество можно перевести любой вид транспорта, жилищно-коммунальное хозяйство, садово-парковую технику и др. Огромную потребность в современных накопителях энергии имеют всевозможная военная техника и оборудование, в частности подводные лодки, беспилотные аппараты и др. Производство батарей — это перспективнейшая новая отрасль, которая в ближайшем будущем изменит мир. Ныне выпускаемые литий-ионные батареи как по коммерческим, так и по техническим характеристикам далеки от совершенства. Плюс они небезопасны. Все исходное сырье для литий-ионных аккумуляторов находится в дефиците, следовательно, они дорогие. Если для электротранспорта нужны крупногабаритные, высокоэнергоемкие аккумуляторы, то и применяемые материалы для них должны быть дешевыми. Поэтому в лабораториях по всему миру развернуты масштабные наукоемкие исследования по усовершенствованию батарей, удешевлению их производства.

Ученые из Калифорнийского университета Боулдер передали технологию аккумулятора нового поколения компании Solid Power, которая займется массовым выпуском новых твердотельных аккумуляторов, которые не только легче, безопаснее и дешевле, чем литий-ионные, но и имеют в 3 раза большую емкость. В новом аккумуляторе использован твердотельный керамический электролит, что устраняет опасность самовозгорания батареи. Совсем скоро дорогостоящие и

опасные литий-ионные аккумуляторы будут заменены твердотельными, которые не боятся ударов и могут хранить в несколько раз больший заряд. Электролиты на основе керамики сохраняют высокую проводимость при минус 20 °С, поэтому новая батарея будет хорошо работать и при низких температурах.

Учеными Кембриджского университета разработан образец литий-кислородного аккумулятора, который обладает чрезвычайно высокой плотностью энергии, эффективнее на 90 % существующих аналогов и может выдержать более 2 тыс. циклов подзарядки. В батарее использован наноструктурный углеродный электрод из графена и вещества, изменяющие химические реакции в аккумуляторе. У литий-кислородных аккумуляторов плотность хранимой энергии в 10 раз больше, чем литий-ионных, что выводит их в один ряд с бензиновыми двигателями.

Проблему большой длительности процесса зарядки и нагрева батарей успешно решила компания Power Japan Plus. Путем использования в батарее дешевых углеродного анода и катода разработчикам удалось увеличить скорость зарядки батарей в 20 раз. Для примера: требуется 4 ч для полной зарядки Nissan Leaf. С применением же новой разработки на это уйдет 12 минут. Новые батареи имеют такую же плотность энергии, как и литий-ионные, поэтому запас хода автомобилей не изменится. Есть и другие интересные разработки в этой сфере.

Ведутся исследования по замене дорогого и редкого лития в батареях натрием. Принцип работы натриевых аккумуляторов аналогичен литиевым — для переноса заряда в них используются ионы металла. Основной недостаток натриевой технологии — медленная зарядка и низкие токи. Ученым компании BroadBit удалось решить эти проблемы — их батареи заряжаются за 5 минут и имеют в 1,5—2 раза большую емкость. Компания сейчас перешла к этапу сертификации и постройке фабрики по производству натриевых батарей. В случае коммерческого успеха аккумуляторов BroadBit, рынок может переформатироваться на натриевые технологии в считанные годы.

Не за горами создание суперконденсаторов на основе графена, который имеет сверхтонкую в один атом углерода плоскую кристаллическую решетку и способен в компактном объеме накапливать огромный заряд. Компания Sunvault Energy совместно с Edison Power уже создали экспериментальный суперконденсатор емкостью 10 тыс. Фарад! Такой конденсатор идеален для

применения на транспорте — он может зарядиться мгновенно, экологичен, безопасен, компактен и дешев. Благодаря новой технологии, получение графена сродни печати на 3D-принтере. Sunvault обещает, что стоимость батарей будет в 10 раз меньше литий-ионных. Если развитие аккумуляторов будет прогрессировать такими темпами, амбициозные прогнозы экспертов по замене двигателей внутреннего сгорания электрическими могут сбыться гораздо раньше, чем предполагали.

Таким образом, однозначно можно сказать, что будущее за электротранспортом, энергия для которых будет получена из возобновляемых источников. Применение газа в роли моторного топлива в корне не решает экологическую проблему на транспорте и является лишь промежуточным этапом в эволюции транспортных средств. Газовые автомобили не обеспечивают "нулевые выбросы", КПД их двигателей конструктивно достигли своего предела, и ждать от них энергоэффективного "зеленого" будущего не приходится.

Прогресс в сфере выработки электроэнергии за счет возобновляемых источников и накопителей энергии однозначно определил курс развития транспорта. В будущем он должен быть на электрической тяге. Нецелесообразно имеющейся жидкотопливной заправочно-сервисной инфраструктуре в стране создавать еще одну весьма затратную — газомоторную. Курс на газификацию транспорта стратегически бесперспективен, так как страна не получает нового качества развития. Газ целесообразно сжигать на локально сосредоточенных высокоэффективных теплоэлектроцентралях, чем в двигателях миллионов автомобилей с КПД менее 35 %.

Стратегический курс на газ на транспорте может оставить Россию на "обочине" промышленно-технической революции первой половины XXI века — электрификации. Имеющиеся ресурсы должны быть направлены на организацию производства электромобилей, их компонентов, развитие инфраструктуры, генерацию энергии путем использования возобновляемых источников.

Не имея научно-производственного задела в такой высокотехнологичной, наукоемкой отрасли, как производство аккумуляторных батарей,

вряд ли России удастся встать в темпах электрификации в один ряд со странами, ориентированными на будущее. Электромобиль ввиду своих высоких технологичности и экологичности способствует сдвигу всей экономики в сторону энергоэффективных решений, что должно быть принято во внимание при выборе стратегии развития транспорта будущего.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Проблемы** экологии и загрязнения атмосферного воздуха выхлопами газа автомобильного транспорта [Эл. ресурс]. URL: https://vuzlit.ru/1340135/problemy_ekologii_zagryaznenie_atmosfernogo_vozduha_vyhlopami_gaza_avtomobilnogo_transporta (дата обращения 14.06.2018).
2. **Как Норвегия** отказывается от бензина [Эл. ресурс]. URL: <https://www.the-village.ru/village/city/abroad/279706-elektrokary-v-norvegii> (дата обращения 18.06.18 г.).
3. **Фасхиев Х. А.** Электрогрузовик с автопилотом — будущее магистральных перевозок // *Логистика сегодня*. — 2018. — № 1. — С. 42—56.
4. **Общее** количество электромобилей в мире [Эл. ресурс]. URL: <https://itc.ua/blogs/obshhee-kolichestvo-elektromobilej-v-mire-prevyisilo-otmetku-2-mln-ekzempliarov-iz-kotoryih-1-2-mln-chistyih-elektromobilej-i-0-8-mln-podklyuchaemyih-gibridov> (дата обращения 25.01.2018).
5. **Сколько** сейчас эксплуатируется электромобилей в мире [Эл. ресурс]. <http://beelead.com/skolko-elektromobilej-mire> (дата обращения 16.06.2018).
6. **Tesla Model S** и Nissan Leaf — самые продаваемые электромобили в мире в 2016 году [Эл. ресурс]. <https://cleantechica.com/2017/02/04/tesla-model-s-clocked-as-worlds-best-selling-electric-car-in-2016> (дата обращения 03.06.2018).
7. **В России** в 2017 году купили всего 95 новых электромобилей, и 62 из них — Tesla [Эл. ресурс]. <https://auto.newsru.com/article/19jan2018/Tesla> (дата обращения 03.06.2018).
8. **В Японии** число зарядных станций для электромобилей уже больше, чем традиционных [Эл. ресурс]. <https://avtomaniya.com/site/publication-full/12500> (дата обращения 18.06.2018).
9. **Четыре мифа** об электромобилях и веке бензина [Эл. ресурс]. <https://republic.ru/biz/1106503> (дата обращения 28.02.2018).
10. **Потребление** литий-ионных батарей в России [Эл. ресурс]. <http://alexmasanov.ru/blog/litium-ion-batteryin-russia> (дата обращения 28.02.2018).

ИССЛЕДОВАНИЯ. РАСЧЕТ

УДК 629.113.001.4.017

В. С. Устименко, канд. техн. наук, НИИЦ АТ 3 ЦНИИ Минобороны России

E-mail: orlov-av@mail.ru

СПОСОБ УСКОРЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ МНОГОЦЕЛЕВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ С АВТОМАТИЧЕСКОЙ ГИДРОМЕХАНИЧЕСКОЙ ТРАНСМИССИЕЙ

В статье представлен способ дорожных ускоренных испытаний многоцелевых автомобилей с автоматической гидромеханической трансмиссией на надежность двигателя и агрегатов трансмиссии путем воспроизведения (эксплуатационного моделирования) объема воздействия стандартных испытательных дорог на испытываемый образец в специальном (форсированном) режиме испытаний отдельно на дороге с твердым покрытием и грунтовой дороге удовлетворительного состояния.

Ключевые слова: ускоренные испытания, форсированный режим испытаний, виды испытательных дорог, цикл разгона, цикл торможения, частота вращения вала двигателя.

The article presents a method for accelerated road tests of multipurpose vehicles with automatic hydromechanical transmission for the reliability of the engine and transmission units by reproducing (operational modeling) the amount of influence of standard test roads on the test sample in a special (forced) test mode on a surfaced road and a dirt road in the satisfactory condition separately.

Keywords: accelerated tests, forced test mode, types of test roads, acceleration cycle, braking cycle, shaft speed of the engine.

В процессе повышения качества создаваемых опытных образцов автомобильной техники важную роль занимают натурные испытания, нормированные по условиям и объему пробега по видам дорог с постоянным совершенствованием технологии их проведения.

В одном из последних номеров [1] на страницах журнала "Грузовик" это направление представлено в виде управляемого режима испытаний автомобильной техники для форсированного нагружения ее узлов и агрегатов, который разработан по многоцелевым автомобилям для эквивалентной замены пробега на дорогах с твердым покрытием (А-дороге) и грунтовой дороге удовлетворительного состояния (Г-дороге). Способ применим как для нормальных испытаний (соответственно с пробегом по указанным дорогам 6,0 и 9,0 тыс. км), так и по программе ускоренных испытаний в комплексе с форсированным нагружением автомобиля на искусственных дорожных сооружениях разного профиля, эквивалентного нормативному пробегу (30 тыс. км). Форсированное нагружение достигается путем увеличения амплитуды циклических механических напряжений деталей узлов и частоты их приложения и реализуется в управляемом режиме "разгон—торможение".

В указанном источнике этот режим изложен достаточно подробно и касается автомобилей исключительно с механическими ступенчатыми коробками передач.

Вместе с тем в последнее время отмечено активное внедрение в конструкцию многоцелевых автомобилей автоматических гидромеханических трансмиссий, например, на автомобилях типа "Тайфун" Уральского и Камского автомобильных заводов, в связи с чем встал вопрос о разработке специального режима испытаний применительно к таким автомобилям.

И такой способ испытаний был разработан, опробован на указанных автомобилях и готов к дальнейшему использованию. На этот способ испытаний получен патент на изобретение [2], в котором изложена принципиальная основа новой методики.

По существу решалась та же задача — ускорение и форсировка испытаний на надежность двигателя и агрегатов трансмиссии, но в условиях принципиального отличия работы автоматической коробки передач (АКП) от механической, которое состоит в автоматическом переключении передач без прерывания потока мощности при использовании агрегатов: гидротрансформатора,

планетарной коробки передач и системы управления, при этом гидротрансформатор обеспечивает плавную передачу крутящего момента от двигателя к трансмиссии, величина которого определяется сопротивлением движению, и жесткую связь (при блокировке) при установившихся режимах работы насосного и турбинного колес и при отключении подачи топлива.

Автоматическое переключение передач выполняется преимущественно на частоте вращения вала двигателя (чввд), равной $0,7-0,9 n_{\max}$. В зависимости от дорожных условий селектором (рычагом выбора диапазона работы коробки передач) задают количество используемых передач. Кроме того, трансмиссия с АКП снабжена замедлителем движения (разного типа), который используют для торможения автомобиля на крутых спусках, в том числе в горах.

Поставленная задача достигнута тем, что в специальном режиме испытаний автомобиль перемещают по каждой j -й дороге (опорной поверхности) в ведущем неустановившемся режиме, определенном профилем А-дороги и несущей способностью Г-дороги, с предварительным выбором диапазона работы АКП, в том числе:

на А-дороге движение начинают на повышенной передаче в раздаточной коробке (Рк) в 1-м цикле с передачи в АКП, используемой при троганье с места, а разгон выполняют при полной подаче топлива, включая моменты автоматического переключения на следующую, более высокую передачу, на соответствующих частотах вращения вала двигателя, без участия человека-оператора до момента достижения первой, дискретно заданной скорости, при которой отключают подачу топлива, и двигатель переводят в режим торможения с одновременным снижением чввд и скорости движения автомобиля, темпы которых определяются насосными потерями в двигателе и величиной коэффициента категории дороги (сопротивления движению) Ψ_{jA} в границах $0,028-0,055$ [3, табл. 1]; испытание в тормозном режиме продолжают до момента снижения скорости автомобиля до 5 км/ч ;

во 2-м цикле движение начинают по режиму 1-го цикла и при полной подаче топлива с автоматическим переключением передач до достижения второй, дискретно заданной скорости, при которой двигатель переводят в режим торможения при отключении подачи топлива; испытание в тормозном режиме продолжают до момента снижения скорости автомобиля, соответствующей 1-й дискретно заданной;

в 3-м цикле движение начинают со скорости, соответствующей второй дискретно заданной скорости, с разгоном при полной подаче топлива автоматическим переключением передач до достижения третьей, дискретно заданной скорости испытание в тормозном режиме продолжают до момента снижения скорости, соответствующей 2-й, дискретно заданной скорости;

в последующем испытании проводят указанными ступенями до момента достижения наибольшей скорости выбранного диапазона работы АКП, при которой испытания переводят в тормозной режим с использованием дополнительно замедлителя движения до момента снижения скорости автомобиля до 10 км/ч с последующей его остановкой с использованием тормозной системы и его разворота для повторения указанных циклов;

на Г-дороге движение начинают на пониженной передаче в РК в выбранном диапазоне работы АКП в 1-м цикле с передачи в АКП, используемой при троганье с места в режиме разгона и торможения в циклах, подобных на А-дороге, темпы которого также определяются насосными потерями в двигателе и величиной коэффициента Ψ_{Γ} (на грунтовой дороге, равного $0,05-0,09$ [3, табл. 1]; последнее торможение начинают с наибольшей скорости выбранного в диапазоне работы АКП с использованием замедлителя и завершают на скорости 5 км/ч с последующим использованием тормозной системы до остановки ТС, разворотом и повторением циклов.

Реализация указанных циклов в объеме нормативного пробега [4] в системе автомобиль—опорная поверхность А-дороги и Г-дороги обеспечивают знакопеременные нагрузки всех взаимодействующих деталей двигателя и трансмиссии с частотой смены циклов, определенной скоростной характеристикой двигателя и значениями коэффициентов сопротивления движению Ψ_A и Ψ_{Γ} и различной природой их проявления в виде результатов усталостной прочности и трибологического воздействия.

Использование специального режима для ускорения и форсировки испытаний двигателя и агрегатов трансмиссии с АКП колесных машин на надежность на асфальтобетонной дороге и грунтовой дороге удовлетворительного состояния на примере автомобиля полной массой 16 т с автоматической гидромеханической коробкой передач, снабженной ретардером, предназначенным для создания дополнительного тормозного усилия без использования рабочей тормозной системы при движении автомобиля на затяжном спуске, заключается в следующем.

Таблица 1

Параметры агрегатов трансмиссии			Скорость движения транспортного средства, км/ч на дороге с асфальтобетонным покрытием							
Передаточное отношение в агрегатах	Передача в КП	$i_{кп}$	Частота вращения вала двигателя n , мин ⁻¹							
			800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200
Повышающая передача в РК, $i_{рк} = 0,872$	1	4,7	7,10	8,87	10,7	12,4	14,2	16,0	17,7	19,5
	2	2,21	15,1	18,9	22,6	26,4	30,2	34,0	37,7	41,5
Главная передача, $i_o = 1,227$	3	1,53	21,8	27,3	32,7	38,2	43,6	49,0	54,5	60,0
	4	1,0	33,4	41,7	50,0	58,4	66,7	75,0	83,4	91,7
Колесная передача, $i_k = 5,143$	5	0,76	43,9	54,9	65,8	76,8	87,8	99,0	110,0	—
	6	0,67	49,8	62,2	74,7	87,1	99,6	112,0	—	—

По исходным данным табл. 1, выражающим зависимость скорости движения автомобиля на А-дороге от номера включенной передачи и частоты вращения вала двигателя, при условии блокировки гидротрансформатора АКП на повышенной передаче в раздаточной коробке (РК) в выбранном режиме работы АКП до 4-й передачи включительно, строят график разгонных характеристик автомобиля и двигателя на передачах P_1, P_2, P_3 и P_4 (рисунок) с началом движения на 1-й передаче с места до момента переключения с 4-й передачи на 5-ю (P_5) в режиме автоматического переключения передач независимо от человека-оператора, в соответствии с этим обозначенные на рисунке, точки 1, 2, 3 и 4 соответствуют моментам автоматического переключения передач на соответствующих частотах вращения вала двигателя и скорости движения

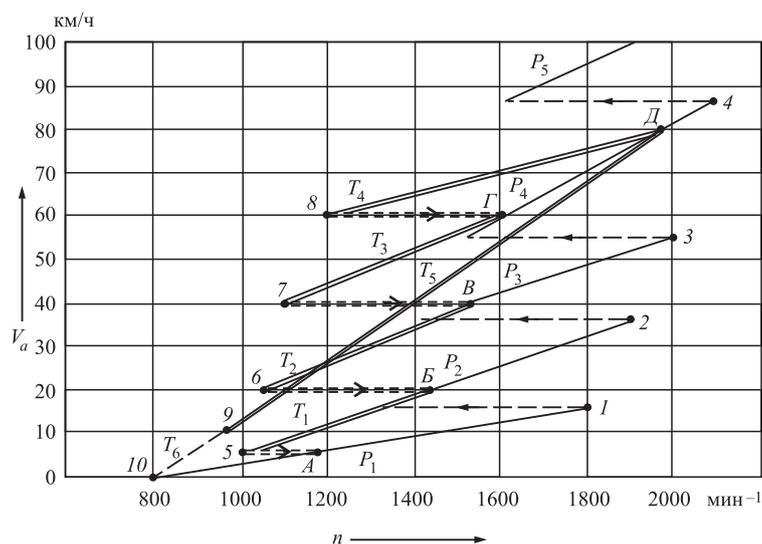


График разгонных характеристик двигателя и автомобиля с автоматическим переключением передач в трансмиссии до дискретно заданных скоростей движения автомобиля

с кратковременным снижением чввд (на рисунке показано пунктирными линиями) в момент переключения передач.

Следует заметить, что фактические скорости движения автомобиля на этапе разгона, в зависимости от величины скольжения турбинного и насосных колес гидротрансформатора, определяемого темпом разгона автомобиля и коэффициентом сопротивления движению Ψ_j , несколько ниже, чем при их блокировке, а сами характеристики имеют нелинейный характер.

Однако к моменту автоматического переключения передач частоты вращения турбинного и насосного колес выравниваются и расчетные скорости движения, указанные на графике рисунка, близки к реальным.

На график указанных разгонных характеристик накладывают заданный режим ускорения и форсировки испытаний двигателя и агрегатов трансмиссии, включающий последовательный разгон автомобиля до заданных скоростей движения: 20, 40, 60 и 80 км/ч (точки Б, В, Г и Д) в рабочем диапазоне 1—4 передач АКП с последующим торможением двигателем до значений предшествующих скоростей. При этом разгон автомобиля с места выполняют до скорости 20 км/ч (точка Б) по характеристике P_1 с переключением на 2-ю передачу в точке 1 и продолжением разгона по характеристике P_2 ; в точке Б испытания переводят в режим торможения по прямой T_1 до скорости 5 км/ч (точка 5) и последующим разгоном во 2-м цикле по характеристикам P_1 и P_2 и частично по характеристике P_3 с автоматическим переключением передач с 1-й на 2-ю передачу в точке 1 и со 2-й на 3-ю передачу в точке 2 до скорости 40 км/ч (в точке В), при которой разгон переводят в режим торможения по прямой T_2 до скорости

Таблица 2

Параметры агрегатов трансмиссии			Скорость движения транспортного средства, км/ч на грунтовой дороге удовлетворительного состояния							
Передачное отношение в агрегатах	Передача в КП	$i_{кп}$	Частота вращения вала двигателя n , мин ⁻¹							
			800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200
Повышающая передача в РК, $i_{рк} = 1,593$	1	4,7	3,88	4,86	5,82	6,79	7,76	8,73	9,72	10,7
	2	2,21	8,25	10,3	12,4	14,4	16,5	18,6	20,7	22,7
Главная передача, $i_o = 1,227$	3	1,53	11,9	14,9	17,9	20,9	23,8	26,8	29,9	32,8
	4	1,0	18,2	22,9	27,4	31,9	36,5	41,0	45,7	50,2
Колесная передача, $i_k = 5,143$	5	0,76	24,0	30,0	36,0	42,0	48,0	54,0	60,0	—
	6	0,67	27,2	34,1	40,8	47,6	54,4	61,3	—	—

20 км/ч (в точке *б*), и последующим разгоном в 3-м цикле по характеристикам P_2 , P_3 и частично P_4 (с автоматическим переключением передач в точках 2 и 3) до скорости 60 км/ч (точка *Г*), при которой разгон переводят в режим торможения по прямой T_3 до скорости 40 км/ч (точка *Г*), далее продолжают разгон в 4-м цикле по характеристикам P_3 и P_4 с автоматическим переключением передач в точке 3 до скорости 80 км/ч (точка *Д*), при которой разгон переводят в режим торможения по прямой T_5 , с использованием ретардера для увеличения интенсивности торможения до скорости 10 км/ч (точка *9*) с последующим торможением в 6-м цикле с использованием рабочих тормозов по прямой T_6 до полной остановки автомобиля в точке *10* и последующим разворотом для повторения указанных циклов.

Для водителя автомобиля в карточке-задании специальный режим разгон (Р) и торможение (Т) представляют в виде последующих циклов управления автомобилем:

- 1 ц: 0 км/ч Р 20 км/ч Т(Д) 5 км/ч (с использованием двигателя Д);
- 2 ц: 5 км/ч Р 40 км/ч Т(Д) 20 км/ч;
- 3 ц: 20 км/ч Р 60 км/ч Т(Д) 40 км/ч;
- 4 ц: 40 км/ч Р 80 км/ч ТД 60 км/ч;
- 5 ц: 60 км/ч Р 80 км/ч ТДР 10 км/ч (с использованием двигателя и ретардера);
- 6 ц: 10 км/ч Т 0 км/ч (с использованием рабочих тормозов).

Использование специального режима для ускорения и форсировки испытаний двигателя и агрегатов трансмиссии с АКП на надежность на грунтовой дороге удовлетворительного состояния на примере указанного автомобиля аналогичны испытания на асфальтобетонной дороге.

По исходным данным табл. 2 выполняют построения, аналогично указанным на рисунке с отличием, заключающимся в том, что торможение с наибольшей скорости (40 км/ч) выполняют без

использования ретардера, а окончательное торможение выполняют также со скорости 10 км/ч с использованием рабочих тормозов.

Карточку-задание для водителя представляют в виде последующих циклов:

- 1 ц: 0 км/ч Р 10 км/ч Т(Д) 5 км/ч;
- 2 ц: 5 км/ч Р 20 км/ч Т(Д) 10 км/ч;
- 3 ц: 10 км/ч Р 30 км/ч Т(Д) 20 км/ч;
- 4 ц: 20 км/ч Р 40 км/ч Т(Д) 30 км/ч;
- 5 ц: 30 км/ч Р 40 км/ч Т(Д) 10 км/ч;
- 6 ц: 10 км/ч Т 0 км/ч (с использованием рабочих тормозов).

Способ форсированного нагружения с автоматической гидромеханической трансмиссией обеспечивает ускоренные испытания для оценки их надежности как по эквивалентной замене асфальтобетонной дороги и грунтовой дороги удовлетворительного состояния в объеме нормальных испытаний, так и в комплексе по программе ускоренных испытаний с использованием искусственных сооружений, разбитых и размокших грунтовых дорог.

Изложенный способ по характеру нагружения двигателя и агрегатов трансмиссии близок к автомобилям с механической коробкой передач, но с более легким управлением автомобиля и более высокой стабилизацией заданного режима испытаний.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Устименко В. С. Управляемые режимы испытаний многоцелевых автомобилей для форсированного нагружения их узлов и агрегатов // Грузовик. — 2018. — № 9. — С. 12—15.
2. RU Патент на изобретение № 2657090 РФ, МПК C1 G 01 M 17/00 от 08.06.2018 г.
3. ОСТ 37.001.520—96. Категории испытательных дорог. Параметры и методы их определения. Введ. 1997-07-01. — М.: "Дорожный транспорт", ТК 56, 1996.
4. RU Патент на изобретение № 2582319 РФ, МПК C2 G 01 M 17/00 от 31.03.2016 г.

УДК 629.113.075

В. И. Коптилов, канд. техн. наук, профессор, Тюменское высшее военно-инженерное командное училище им. маршала инженерных войск А. И. Прошлякова
E-mail: vikopotilov@mail.ru

О НОРМАЛЬНЫХ РЕАКЦИЯХ ОПОРНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ДВИЖЕНИИ КОЛЕСНОЙ МАШИНЫ

Отмечается некорректность существующих формул, определяющих распределение нормальных реакций дороги между передними и задними колесами автомобиля при его прямолинейном движении, выводятся формулы, отражающие влияние всех основных факторов на распределение нормальных реакций.

Ключевые слова: автомобиль, колесная машина, нормальные реакции дороги, задние колеса, передние колеса, прямолинейное движение.

The incorrectness of the existing formulas, terming the distribution of normal road reactions between the front and rear wheels of the vehicle during its rectilinear motion, is noted. Formulas, reflecting the influence of all the main factors on the distribution of normal road reactions between the front and rear wheels of the with its rectilinear motion, are derived.

Keywords: car, wheel car, normal road reactions, rear wheels, front wheels, rectilinear movement.

В статическом положении нормальные реакции, воспринимаемые передними и задними колесами на горизонтальной дороге, определяются силой тяжести всей машины (G) и положением ее центра тяжести относительно точек опоры:

$$R_{z1}^{ст} = G \frac{L_2}{L}; \quad (1)$$

$$R_{z2}^{ст} = G \frac{L_1}{L}, \quad (2)$$

где L_1, L_2 — расстояние от центра тяжести машины соответственно до ее передней и задней оси; $L = L_1 + L_2$ — база машины.

Если колесная машина находится в движении, то к ней, кроме силы тяжести, прикладываются и другие усилия, которые вызывают соответствующее перераспределение нормальных реакций.

Задача о распределении нормальных реакций дороги между колесами передней и задней оси относится к числу старых классических задач, которая рассматривается во всех учебниках по теории движения.

Однако анализ решений, приводимых в разных учебниках, показывает, что расчетные формулы, призванные отражать влияние различных факторов на величину нормальных реакций, в первую очередь, таких, как конструкция автомобиля, условия и режим движения, имеют весьма существенные различия, которые обусловлены глав-

ным образом разным набором сил, включенных в расчетную схему. При этом одни формулы не отражают весь набор факторов, определяющих величину нормальных реакций, и носят частный характер, а другие, претендуя на общий характер, содержат факторы, которые в действительности не влияют на величину нормальных реакций, или содержат отдельные неточности и даже ошибки.

Главные аспекты указанных формул, носящие принципиальный характер и требующие уточнения, состоят в следующем.

В ряде учебников [1—11] принято, что при ускоренном движении колесной машины на распределение нормальных реакций значительное влияние оказывают моменты тангенциальных сил инерции колес, обусловленных неравномерностью их вращения:

$$M_{\varepsilon 1} = J_1 \varepsilon_1 = J_1 j / r_1; \quad (3)$$

$$M_{\varepsilon 2} = J_2 \varepsilon_2 = J_2 j / r_2, \quad (4)$$

где r_1, r_2, J_1, J_2 и $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ — соответственно радиусы, осевые моменты инерции и угловые ускорения передних и задних колес.

В других учебниках [12—23] инерционные моменты (3) и (4) в расчетных схемах и соответствующих формулах нормальных реакций отсутствуют.

Второй важный момент, требующий уточнения, — это влияние сил сопротивления качению.

Это сопротивление представляется смещениями a_1 и a_2 векторов нормальных реакций \vec{R}_{z1}

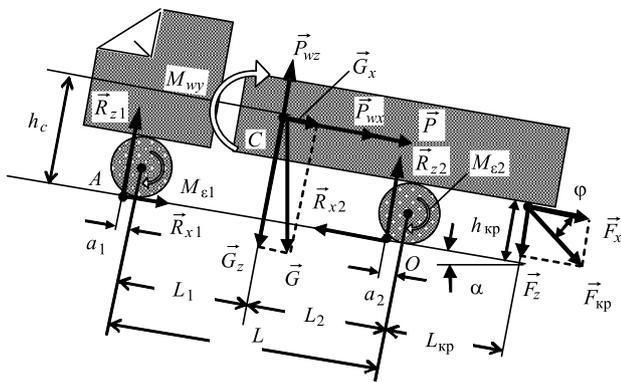


Рис. 1. Схема внешних сил, действующих на колесную машину в процессе движения

и \vec{R}_{z2} (рис. 1), приводящих к образованию моментов сопротивления качению, или непосредственно самими моментами, прикладываемыми к колесам:

$$M_{f1} = R_{z1}a_1 = R_{z1}f_1r_1, \quad M_{f2} = R_{z2}a_2 = R_{z2}f_2r_2, \quad (5)$$

где f_1 и f_2 — коэффициенты сопротивления качению соответственно передних и задних колес автомобиля.

Заметим, что в отечественной литературе моменты M_{f1} и M_{f2} учитываются даже при движении по асфальтобетонной дороге, т. е. когда силы сопротивления качению относительно малы. В результате во всех без исключения учебниках формулы нормальных реакций содержат моменты сопротивления качению M_{f1} и M_{f2} или параметры, определяющие эти величины, т. е. смещения a_1 и a_2 , коэффициенты f_1, f_2 и радиусы колес r_1 и r_2 .

В третьих, требуют оценки предложения проф. Подригало М. А. [24], проф. Тарасика [25], которые в целях усовершенствования формул R_{z1} и R_{z2} , считают необходимым учитывать соответственно тяговый M_T и продольный реактивный (опрокидывающий) момент M_p . Авторы полагают, что эти моменты также, как и моменты других сил, влияют на распределение нормальных реакций дороги.

Наконец, требуется дать более четкий и ясный ответ и относительно того, какие именно силовые факторы воздушной среды и почему должны быть учтены в самом общем случае при оценке распределения нормальных реакций дороги, воспринимаемых колесной машиной.

Сопоставление расчетных схем и формул, приводимых в разных литературных источниках, показывает, что в учете воздействия воздуха на R_{z1} и R_{z2} имеются значительные расхождения. Так, в одних источниках [7, 13, 17, 23] воздействие

воздуха вообще не учитывается, в других [1—4, 8, 10, 11, 12, 14, 15, 16, 18, 20, 21] учитывается только продольная составляющая \vec{P}_{wx} полной аэродинамической силы, в третьих и подъемная \vec{P}_{wz} [5, 6], а в четвертых [6, 18] во внимание принимается еще и продольный аэродинамический момент M_{wy} .

Обозначив проблемы, попытаемся дать их решение.

1. На наш взгляд, включение в расчетную схему сил, используемую для определения величин нормальных реакций R_{z1} и R_{z2} , моментов тангенциальных сил инерции (3) и (4), обусловленных неравномерностью вращения колес, является явной ошибкой. И аргументы здесь следующие.

Во-первых, моменты M_{e1} и M_{e2} характеризуют не что иное, как силовые инерционные пары, которые прикладываются соответственно к передним и задним колесам машины.

Во-вторых, у любой силовой пары, в том числе и у рассматриваемых инерционных, главный вектор сил равен нулю, поэтому никакая силовая пара не в состоянии сдвинуть центр масс самого тела. Это означает, что и инерционные силовые пары с моментами M_{e1} и M_{e2} , возникающие при неравномерном вращении колес, сами по себе не могут и не стремятся сдвинуть их центры масс. По этой причине они не могут повлиять на силу нормального давления колес на дорогу, следовательно, и на нормальные реакции R_{z1} и R_{z2} самой дороги.

В-третьих, инерционные моменты M_{e1} и M_{e2} не передаются с колес на корпус машины, так как они, т. е. колеса и корпус, в совокупности не образуют единое твердое тело. Их соединение осуществляется посредством цилиндрических шарниров, которые, как известно, не передают силовые пары. Поскольку корпус машины не воспринимает эти силовые пары, то и суммарный момент сил, приложенных к корпусу, при этом не изменяется. Это обстоятельство исключает влияние M_{e1} и M_{e2} на силы нормального давления колес автомобиля на дорогу опосредованно, т. е. через его корпус.

Таким образом, следует заключить, что моменты тангенциальных сил инерции M_{e1} и M_{e2} , обусловленные неравномерностью вращения колес, не влияют на распределение нормальных реакций R_{z1} и R_{z2} дороги.

2. Аналогичным образом обстоит дело и с моментами сопротивления качению M_{f1} и M_{f2} . Действительно, моменты (5), обусловленные, как принято считать, смещением векторов нормаль-

ных реакций дороги относительно осей вращения колес, означают, что передние и задние колеса в процессе своего качения испытывают пары сил с моментами сопротивления M_{f1} и M_{f2} , которые, как и инерционные моменты M_{e1} и M_{e2} , по тем же самым причинам непосредственно не оказывают влияния на величину нормальных реакций R_{z1} и R_{z2} . Поэтому присутствие в формулах R_{z1} и R_{z2} моментов сопротивления качению M_{f1} и M_{f2} также исключается.

3. Проф. М. А. Подригало тяговые моменты на ведущих колесах по отношению к автомобилю, вопреки здравому смыслу, предлагает считать не внутренними, а внешними усилиями. По этой причине эти моменты, как и моменты M_{f1} и M_{f2} сопротивления качению колес, убежден М. А. Подригало и его соавторы [24], должны присутствовать в формулах, выражающих нормальные реакции дороги. На наш взгляд, утверждение, что тяговые моменты вызывает перераспределение нормальных реакций дорожной поверхности, явно ошибочное.

Как известно, тяговые моменты выражают собой не что иное, как меру поворачивающего воздействия пар *внутренних* сил, прикладываемых валами трансмиссии к ведущим колесам автомобиля. Как указывалось выше, силовые пары колес, вследствие шарнирного соединения с корпусом автомобиля, не могут передавать свои поворачивающие воздействия на корпус, следовательно, изменять его нормальные усилия, прижимающие колеса к дороге. Причем, это тем очевиднее, если бы эти моменты и в самом деле были бы внешними, так как в этом случае передача пары сил осуществлялась бы от одного тела (дороги) к другому телу (корпусу автомобиля) через шарниры, что совершенно невозможно.

4. Предложение проф. В. П. Тарасика [25] о включении в расчетную схему внутреннего реактивного момента M_p , также неприемлемо, хотя его ошибочность не столь очевидна. Это объясняется тем, что в процессе движения колесной машины момент M_p действительно прикладывается к корпусу, стремится повернуть его вокруг поперечной оси и опрокинуть назад. Причем он не может быть компенсирован аналогичным по величине, но противоположным по направлению, тяговым моментом M_T на ведущих колесах, так как эти моменты прикладываются не к одному и тому же телу, а к разным частям механической системы (т. е. автомобиля), которые соединяются цилиндрическими шарнирами. Однако действие реактивного момента M_p компенсирует сила тяги

автомобиля, вектор \vec{P}_T которой прикладывается к оси ведущих колес. Эта продольная сила передается на корпус автомобиля и, действуя на плече r_d (динамический радиус ведущих колес) относительно поперечной оси A (рис. 2), создает момент:

$$M_A(\vec{P}_T) = P_T r_d, \quad (6)$$

который и воспринимает корпус.

Взаимная уравновешенность двух внутренних моментов M_p и $M_A(\vec{P}_T)$, приложенных к одному и тому же телу (корпусу автомобиля), исключает тем самым влияние внутреннего реактивного момента M_p на распределение сил давления передних и задних колес автомобиля на дорожную поверхность, следовательно, и на распределение нормальных реакций.

Аналогичный вывод можно сделать относительно момента тормозной силы $M_A(\vec{P}_{\text{тор}})$ и внутреннего реактивного момента ($M_{\text{тор}}^p$), который образуется при работе тормозных механизмов автомобиля. Будучи равными по модулю и действуя на корпус в противоположных направлениях, они взаимно уравновешивают друг друга ($M_{\text{тор}} + M_{\text{тор}}^p = 0$).

5. Перечисленные выше противоречия в учете аэродинамических сил, представляется, не имеют столь принципиального характера, а связаны, прежде всего, с тем, нормальные реакции каких колесных машин при этом рассматриваются. Другими словами, относятся ли формулы R_{z1} и R_{z2} к быстроходным транспортным средствам (спортивным или легковым автомобилям) или же относительно к тихоходным (грузовым автомобилям, колесным тракторам и другим самоходным машинам), для которых влияние аэродинамических сил на величину нормальных реакций

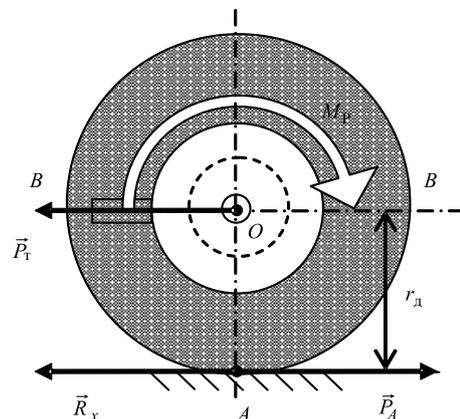


Рис. 2. Реактивный момент и сила тяги автомобиля

колес, относительно мало и ими, иногда, можно и пренебречь.

При движении быстроходных машин главный фактор аэродинамического воздействия, оказывающий основное влияние на распределения нормальных реакций дороги, — это конечно же продольная аэродинамическая сила (\vec{P}_{wx}), которую обычно называют силой сопротивления воздуха. Влияние же подъемной аэродинамической силы \vec{P}_{wz} и продольного аэродинамического момента \vec{M}_{wy} менее ощутимо, но требует учета при больших скоростях движения.

Погрешности учета аэродинамических сил, содержащиеся в различных учебниках, связаны иногда с неправильным пониманием и трактовкой вектора \vec{P}_w полной аэродинамической силы и точки ее приложения. Так, у одних авторов вектор равнодействующей всех аэродинамических сил \vec{P}_w (следовательно, и ее продольной компоненты \vec{P}_{wx}) прикладывается в метацентре: центре, расположенном на высоте h_w , а у других — в центре тяжести на высоте h_c . Однако если вектор \vec{P}_w в процессе преобразования системы сил переносится из метацентра в центр тяжести машины, то этот перенос, как известно, требует введения полного аэродинамического момента \vec{M}_w (точнее силовой пары с указанным моментом), поперечная компонента (\vec{M}_{wy}) вектора которого, действуя на корпус автомобиля, и вызывает перераспределение нормальных реакций дороги между его передними и задними колесами. Именно это обстоятельство, порой, и не находит корректного отражения в формулах нормальных реакций.

Учитывая итоги анализа, составим расчетную схему, в которой должны быть отражены все силы, оказывающие влияние на нормальные реакции опорной поверхности.

При решении данной задачи будем считать, что при движении машина не совершает колебаний, а сама опорная поверхность плоская и не имеет неровностей, способных вызвать колебания значений нормальных реакций.

На машину, которая прямолинейно движется по дороге с продольным уклоном, в самом общем случае действуют следующие внешние силы (см. рис. 1): сила тяжести \vec{G} , усилие $\vec{F}_{кр}$ на буксировочном крюке, полная аэродинамическая сила \vec{P}_w , а также нормальные (\vec{R}_{z1} и \vec{R}_{z2}) и продольные реакции опорной поверхности (\vec{R}_{x1} и \vec{R}_{x2}).

Силу тяжести \vec{G} автомобиля в целях удобства анализа разложим на продольную

$$G_x = G \sin \alpha \quad (7)$$

и поперечную составляющие

$$G_z = G \cos \alpha, \quad (8)$$

где α — угол продольного уклона дороги.

Аналогичным образом разложим и силу $\vec{F}_{кр}$ на крюке, обусловленную сопротивлением буксируемого прицепа. В результате будем иметь две компоненты этого вектора, величину которых выражают формулы:

$$F_x = F_{кр} \cos \varphi, \quad F_z = F_{кр} \sin \varphi, \quad (9)$$

где φ — угол отклонения дышла прицепа в вертикальной плоскости от продольной оси машины.

Равнодействующую аэродинамических сил \vec{P}_w , приложенную в метацентре автомобиля, обычно приводят к центру масс, т.е. заменяют эквивалентной системой сил. В таком случае в центре масс C машины прикладывается аналогичный по величине и направлению главный вектор \vec{P}_w и главный момент \vec{M}_w аэродинамических сил. Значения компонентов главного вектора \vec{P}_w , лежащих в продольной плоскости и влияющих на силу давления передних и задних колес машины, следовательно, и на величину нормальных реакций, т.е. сил \vec{P}_{wx} и \vec{P}_{wz} , можно представить в виде следующих формул:

$$P_{wx} = c_x S (\rho V_w^2 / 2) \quad (10)$$

и

$$P_{wz} = c_z S (\rho V_w^2 / 2), \quad (11)$$

где c_x и c_z — безразмерные коэффициенты лобовой и подъемной аэродинамической сил; S — площадь проекции машины на поперечную плоскость; ρ и V_w — плотность воздуха и абсолютная скорость воздушного потока, омывающего машину.

Скорость V_w представляет собой модуль вектора относительной скорости движения воздуха, который определяется разницей между вектором абсолютной скорости воздушного потока, т.е. скоростью движения воздуха относительно земли (скоростью ветра \vec{V}_B), и вектором переносного движения, т.е. скоростью машины \vec{V}_M : $\vec{V}_w = \vec{V}_B - \vec{V}_M$. При этом значение V_w можно вычислить по формуле

$$V_w = \sqrt{V_M^2 + V_B^2 + 2V_M V_B \cos \alpha}, \quad (12)$$

где α — угол атаки ветра (угол между вектором скорости ветра \vec{V}_B и продольной осью колесной машины).

Продольная составляющая \vec{P}_{wx} представляет собой силу сопротивления воздуха, а вертикальная \vec{P}_{wz} , которая, как правило, направлена вверх, представляет собой подъемную аэродинамическую силу.

Проекция вектора \vec{M}_w на поперечную ось представляет собой продольный (опрокидывающий) аэродинамический момент:

$$M_{wy} = m_y S (\rho V_w^2 / 2) l_w, \quad (13)$$

где m_y — коэффициент продольного аэродинамического момента; l_w — характерный линейный размер автомобиля по длине.

Другие компоненты аэродинамических сил (P_{wy} , M_{wx} , M_{wz}) не влияют на распределение нормальных реакций между передними и задними колесами машины и при решении данной задачи их можно не рассматривать.

Если при составлении уравнения состояния колесной машины исходить из принципа Даламбера, то к физическим силам, действующим на машину, следует добавить даламберову силу инерции его поступательного движения $P_j = jm$ (где j и m — ускорение центра масс и масса автомобиля), которая прикладывается в центре C масс машины (см. рис. 1).

Приложив даламберову силу инерции, составим уравнения условного равновесия системы внешних сил, действующих на колесную машину.

Первое уравнение — это уравнение моментов всех внешних сил относительно поперечной оси O , лежащей на опорной поверхности и проходящей через центры пятен контакта задних ведущих колес (см. рис. 1):

$$L_2 G \cos \alpha - h_c (G \sin \alpha + P_{wx} + jm) - M_{wy} - P_{wz} L_2 - R_{z1} L - F_{кр} \cos \varphi h_{кр} - F_{кр} \sin \varphi L_{кр} = 0, \quad (14)$$

где $h_{кр}$, $L_{кр}$ — параметры, отражающие местоположение крюка тягово-сцепного устройства машины (см. рис. 1).

Второе уравнение — это уравнение проекций всех внешних сил на нормальную ось:

$$R_{z1} + R_{z2} + P_{wz} - G \cos \alpha - F_{кр} \sin \varphi = 0. \quad (15)$$

Из уравнения (14) получаем выражение нормальной реакции, прикладываемой к передним колесам машины:

$$R_{z1} = G [L_2 \cos \alpha - h_c (\sin \alpha + j/g)] / L - \left[\frac{P_{wx} h_c + P_{wz} L_2 + M_{wy} + F_{кр} (h_{кр} \cos \varphi + L_{кр} \sin \varphi)}{L} \right] / L. \quad (16)$$

Подставляя полученное выражение (16) в уравнение (15) и принимая во внимание, что $L = L_1 + L_2$, получаем выражение для нормальной реакции, воспринимаемой задними колесами:

$$R_{z2} = G [L_1 \cos \alpha + h_c (\sin \alpha + j/g)] / L + \left[\frac{P_{wx} h_c - P_{wz} L_1 + M_{wy} + F_{кр} (h_{кр} \cos \varphi + (L + L_{кр}) \sin \varphi)}{L} \right] / L. \quad (17)$$

Из формулы (16) следует, что при равномерном движении одиночной колесной машины ($F_{кр} = 0$) с умеренными скоростями увеличению нормальных реакций на передних колесах (R_{z1}) благоприятствует в основном более близкое расположение центра тяжести машины к передним колесам ($L_2 \rightarrow L$) и наличие отрицательного продольного уклона ($\alpha < 0$). При движении на подъем увеличение угла α продольного уклона, наоборот, выступает фактором снижения R_{z1} . При этом, как в том, так и другом случае, степень влияния уклона дороги определяется высотой центра тяжести (h_c) самой колесной машины.

При интенсивных разгонах главной причиной снижения R_{z1} может выступать величина развиваемого машиной ускорения (j).

При движении с большими скоростями значительную роль приобретают аэродинамические факторы (P_{wx} , P_{wz} , M_w), действие которых, как правило, вызывает уменьшение нагрузки на передний мост машины и соответствующее снижение воспринимаемых им реакций R_{z1} .

Наличие буксируемого прицепа, особенно в сочетании с продольным подъемом дороги ($\alpha > 0$) и повышенным сопротивлением качению, также способствует снижению нормальных реакций на передние колеса, что в отдельных случаях создает проблемы с управляемостью.

Из сопоставления формул (16) и (17) можно заключить, что действие всех факторов, отражающих конструкцию колесной машины, условий и режим ее движения, на величину нормальных реакций на задних колесах (R_{z2}) прямо противоположное. Исключение составляет лишь подъемная аэродинамическая сила P_{wz} , которая, будучи направленной вверх ($P_{wz} > 0$), уменьшает нормальные реакции как на передних (R_{z1}), так и на задних (R_{z2}) колесах. Если эта сила направлена вниз ($P_{wz} < 0$), то возрастание ее значения, наоборот, способствует их увеличению.

При торможении изменение знака ускорения ($j < 0$) и соответствующее изменение направления вектора силы инерции приводит к тому, что сила инерции превращается в важный фактор роста

нормальных реакций на передних колесах (особенно при экстренных торможениях).

В частном случае, когда при экстренном торможении одиночной колесной машины ($F_{кр} = 0$) алгебраическая величина ускорения (точнее, замедления) достигает предельного по сцеплению значения, равного $j_{\max} = -g(\varphi_x \cos \alpha + \sin \alpha)$, а скорость колесной машины резко снижается (что дает возможность считать $P_{vx} \approx 0$, $P_{wz} \approx 0$ и $M_{wy} \approx 0$), формулы нормальных реакций принимают следующий вид:

$$R_{z1} \approx G[(L_2 + \varphi_x h_c) \cos \alpha] / L, \quad (18)$$

$$R_{z2} \approx G[(L_2 - \varphi_x h_c) \cos \alpha] / L. \quad (19)$$

Из формул (18) и (19) следует, что при экстренных торможениях на распределение нормальных реакций не влияет то: осуществляется ли такое торможение под уклон ($\alpha < 0$) или на участке подъема дороги ($\alpha > 0$).

В заключение еще раз отметим, что моменты сопротивления качению, образующиеся при неравномерном вращении инерционные моменты колес, реактивный внутренний, тяговый момент, а также тормозной момент автомобиля, непосредственно не влияют на распределение нормальных реакций опорной поверхности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Вахламов В. К., Шатров М. Г., Юрчевский А. А.** Автомобили: Теория и конструкция автомобиля и двигателя: Учебник / Под ред. проф. Юрчевского А. А. — М.: Изд. центр "Академия", 2003. — 816 с.
2. **Гольд Б. В., Фалькевич Б. С.** Теория, конструирование и расчет автомобиля. — М.: Машгиз, 1957. — 535 с.
3. **Иванов В. В., Иларионов В. А., Морин М. М.** Основы теории автомобиля и трактора: Учебное пособие для вузов. — М.: Высшая школа, 1977. — 245 с.
4. **Иларионов В. А.** Эксплуатационные свойства автомобиля (теоретический анализ). — М.: Машиностроение, 1966. — 280 с.
5. **Кузьмин Н. А., Песков В. И.** Теория эксплуатационных свойств автомобиля: Учебное пособие. — М.: ФОРУМ, ИНФРА-М, 2017. — 256 с.
6. **Кравец В. Н.** Теория движения автомобиля: учебник. — Нижний Новгород: ННГТУ, 2014. — 697 с.
7. **Львов Е. Д.** Теория тракторов: Учебник для вузов. — М.: Машгиз, 1960. — 252 с.
8. **Многоцелевые гусеничные и колесные машины.** Теория: Учебное пособие / Под общей ред. проф. В. П. Бойкова. — Минск: Новое знание; М.: ИНФРА-М, 2012. — 543 с.
9. **Скотников В. А., Машенский А. А., Солонский А. С.** Основы теории и расчета трактора и автомобиля: Учебное пособие для вузов. — М.: Агропромиздат, 1986. — 386 с.
10. **Тракторы:** Теория: Учебник для вузов / В. В. Гуськов, Н. Н. Велев, Ю. Е. Атаманов и др.; Под общ. ред. В. В. Гуськова. — М.: Машиностроение, 1988. — 376 с.
11. **Фалькевич Б. С.** Теория автомобиля. — М.: Машгиз, 1963. — 239 с.
12. **Вонг Дж.** Теория наземных транспортных средств. Перевод с англ. — М.: Машиностроение, 1982. — 284 с.
13. **Гребнев В. П., Поливаев О. И., Ворохобин А. В.** Тракторы и автомобили. Теория и эксплуатационные свойства: учебное пособие. Изд. 2-е стер. — М.: КноРус, 2015. — 260 с.
14. **Гришкевич А. И.** Автомобили: теория. — Минск: Вышэйшая школа, 1986. — 208 с.
15. **Гладов Г. И., Петренко А. М.** Специальные транспортные средства: Теория. Учебник для вузов. — М.: ИКЦ "Академкнига", 2006. — 215 с.
16. **Зимилев Г. В.** Теория автомобиля. — М.: Воениздат, 1957. — 455 с.
17. **Кутьков Г. М.** Тракторы и автомобили. Теория и технологические свойства. — М.: Колос, 2004. — 504 с.
18. **Литвинов А. С., Фаробин Я. Е.** Автомобиль: теория эксплуатационных свойств. — М.: Машиностроение, 1989. — 240 с.
19. **Михайловский Е., Цымбалин В.** Теория трактора и автомобиля. Учебное пособие для вузов. — М.: Сельхозиздат, 1960. — 336 с.
20. **Смирнов Г. А.** Теория движения колесных машин: Учебное пособие. — М.: Машиностроение, 1990. — 352 с.
21. **Тарасик В. П.** Теория движения автомобиля: Учебник для вузов. — СПб.: БХВ-Петербург, 2006. — 478 с.
22. **Чудаков Е. А.** Избранные труды. Т. 1. Теория автомобиля. — М.: Изд-во АН СССР, 1961. — 463 с.
23. **Чудаков Д. А.** Основы теории и расчета трактора и автомобиля. — М.: Колос, 1972. — 384 с.
24. **Подригало М. А., Клец Д. М., Назарько О. А., Потапов Н. Н.** Влияние тяговых моментов на динамическое распределение вертикальных реакций между колесами автомобиля // Вестник национального технического университета "ХПИ", 2010, № 39. — С. 64–74.
25. **Тарасик В. П.** Математическое моделирование прямолинейного движения автомобиля // Автомобильная промышленность, 2017, № 9. — С. 17–22.

УДК 621.43(076.5)

В. Э. Шалимов, д-р техн. наук, e-mail: badim62@mail.ru, **А. И. Дворцов**, мл. науч. сотр., e-mail: a.i.dvortsov@mail.ru, научно-исследовательский испытательный центр (исследований и перспектив развития АТ ВС РФ) 3 Центрального научно-исследовательского института Минобороны России. г. Бронницы Московской области

НЕЙРОСЕТЕВОЙ МЕТОД ДИАГНОСТИРОВАНИЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ТОПЛИВОПОДАЧИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДИЗЕЛЕЙ

В статье рассматривается новый метод диагностирования, основанный на нейросетевом методе, успешно развивающийся в самых различных областях — бизнесе, медицине, технике, геологии, физике и др. Метод нейронных сетей позволяет по осциллограмме распознавать различные неисправности топливной системы дизельных двигателей, сокращать время на поиск неисправностей, предотвращать появление отказов, снижать уровень квалификации специалистов по техническому диагностированию.

Ключевые слова: диагностирование, топливная аппаратура, топливный насос высокого давления, датчик давления пьезокварцевого типа, осциллограмма, форсунка, нейронная сеть, синоптическая связь.

The article considers a new method of diagnosis based on a neural network method that successfully develops in various fields of business, the medicine, of engineering, geology, physics and others. The method of neural networks makes it possible to recognize various faults in the fuel system of diesel engines from the oscillogram, to shorten the time for troubleshooting, to prevent the appearance of failures and to reduce the level of qualification of specialists in technical diagnostics.

Keywords: diagnosis, fuel equipment, high pressure fuel pump, pressure sensor of piezoquartz type, oscillogram, injector, neural networks, synaptic connection.

Топливоподающая аппаратура дизеля определяет его мощностные, экономические и экологические показатели.

Процессы, протекающие в топливоподающей аппаратуре, отличаются большой сложностью. Для их математического описания используется система нелинейных дифференциальных уравнений. Теория этих процессов и методы расчета топливной системы подробно изложены во многих источниках [2].

В данной статье ограничимся качественным рассмотрением некоторых частных вопросов. В 80-е годы прошлого столетия в стране многими научно-исследовательскими коллективами (ЛСХИ, ГОСНИТИ, ЦНИТА) проводились работы в области исследований и разработки новых методов диагностирования топливной аппаратуры дизелей [5]. Одним из них является осциллографический метод диагностирования форсунок, топливного насоса высокого давления (ТНВД) и регулятора частоты вращения коленчатого вала двигателя. Измерения производились с использованием датчика давления пьезокварцевого типа, устанавливаемого в разрыв магистрали высокого давления у форсунки и индуктивного датчика

углового перемещения коленчатого вала двигателя, устанавливаемого напротив зубчатого венца маховика. Сигналы с датчиков при работе двигателя на различных режимах регистрировались с помощью USB осциллографа (рис. 1).

Осциллографы позволяют решать широкий спектр задач.

Используя всю мощь компьютера, с применением математического аппарата — устройство позволяет решать измерительные задачи практически любой сложности: это настройка, наладка, ремонт аппаратуры, научные эксперименты, регистрация сигналов с различных датчиков и др.



Рис. 1. Универсальный USB осциллограф

Возможности:

- просмотр записанного сигнала на мониторе;
- проведение маркерных измерений основных параметров сигнала: амплитуды, длительности, частоты;
- увеличение интересующей части сигнала;
- наличие предыстории — просмотр части сигнала, которая предшествовала синхроимпульсу;
- проведение спектрального анализа;
- возможность анализа сигналов в частной области с помощью быстрого преобразования Фурье.

Общие характеристики универсального USB осциллографа:

- частота дискретизации от 50 МГц до 5 ГГц;
- полоса входного сигнала до 300 МГц;
- количество входных каналов от 2 до 32;
- объем ОЗУ от 256 Кбайт до 32 Мбайт;
- динамический диапазон входных напряжений от 42 дБ (8 разрядов) до 84 дБ (14 разрядов).

Любая механическая аппаратура впрыскивания топлива в дизеле на основе многоплунжерных ТНВД в исправном состоянии имеет типичную осциллограмму давления в топливопроводе.

На рис. 2 представлена осциллограмма давления в топливопроводе высокого давления по углу поворота коленчатого вала при исправной топливной аппаратуре. На ней видны характерные точки давления, которые при определенных углах поворота коленчатого вала характеризуют исправность топливной аппаратуры. Давление P_1 показывает момент впрыска топлива и регулировку форсунки на давление впрыска. Давление P_2 характеризует состояние плунжерной пары ТНВД. Снижение его до определенного уровня говорит об ее износе. Остаточное давление P_3 в топливопроводе форсунки характеризует состояние конуса запорной иглы распылителя форсунки и нагнетательного клапана секции ТНВД. Углы α_1 , α_2 и α_3 характеризуют соответственно угол впрыска топлива, продолжительность впрыска и геометрический угол начала подачи топлива. Перечисленные углы показывают состояние регулировок топливоподающей аппаратуры, а именно:

- угол впрыска, характеризует регулировку и работоспособность форсунки;
- продолжительность впрыска, характеризует регулировку зазора и состояние кинематической пары кулачковый вал — толкатель ТНВД;
- геометрический угол начала подачи топлива показывает установочный угол подачи в ТНВД.

Для проверки работоспособности муфты опережения впрыска угол начала подачи измеряется по всему диапазону частоты вращения двигателя.

Справа в конце графика видны незначительные всплески давления. Они возникают в результате волнового процесса в контуре высокого давления. Возникновение волны давления объясняется тем, что вопреки общепринятому мнению, топливо при высоком давлении является сжимаемым. Скорость волнового процесса может достигать 1500 м/с. Эти паразитные скачки давления гасит разгрузочный пояс нагнетательного клапана секции ТНВД.

Нарушение его герметичности приводит к значительным колебаниям давления, которое может вызывать подвпрыски топлива в форсунке и, как следствие, привести к перегреву распылителя форсунки, закоксовыванию его отверстий и потере подвижности запорной иглы.

Таким образом, имея осциллограммы топливоподачи исправной системы и имеющей различные неисправности можно с высокой достоверностью определять ее работоспособность. Однако для анализа осциллограмм необходима высокая квалификация специалиста по техническому диагностированию. Обучение таких специалистов требует времени и материальных затрат. Решение вопроса лежит в создании нейросетевой модели (персептрона), способной распознавать неисправности топливоподающей системы по осциллограммам изменения давления внутри нее по углу поворота коленчатого вала. Для реализации такого персептрона необходимо использование матрицы размерности $(m \times n)$, которая бы небольшими фиксированными площадями покрывала размер экрана осциллографа. График давления в топливопроводе по углу поворота коленчатого вала, проходя через некоторые фиксированные площади матрицы экрана осциллографа, формирует в них сигнал логической единицы, при этом в остальных площадках формируется сигнал логического нуля. Так формируется матрица входных сигналов $X_{11} \dots X_{mn}$ (рис. 2). Согласно формуле (1) математический нейрон выполняет суммирование входных сигналов X_{mn} , помноженных на синаптические веса W_{mn} , после чего результат суммирования S_i сравнивается с порогом чувствительности θ и вырабатывается выходной сигнал Y_i .

$$S_i = \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} W_{mn} X_{mn}, \quad (1)$$

где X_{mn} — входные сигналы нейронной сети (персептрона); W_{mn} — синаптические веса входных сигналов.

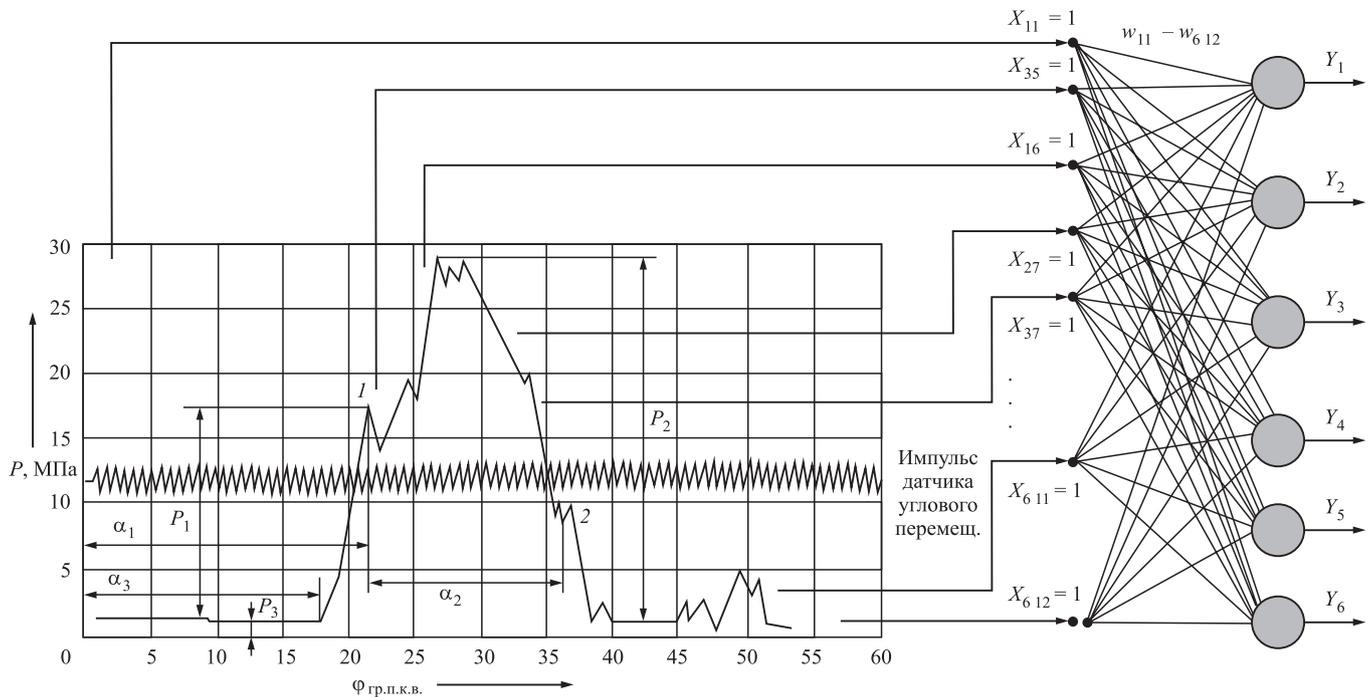


Рис. 2. График изменения давления впрыскивания форсунки по углу поворота коленчатого вала и персептрона, распознающего неисправности топливной аппаратуры:

I — момент начала впрыскивания топлива; 2 — момент окончания впрыскивания топлива; P_1 — давление начала впрыскивания топлива, МПа; P_2 — максимальное давление впрыскивания топлива, МПа; P_3 — остаточное давление в топливопроводе форсунки, МПа; α_1 — угол начала впрыскивания топлива, град. п.к.в.; α_2 — продолжительность впрыскивания топлива, град. п.к.в.; α_3 — угол начала подачи топлива, град. п.к.в.; $X_{11}-X_{612}$ — входные сигналы нейронной сети; $W_{11}-W_{612}$ — синоптические веса нейронной сети; Y_1-Y_6 — выходные сигналы нейронной сети

$$Y_i = \begin{cases} 1, & \text{если } S_i \geq \theta \\ 0, & \text{если } S_i < \theta \end{cases}, \quad (2)$$

где S_i — сумма входных сигналов X_{mn} матрицы, умноженных на их веса W_{mn} для одного из нейронов.

Первоначальные значения синоптических весов W_{mn} и порога чувствительности θ задаются произвольно датчиком случайных чисел, поэтому на выходе персептрона случайным образом вырабатывается сигнал: либо ноль, либо единица.

Далее проводят обучение персептрона. Для этого подбирают значения синоптических весов W_{mn} такими, чтобы выходной сигнал Y_i принимал значение единица, если график давления топливоподающей системы проходит через некоторые фиксированные площади экрана осциллографа, сформированные матрицей и ноль в остальных фиксированных площадях экрана.

Следуя этой идее, можно сформулировать итерационный алгоритм корректировки синоптических весов, обеспечивающий обучение персептрона в нужном направлении.

Шаг 1. Датчиком случайных чисел всем синоптическим весам W_{mn} и порогу чувствительности нейрона θ присвоить некоторые малые случайные значения.

Шаг 2. Предъявить персептрону какой-либо график. Системой сканирования экрана осциллографа выработать входной вектор X_{mn} .

Шаг 3. Нейроны персептрона выполняют взвешенное суммирование входных сигналов X_{mn} и установят выходные сигналы $y_i = 1$, если $S_i \geq \theta$, или $y_i = 0$, если $S_i < \theta$.

Шаг 4.а. Если выходной сигнал правильный, то перейти на шаг 2.

Шаг 4.б. Если выходной сигнал неправильный и равен нулю, то увеличить веса активных входов, добавить каждому mn -му синоптическому весу величину mn -го входного сигнала:

$$W_{mn}(t+1) = W_{mn}(t) + X_{mn}. \quad (3)$$

Тогда, если вход был неактивен, т. е. $X_{mn} = 0$, то mn -й синоптический вес не изменится. Если же вход был активен, т. е. $X_{mn} = 1$, то mn -й синоптический вес увеличится на 1.

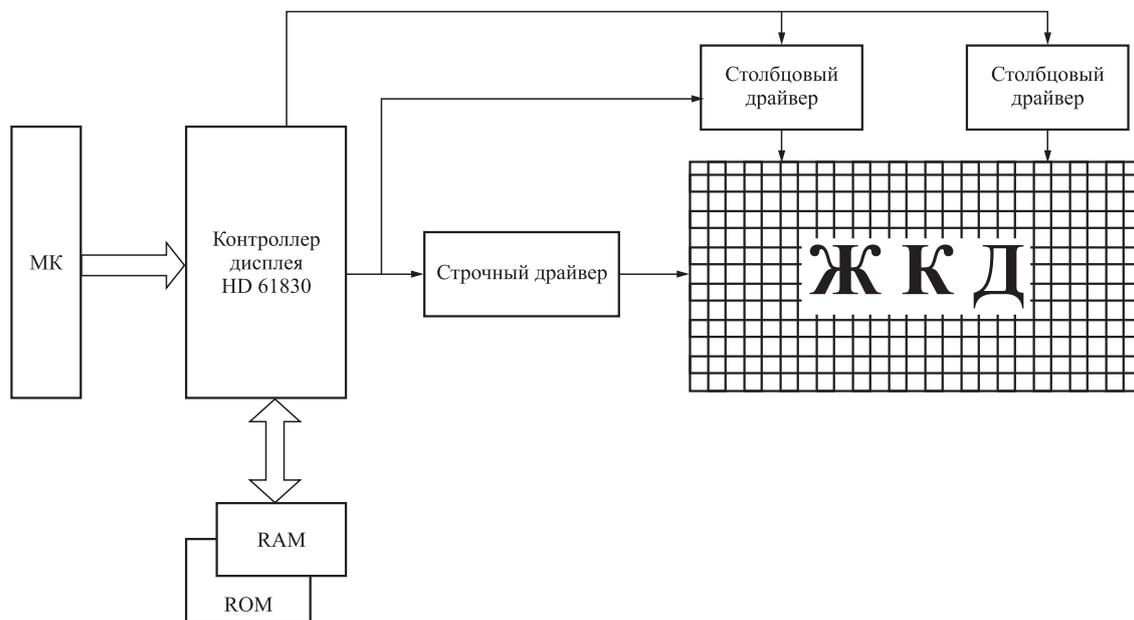


Рис. 3. Конфигурация модуля ЖК-дисплея с контроллером HD 61830:

МК — микропроцессор цифрового осциллографа; ЖКД — жидкокристаллический дисплей осциллографа; RAM — оперативная память дисплейного модуля; ROM — постоянная память дисплейного модуля

Здесь и далее буква t означает номер итерации, которые в искусственном интеллекте называют эпохами; $W_{mn}(t+1)$ — новое значение (на новой эпохе) mn -го синоптического веса; $W_{mn}(t)$ — его старое значение (на предыдущей эпохе).

Шаг 4.в. Если выходной сигнал неправильный и равен единице, то необходимо уменьшить веса активных входов, например с помощью аналогичной формулы:

$$W_{mn}(t+1) = W_{mn}(t) - X_{mn}. \quad (4)$$

Шаг 5. Перейти на шаг 2 или завершить процесс обучения.

В приведенном алгоритме шаг 4.б является первым правилом Хебба, а шаг 4.в — вторым правилом Хебба, названного в честь канадского ученого-физиолога Д. О. Хебба, предложившего этот алгоритм в 1949 г. [4]. Отметим, что правила Хебба позволяют обучать перцептрон за конечное число попыток и может привести к цели — перцептрон в конце концов усвоит необходимые знания, закодирует их в виде конкретных значений матрицы сил синоптических связей W_{mn} и, таким образом, научится различать неисправности топливной системы по осциллограммам давления.

Естественно возникает вопрос, всегда ли алгоритм обучения перцептрона приводит к желаемому

результату. Ответ на этот вопрос дает теорема сходимости перцептрона.

Если существует множество значений весов, которые обеспечивают конкретное различение образов, то в конечном итоге алгоритм обучения перцептрона приводит либо к этому множеству, либо к эквивалентному ему множеству, такому что данное различение образов будет достигнуто.

В нашем случае перцептрон имеет шесть нейронов, которые формируют следующие основные неисправности топливной системы:

- Y_1 — износ нагнетательного клапана ТНВД;
- Y_2 — износ плунжерной пары ТНВД;
- Y_3 — поломка пружины толкателя;
- Y_4 — засорение, закоксовывание сопловых отверстий распылителя форсунки;
- Y_5 — нарушение подвижности иглы распылителя;
- Y_6 — пониженное давление впрыска топлива.

Матрица входных сигналов $X_{6 \times 12}$ размерностью (6×12) представляет собой площадь дисплея осциллографа, разделенного на 72 прямоугольника.

Столько же синоптических связей $W_{6 \times 12}$ будет иметь перцептрон с шестью нейронами, который необходимо обучить для распознавания шести основных неисправностей для топливоподающей системы.

Для сканирования ЖК-дисплея осциллографа используются контроллер со строчным и столбцовыми драйверами. Конфигурация модуля ЖК-дисплея показана на рис. 3.

Контроллер дисплея управляет строчным и столбцовыми драйверами для индикации на экране дисплея информации из оперативной памяти матрицы, в которой записаны данные о давлении в топливоподающей системе в виде массива. Эти данные и обрабатываются перцептроном для распознавания неисправностей в топливоподающей системе.

Таким образом, электронный осциллограф с ЖК-дисплеем, оснащенный дополнительной программой, реализующей разработанный перцептрон, позволит преобразовать его в диагностический прибор. Программа обучения перцептрона выполнена в пакете прикладных программ Statistica 7.0. Анализ результатов обработки осциллограмм перцептроном показывает достоверность получения данных о состоянии топливной аппаратуры в размере 95 %.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Кузнецов А. С.** Автомобили КамАЗ с колесной 6×4 и 6×6. Руководство по эксплуатации, техническому обслуживанию и ремонту. — М.: Издательский Дом Третий Рим, 2007. — 268 с.
2. **Костин А. К. и др.** Работа дизелей в условиях эксплуатации. — Л.: Машиностроение. Ленинградское отделение, 1989. — 283 с.
3. **Медведев В. С., Потемкин В. Г.** Н-нейронные сети. MATLAB 6. — М.: Диалог-МИФИ, 2002. — 496 с.
4. **Боровиков В. П.** Нейронные сети. *STATISTICA Neural Networks*: Методология и технологии современного анализа данных. 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Горячая линия — Телеком, 2008. — 392 с.
5. **Дунаев А. В., Соловьев С. А.** Исследование диагностических параметров, разработка методов и средств их контроля для совершенствования диагностирования и технического обслуживания МТП АПК. — М.: ГОСНИТИ, 2014. — 360 с.

ЧЕТРА в Крыму

В Симферополе компания "ЧЕТРА-ПМ" и ее официальный дилер "Карьерные машины" впервые на Крымском полуострове представили отечественную технику ЧЕТРА на базе Крымской железной дороги.

Главным событием дня стали показательные учения, которые прошли на железнодорожной станции "Симферополь-Грузовой": представители Крымской железной дороги провели оперативные ремонтно-восстановительные работы с использованием 62-тонного бульдозера ЧЕТРА Т35.

"Мы применяем такую мощную технику в чрезвычайных ситуациях: бульдозер должен подтащить под кран восстановительного поезда вагон или груз — все то, что мешает нормальной жизнедеятельности железной дороги. Например, сегодня на учениях мы показали, как бульдозер ЧЕТРА Т35 подтянул к путям сошедшую с рельсов цистерну, — комментирует Василий Баранов, заместитель генерального директора КЖД, главный ревизор по безопасности движения. — К сожалению, аварии на железной дороге случаются, в такие моменты без тяжелой техники не обойтись".

Оперативную поставку для крымчан осуществило ООО "Карьерные машины", официальный дилер техники ЧЕТРА. Полина Пестрикова, директор компании, отметила потенциал для отечественной техники в регионе: "Сейчас на полуострове Крым открываются перспективы для нас и для техники ЧЕТРА. Мы видим поток инвестиций, строительство новых дорог, реализацию интересных проектов. И для всего этого нужна современная и доступная техника. Именно поэтому руководство КЖД приняло решение о приобретении бульдозера ЧЕТРА Т35".

Гости мероприятия не только смогли посмотреть на бульдозер ЧЕТРА Т35 в деле, но и сами поучаствовать в тест-драйве одной из самых крупных моделей бульдозерной техники ЧЕТРА. Благодаря передовым конструкторским и технологическим решениям бульдозер ЧЕТРА Т35 имеет большую производительность и успешно эксплуатируется в различных областях.

Пресс-служба компании ЧЕТРА

ГОРОДСКОЙ ПАССАЖИРСКИЙ НАЗЕМНЫЙ ТРАНСПОРТ

УДК 656.13

А. А. Меркулов, аспирант, e-mail: mark.ovka@mail.ru, **А. В. Шемякин**, д-р техн. наук, доцент, e-mail: shem.alex62@yandex.ru, **В. В. Терентьев**, канд. техн. наук, доцент, РФ, e-mail: vvt62ryazan@yandex.ru, **К. П. Андреев**, канд. техн. наук, доцент, e-mail: kosta066@yandex.ru, ФГБОУ ВО "Рязанский государственный агротехнологический университет имени П. А. Костычева" г. Рязань, РФ

ОБЩИЕ АСПЕКТЫ В РАЗРАБОТКЕ ПРОЕКТА ОРГАНИЗАЦИИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ

Повышение эффективности работы транспорта и качества обслуживания населения в перевозках может достигаться при рациональной организации дорожного движения, что способствует сокращению времени доставки пассажиров, числа дорожно-транспортных происшествий, повышению уровня безопасности дорожного движения и снижению автомобильных заторов и негативного воздействия транспортных средств на окружающую среду. Для того чтобы успешно решать транспортные проблемы, необходима разработка проекта организации дорожного движения.

Ключевые слова: разработка, транспорт, маршрутная сеть, безопасность, мониторинг, проект, документы.

Improving the efficiency of transport and quality of transport services can be achieved with the rational organization of traffic, which helps to reduce the time of delivery of passengers, the number of road accidents, improve road safety and reduce traffic congestion and the negative impact of vehicles on the environment. In order to successfully solve transportation problems, it is necessary to develop a project for organizing traffic.

Keywords: development, transport, route network, security, monitoring, project, documents.

Для решения транспортных проблем в больших и средних городах Российской Федерации нужно применять программные комплексы в сфере организации дорожного движения, повышения эффективности работы транспорта и повышать качество обслуживания населения на пассажирском транспорте, внедрять автоматизированные системы мониторинга на автомобильном транспорте, а также разрабатывать проекты организации дорожного движения, которые позволят устранить существующие проблемы в транспортной городской сети [1–3]. К основным существующим проблемам относятся:

- низкий уровень безопасности дорожного движения;
- перегрузка дорожных сетей;
- увеличение числа дорожно-транспортных происшествий (ДТП);
- снижение производительности работы городского пассажирского транспорта;
- ухудшение экологической обстановки.

Разработка проекта по организации дорожного движения в основном состоит из трех этапов:

Первый этап заключается в сборе и систематизации официальных документарных, технических и других данных, необходимых для разработки проекта. После сбора всей необходимой информации выполняются следующие аналитические работы [4]:

- анализ исходных данных;
- внесение исходных данных в автоматизированный банк дорожных данных;
- согласование проведения полевых работ и получение необходимых разрешений;
- определение организаций, согласующих проектные решения ОДД [5].

Также проводится подготовка натуральных обследований: составляется и уточняется план и график проведения полевых работ, производится диагностика оборудования передвижной дорожной лаборатории. Согласование сроков и видов работ на автодорогах федерального значе-

ния осуществляется соответствующими отделами ГИБДД, а на территориях и автодорогах с особым режимом — с соответствующими территориальными подразделениями ведомств, установивших режим [6].

На втором этапе происходят полевые работы, включающие в себя проведение панорамной видеосъемки автодорог с проведением замеров геометрических параметров обследуемых автодорог. Проведение замеров геометрических параметров обследуемых автодорог проводится автоматически во время проезда передвижной дорожной лаборатории по автодороге на скорости замера. Дорожная обстановка и объекты инфраструктуры заносятся оператором в базу данных с помощью специальной клавиатуры. Панорамная видеосъемка осуществляется автоматически во время проезда передвижной дорожной лаборатории по дороге с заданными интервалами получения панорам. Полученные с видеокамеры панорамы с привязкой по километражу (по данным от датчика пройденного пути) и географическим координатам от системы МИНС накапливаются в базе данных. Операторами передвижной дорожной лаборатории проводится предварительная обработка результатов измерений в целях создания файлов в формате, необходимом для занесения данных в АБДД для дальнейшей камеральной обработки [7, 8].

Третий этап предусматривает разработку проекта организации дорожного движения на период эксплуатации дорог или их участков, которая включает в себя перенос данных и видеоинформации замеров в АБДД "Титул-2005", полный анализ полученных данных, профессиональные решения дорожных ситуаций, формирование всех необходимых отчетных документов, определение стоимости работ по нанесению линий разметки, установке знаков и т. п., разработку проектов знаков индивидуального проектирования и другое [9, 10]. Внесение результатов полевых работ в АБДД предполагает несколько этапов:

— конвертация данных из локальной базы данных передвижной дорожной лаборатории в формат конвертора АБДД (используется программное обеспечение "Дорога-ПРО" передвижной дорожной лаборатории);

— перенос геометрических данных с использованием модуля "Администратор" АБДД "Титул-2005";

— перенос данных полевого журнала (ситуация на дороге) в АБДД "Титул-2005" с использованием модуля "Администратор";

— перенос видеоинформации замеров в АБДД "Титул-2005" с помощью модуля "Видеобанк".

Уточнение дорожной ситуации на основании панорамной видеосъемки с занесением в АБДД геометрических параметров характерных точек и объектов, существующих технических средств организации дорожного движения (ТС ОДД), объектов транспортной инфраструктуры (АЗС, СТО, остановочных пунктов, мостовых сооружений, пешеходных переходов в разных уровнях, тротуаров, велосипедных дорожек) [11].

Уточнение дорожной ситуации на основании панорамной видеосъемки происходит в несколько этапов:

— приведение в соответствие данных, полученных при предварительном анализе информации, и данных, полученных в результате замеров, происходит с помощью модуля "Оператор" из состава программного комплекса АБДД "Титул-2005";

— проверка и уточнение геометрических параметров дороги и размещение ТС ОДД и объектов инфраструктуры, полученных из полевого журнала, с использованием модуля "Видеобанк" программного комплекса АБДД "Титул-2005".

Разработка данного проекта позволит обеспечить безопасность дорожного движения, повысить пропускную способность автодорог и эффективность их использования, упорядочить и улучшить условия дорожного движения транспортных средств и пешеходов, предупредить возникновение заторовых ситуаций в условиях продолжающегося роста уровня автомобилизации с минимальными экономическими потерями и максимальной безопасностью (снижение аварийности и негативного воздействия на окружающую среду и здоровье населения) [12, 13].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Колесникова Т. О., Митюгин В. А. Особенности перспективного планирования работы маршрутных транспортных систем городов // Альтернативные источники энергии в транспортно-технологическом комплексе: проблемы и перспективы рационального использования. 2016. Т. 3. № 3 (6). С. 145—151.
2. Андреев К. П., Терентьев В. В., Агуреев И. Е. Разработка мероприятий по оптимизации городской маршрутной сети // Грузовик. — 2017. — № 8 — С. 6—9.
3. Андреев К. П., Терентьев В. В. Пассажирские перевозки и оптимизация городской маршрутной сети // Мир транспорта. — 2017. — Т. 15. — № 6 (73). — С. 156—161.

4. **Андреев К. П., Свистунова А. Ю., Терентьев В. В.** Основные этапы подготовки проекта организации дорожного движения // Транспортное дело России. — 2018. — № 2. — С. 129—131.
5. **Терентьев В. В., Киселев В. А., Андреев К. П., Шемякин А. В.** Мероприятия по совершенствованию организации дорожного движения // Транспортное дело России. — 2018. — № 3. — С. 133—136.
6. **Андреев К. П., Терентьев В. В., Шемякин А. В.** Натурное обследование с помощью передвижной дорожной лаборатории // Бюллетень транспортной информации. — 2018. — № 4 (274). — С. 16—19.
7. **Евтеева А. С., Андреев К. П., Шемякин А. В., Терентьев В. В.** Обследование городской транспортной сети с применением измерительного комплекса // Транспортное дело России. — 2018. — № 1. С. 132—134.
8. **Агуреев И. Е., Митюгин В. А., Фролов Н. А.** Проблемы и перспективы развития автоматизированных систем управления дорожным движением // В сборнике: Проблемы исследования систем и средств автомобильного транспорта Материалы Международной очно-заочной научно-технической конференции. — 2017. — С. 304—310.
9. **Терентьев В. В., Андреев К. П.** Моделирование загрузки транспортной сети // Бюллетень транспортной информации. — 2017. — № 9. — С. 21—23.
10. **Агуреев И. Е., Митюгин В. А., Пышный В. А.** Подготовка и обработка исходных данных для математического моделирования автомобильных транспортных систем // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. — 2014. — № 6. — С. 119—127.
11. **Андреев К. П., Терентьев В. В., Шемякин А. В.** Применение дорожного энергопоглощающего ограждения для повышения безопасности движения // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. — 2018. — № 1. — С. 5—12.
12. **Дорохин С. В., Терентьев В. В., Андреев К. П.** Безопасность на дорогах: проблемы и решения // Мир транспорта и технологических машин. — 2017. — № 2. — С. 67—73.
13. **Дорохин С. В.** К вопросу повышения эффективности средств организации дорожного движения // Современные автомобильные материалы и технологии: сборник статей VI Международной научно-технической конференции. — 2014. — С. 180—183.

По программе субсидирования лизинга

Стартовала программ льготного субсидирования лизинга строительно-дорожной и коммунальной техники, по которой в августе прошла первая поставка техники ЧЕТРА.

Первопроходцем программы субсидирования лизинга стал новый бульдозер ЧЕТРА Т11, отгруженный 15 августа в город Саранск на предприятие ООО "Мордовстройтехника". Компания получила бульдозер через лизинговую компанию "Балтийский лизинг". Машина уже успешно работает на участке ООО "Мордовцемент" по договору оказания услуг спецтехники.

Выбор универсального 20-тонного бульдозера ЧЕТРА Т11 в лизинг не случаен — бульдозер зарекомендовал себя среди эксплуатирующих компаний как надежная машина, достойно выдерживающая испытания сложными условиями эксплуатации.

ЧЕТРА Т11 может похвастаться своей маневренностью, которая достигнута с помощью электрогидравлического управления трансмиссией, реализованного, в свою очередь, при помощи контроллера и пульта в кабине оператора.

Предусмотрены и комфортные условия работы: микроклимат в кабинах, оснащенных двойными стеклопакетами, обеспечивают кондиционер, а также зависимый и независимый отопители. В стандартной комплектации бульдозер ЧЕТРА Т11 оснащен системой онлайн-мониторинга на базе ГЛОНАСС, а также опционально может быть оснащен системой нивелирования.

Специалисты АО "ЧЕТРА-ПМ" уверены, что приобретение техники ЧЕТРА в лизинг — выгодное бизнес-решение и грамотное распределение затрат по времени, которое позволяет нарастить производственные мощности предприятия, не изымая оборотных средств.

Технику ЧЕТРА производства "Чебоксарского завода промышленных тракторов" (ОАО "Промтрактор") и ОАО "САЭКС" можно приобрести по программе льготного субсидирования лизинга, которая работает в соответствии с постановлением Правительства РФ № 518 "Субсидирование лизинга строительно-дорожной, коммунальной и прицепной техники", вступившим в силу 3 мая 2017 г.

Пресс-служба компании ЧЕТРА

ТРАНСПОРТНЫЙ КОМПЛЕКС

УДК 656.135+004.942

А. Н. Якубович, д-р техн. наук, И. А. Якубович, д-р техн. наук, МАДИ

E-mail: yakubovich_irina@mail.ru

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЙ ГРУЗОВОГО АВТОТРАНСПОРТА НА ДОРОЖНУЮ СЕТЬ КРИОЛИТОЗОНЫ РОССИИ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

Предложена методика, позволяющая количественно оценить функциональность автодорожной сети на территориях распространения вечномерзлых и многолетнемерзлых грунтов. Показано, что в условиях продолжающегося повышения температуры воздуха происходит сверхнормативное оттаивание грунта в основаниях автодорог, и под нагрузкой, создаваемой грузовыми автотранспортными средствами, образуются просадки дорожного профиля и деформации дорожного полотна. Методами имитационного моделирования получены количественные оценки для ожидаемого снижения функциональности автодорог в новых климатических условиях, а также определены относительные показатели для негативных последствий от климатических изменений. Рассмотрены три сценария изменения климата: повышение температурной контрастности, потепление и сочетание потепления с повышением контрастности. Последний сценарий характеризуется наибольшим прогнозируемым снижением функциональности автодорог с основанием из влажных глинистых грунтов, вплоть до полной невозможности их эксплуатации уже при потеплении на +2 °С. При наличии в основании автодорог песчаных грунтов, ожидаемые негативные последствия, в случае потепления до +3 °С, составят от 40 до 60 % их максимально возможного значения.

Ключевые слова: автодорожная сеть, криолитозона, изменение климата, грузовые потоки.

The technique allowing to estimate quantitatively functionality of a road network in territories of distribution of permafrost and permafrost soils is offered. It is shown that in the conditions of the continuing increase in air temperature, there is an excess thawing of the soil in the bases of roads, and under the load created by cargo vehicles, the subsidence of the road profile and deformation of the roadway are formed. Quantitative estimates for the expected decrease in the functionality of roads in the new climatic conditions were obtained using simulation methods, as well as relative indicators for the negative consequences of climate change. Three scenarios of climate change are considered: increase of temperature contrast, warming, and combination of warming with increase of contrast. The latter scenario is characterized by the greatest predicted decrease in the functionality of roads with a base of moist clay soils, up to the complete impossibility of their operation already with warming by +2 °C. In the presence of sandy soils at the base of roads, the expected negative consequences, in the case of warming to +3 °C, will be from 40 % to 60 % of their maximum possible value.

Keywords: road network, permafrost, climate change, trucks.

(Рисунки на 2—4 полосах обложки)

Введение

В настоящее время процесс изменения климата, в первую очередь выражающийся в поступательном повышении температуры воздуха, является общепризнанным фактом. На территории России, за 35-летний период инструментальных наблюдений за климатом, устойчивая тенденция к потеплению подтверждена с вероятностью более 99 % [1]. Прогнозируемым, и уже в значительной степени наблюдаемым последствием этого

процесса, является ускоренное оттаивание вечномерзлых и многолетнемерзлых грунтов [2, 3], область распространения которых занимает 60—65 % территории России. Инфраструктурные объекты и, в частности, автодорожная сеть на этих территориях, подвергаются возрастающему риску снижения своей функциональности, вплоть до полного разрушения.

Существующая автодорожная сеть является важнейшей, и зачастую безальтернативной, основой для перемещения людей и грузов по обшир-

ным территориям криолитозоны России. Снижение функциональности даже отдельных сегментов этой сети означает существенное затруднение для транспортных потоков и, как следствие, возникновение экономических и социальных проблем в северных регионах страны. Движение грузового автотранспорта, создающего повышенную нагрузку на дорожный профиль, является главным техногенным фактором, способствующим неравномерной осадке дорожного полотна, снижению его эксплуатационных качеств и последующему разрушению. В связи с этим прогнозирование состояния дорожной сети криолитозоны с учетом изменений климата представляет собой важную и актуальную задачу.

Некоторые аспекты оценки функциональной надежности автотранспортных систем и их элементов, применимые в отношении дорожной сети, приведены в [4–7]. Подходы, используемые при оценке и моделировании протяженных технических систем на территориях вечной мерзлоты, показаны, в частности, в [8]. Поскольку сами климатические изменения, очевидно, обладают отчетливо выраженным вероятностным характером, учет их последствий должен осуществляться по результатам стохастического и имитационного моделирования [9, 10]. При этом априорно задаваемыми параметрами являются климатические показатели, соответствующие рассматриваемому сценарию климатических изменений, а основное содержание процесса моделирования составляет определение температурных и связанных с ними прочностных и деформационных характеристик вечномерзлого грунта в основании автодороги. По результатам моделирования на протяжении, как минимум, одного года, становится возможным определить динамику состояния автодорожного профиля и выявить минимальные уровни его функциональности (характеризуемые, например, наибольшими, в течение года, осадками оттаявшего вечномерзлого грунта и соответствующими экстремальными деформациями профиля и дорожного полотна).

Моделирование температурной динамики грунта в основании автодорог криолитозоны

При моделировании температурной динамики грунта предполагается, что теплообмен обусловлен изменениями температурных параметров прилегающего к грунту воздуха, и, соответственно, переносом тепла в грунт или из грунта. В общем

случае конфигурации грунтового массива (рис. 1) имеет место его неоднородность в одном из направлений (на рис. 1, обозначенном осью x), что приводит к необходимости моделирования теплообмена одновременно в направлениях y и x . В результате точки с одинаковыми температурами образуют изогнутые линии (изолинии) в плоскости x – y , и прямые горизонтальные линии в плоскости y – z . Таким образом, все сечения трехмерного грунтового массива плоскостью x – y в любой конкретный момент времени будут описываться одинаковыми температурными изолиниями. Соответственно, температурная характеристика грунта не зависит от координаты z , что достаточно очевидно для грунтового массива, образующего прямолинейный дорожный профиль (рис. 1) (координата z здесь определяет местоположение вдоль дороги).

Выделяется 4 типа расчетных элементов, определяющих особенности теплообмена между соседними элементами.

1. Основной грунт в массиве; для каждой ячейки возможно как поступление тепла, так и теплоотдача.

2. Грунт на границе рассматриваемого сечения x – y грунтового массива. Для левой и правой границ массива температура принимается равной температуре соседних с ней ячеек основного грунта. Соответственно, для минимизации влияния "эффекта термоса" вертикальные границы моделируемого грунтового массива должны располагаться достаточно далеко от любых горизонтальных неоднородностей (выступающего над поверхностью дорожного профиля или расположенных в грунте элементов инженерных сооружений). Грунт на нижней горизонтальной границе предполагается имеющим постоянную температуру, которая не меняется в процессе теплообмена с вышележащими элементами; таким образом учитывается бесконечно большая тепловая инерция глубоко расположенных вечномерзлых толщ грунта. Глубина моделирования (H на рис. 1) при этом должна быть на уровне глубины затухания сезонного изменения температур в грунте.

3. Воздух, соприкасающийся с верхней границей грунтового массива. Изменение температуры воздуха учитывается в соответствии с ее суточным и годовым ходом, на который теплообмен между воздухом и грунтом влияния не оказывает.

4. Не расчетные элементы (воздух, не соприкасающийся с грунтом). Наличие элементов этого типа обусловлено прямоугольной формой области моделирования, в которой появляются элементы, не участвующие в теплообмене.

При моделировании теплообмена он рассматривается по поверхностям соприкасающихся элементов, в направлениях x и y . Поскольку изменение температуры моделируется только для ячеек с основным грунтом, возможны три варианта теплообмена, учитываемого при моделировании.

Между двумя ячейками основного грунта (вариант 1) количество тепла Q , переносимого за время ΔT (период, в течение которого все параметры расчетных элементов считаются неизменными):

$$Q = \frac{0,5(\lambda_1 + \lambda_2)}{\delta_{x/y}} (t_1 - t_2) \delta_{y/x} \delta_z \Delta T, \quad (1)$$

где λ_1 и t_1 — зависящая от температуры теплопроводность грунта и температура для элемента 1; λ_2 и t_2 — то же для элемента 2; $\delta_x, \delta_y, \delta_z$ — размеры расчетного элемента в соответствующих направлениях, м. При этом $Q > 0$ соответствует отдаче тепла более нагретым элементом 1, а $Q < 0$ — соответственно, получению им тепла от элемента 2.

Перенос тепла между основным грунтом и грунтом на вертикальной границе (вариант 2) рассчитывается по (1), после чего температура граничного элемента принимается равной температуре элемента, соседнего с ним в направлении x .

Теплообмен между основным грунтом и соприкасающимся с ним воздухом (вариант 3) моделируется на основе зависимости:

$$Q = 18v^{0,578} (t_g - t_a) \delta_x \delta_z \Delta T, \quad (2)$$

где v — средняя скорость ветра на протяжении периода ΔT , м/с, определяемая на основе многолетних результатов инструментальных наблюдений; t_g и t_a — температура грунта и воздуха соответственно. Отдаче тепла элементом грунта соответствует $Q > 0$, а получению им тепла, соответственно, $Q < 0$.

Особым вариантом теплообмена является отвод тепла от грунта, осуществляемый с использованием специальных технических устройств — термостабилизаторов. В настоящей работе наличие термостабилизаторов не рассматривалось.

Методика оценки снижения функциональности дорожной сети

Основным содержанием процедуры оценки последствий климатических изменений является определение критериальных показателей, характеризующих функциональность сегмента дорожной сети в различных (прогнозных) климатических условиях, выявление ожидаемых негативных последствий (ущерба) как следствия снижения

функциональности этого сегмента, и получение количественных оценок этих последствий.

Общий перечень критериальных показателей, по значениям которых можно судить о функциональности дорожной сети, достаточно широк. В то же время должна существовать и быть известной зависимость между одним или несколькими климатическими параметрами, изменение которых предполагается, и величиной принятого критериального показателя, причем эта зависимость должна быть выражена в количественной форме, пригодной для численного моделирования. Данное требование, по состоянию наших знаний на настоящий момент времени, сильно сужает перечень критериальных показателей, по которым возможно получение количественных оценок последствий климатических изменений. Для объектов транспортной инфраструктуры в криолитозоне наиболее пригодными критериальными показателями могут считаться те, которые функционально связаны с физико-механическими характеристиками вечномерзлого грунта в основании рассматриваемого объекта. Для сегментов дорожной сети основным критериальным показателем является осадка грунта в основании автодороги, появление которой приводит к неравномерному оседанию дорожного профиля, возникновению дефектов дорожного полотна, затруднению или полному прекращению движения грузового автотранспорта по поврежденному участку.

При оценке функциональности участка автодороги целесообразно использовать показатель U , значения которого могут изменяться в интервале от 0 (что интерпретируется как полная невозможность эксплуатации) до 1 (максимально возможный уровень функциональности). Поскольку возможная осадка грунта в основании дороги варьируется в более широких границах, необходимо зафиксировать зависимость $U(K)$ (рис. 2).

График, отражающий зависимость $U(K)$, состоит из трех участков, два из которых соответствуют экстремально возможным уровням функциональности $U = 0$ и $U = 1$, а третий соответствует переходной области. Протяженность этой области по оси значений K определяется величиной запаса Δ , которая задается в абсолютных единицах. Переходная область может быть задана любой монотонной функцией; в настоящей работе рассматривалась прямолинейная зависимость.

Снижение функциональности дорожного сегмента U проявляется в увеличении затрат времени и ресурсов на его преодоление, что количественно оценивается с помощью показателя $D(U)$ —

величины негативных последствий от изменения климата. В простейшем случае для описания $D(U)$ можно использовать зависимость:

$$D = 1 - U, \quad (3)$$

когда значение $D = 0$ соответствует уровню функциональности $U = 1$ (в условиях существующего климата, принятого при проектировании и строительстве автодороги), а $D = 1$ является максимально возможным значением негативных последствий при нулевой функциональности соответствующего дорожного сегмента.

Глубина оттаивания, как материала дорожного профиля, так и грунта в его основании, очевидно, изменяется в течение года; одновременно меняются параметры U и D . При определении последствий от изменений климата принимаются во внимание наименьшие уровни функциональности (и соответствующие им максимальные значения D), ожидаемые в течение среднестатистического года. Процедура прогнозирования влияния климатических изменений на состояние дорожной сети включает в себя следующие основные этапы.

1. Фиксирование геометрических размеров дорожного профиля (рис. 1), физико-механических параметров грунта в его основании, климатических показателей для текущего и прогнозного состояния климата.

2. Выполнение моделирования температурного состояния грунтового массива (на основе (1) и (2)) на протяжении 2 лет при текущем и прогнозируемом климате; определение максимальных, в течение этого периода, глубин оттаивания грунта и величины его дополнительного оттаивания при наступлении рассматриваемых климатических изменений.

3. Вычисление, исходя из нагрузки на дорожное полотно от движущегося грузового автотранспорта, осадки сверхнормативно оттаявшего грунта в основании автодороги, определение зависящих от осадки показателей функциональности U и прогнозируемой величины негативных последствий D (в относительных единицах).

Результаты численного моделирования последствий климатических изменений

Основным климатическим параметром, характеризующим интенсивность климатических изменений, являлось повышение температуры воздуха δt . Было рассмотрено три возможных сценария изменения климата, для каждого из которых величина δt интерпретировалась по-разному.

1. *Повышение температурной контрастности климата.* В этом случае δt отражает возрастание

температур воздуха в течение периода, когда они положительны (вторая половина весны, лето, начало осени). Отрицательные температуры воздуха при этом понижаются до значений, обеспечивающих неизменность среднегодовой температуры.

2. *Потепление.* При этом сценарии температура воздуха в течение всего года считалась возросшей на величину δt .

3. *Потепление в сочетании с повышением контрастности климата.* Температура воздуха в течение года увеличивается на δt , после чего среднегодовая температура также оказывается возросшей на такую же величину. Далее положительные температуры повышаются еще на δt , а отрицательные понижаются аналогично первому сценарию.

Нагрузка на дорожное полотно от движущегося грузового автотранспорта принималась равной 0,6 МПа. Поскольку осадка грунта, соответствующая текущему климату, считалась полностью выбранной на этапе строительства дороги, принималось $K_0 = 0$ (см. рис. 2). Предельное значение осадки, обусловленной сверхнормативным оттаиванием грунта в основании дороги, составляло $\Delta = 10$ см. Негативные последствия D , согласно (3), были выражены в условных единицах, где $D = 1$ соответствует предельной осадке Δ (вызывающей появление на поверхности дорожного профиля многочисленные хаотично расположенные ямы и выбоины, делающие невозможным эксплуатацию данного дорожного сегмента).

Результаты численного моделирования для первого сценария показаны на рис. 3. Можно видеть, что прогнозируемые последствия существенно зависят как от температурно-климатических особенностей территории, так и от вида и влажности грунта в основании автодороги. Наиболее уязвимыми являются глины и суглинки, особенно влагонасыщенные. В то же время для песчаного грунта и глин низкой влажности, даже при весьма значительном приращении температур воздуха $+3$ °С, относительная величина негативных последствий, как правило, не превосходит 0,25, что свидетельствует о достаточно низкой опасности снижения функциональности дорожной сети криолитозоны при реализации данного сценария климатических изменений.

На рис. 4 приведены прогнозные последствия при потеплении климата. В рамках данного сценария сохраняется существенная зависимость D от климатических особенностей территории, а величина негативных последствий ожидается большей, чем при повышении температурной контрастности климата. Для трех рассмотренных территорий потепление на величину $+3$ °С приводит к практически полному

прекращению функционирования автодорог, расположенных на влажных глинистых грунтах ($D \approx 1$); исключением является территория Чары, где $D \approx 0,75$. Автодороги на песчаных грунтах, несмотря на несколько большее снижение их функциональности, в целом не подвергаются существенной опасности.

Наиболее серьезные последствия прогнозируются при сочетании потепления с повышением температурной контрастности (рис. 5). Даже для песчаных грунтов ожидаются значения $D = 0,4–0,6$, что означает заметное снижение функциональности дорожной сети. В случае же глинистых грунтов функциональность в большинстве случаев снижается до нуля, уже начиная с интенсивности климатических изменений на уровне $\delta t = +2$ °С.

Полученные количественные оценки ожидаемых негативных последствий, особенно по 2 и 3 сценариям климатических изменений, свидетельствуют о необходимости заблаговременного противодействия прогнозируемому снижению функциональности автодорожной сети криолитозоны, с использованием соответствующих инженерных конструкций и организационных мероприятий.

Выводы

1. Нагрузка от перемещения грузового транспорта по автодорожной сети криолитозоны способствует существенному снижению ее функциональности в условиях прогнозируемых климатических изменений и вызываемого ими сверхнормативного оттаивания вечномерзлых грунтов в основании автодорог. Наиболее опасным сценарием этих изменений является сочетание потепления и повышения температурной контрастности; при этом сценарии максимально возможные негативные последствия, сопряженные с полной утратой функциональности дорожной сети, для влажных глинистых грунтов прогнозируются уже при повышении температуры на +2 °С. При повышении температуры воздуха до +3 °С при наличии песчаных грунтов ожидаются негативные последствия на уровне 0,4–0,6 их максимально возможной величины.

2. С целью поддержания функциональности дорожной сети на достаточном уровне и соответствующего снижения негативных последствий от климатических изменений, необходимо заблаговременно разрабатывать и осуществлять комплекс инженерно-технических мероприятий, направленных на стабилизацию температурного режима вечномерзлого грунта в основаниях автодорог криолитозоны.

3. Методика прогнозирования функциональности автодорожной сети криолитозоны, основанная на моделировании температурного режима

вечномерзлого грунта в основании дороги, в целом позволяет получать адекватные количественные оценки как для эксплуатационного состояния, так и для ожидаемых негативных последствий от климатических изменений. Дальнейшее совершенствование методики возможно в направлении перехода от безразмерных относительных значений негативных последствий D к экономическим показателям, характеризующим прогнозный ущерб от снижения функциональности дорожной сети.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Груза Г. В., Ранькова Э. Я. Вероятностная оценка наблюдаемых и ожидаемых изменений климата Российской Федерации: температура воздуха // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. — 2011. — Т. 24. — С. 43–70.
2. Хлебникова Е. И., Дацюк Т. А., Салл И. А. Воздействие изменений климата на строительство, наземный транспорт, топливно-энергетический комплекс // Труды главной геофизической обсерватории им. А. И. Воейкова. — 2014. — № 574. — С. 125–178.
3. Егорова Т. П. Влияние климатических изменений на функционирование транспортной системы в арктических районах Якутии // Материалы Пятого Всероссийского научного семинара "Актуальные проблемы, направления и механизмы развития производительных сил Севера — 2016". — Сыктывкар: Изд-во ООО "Коми республиканская типография", 2016. — С. 147–151.
4. Тимухина Е. Н., Кашеева Н. В. Функциональная надежность — теоретические основы и принципы расчета // Современные проблемы транспортного комплекса России. — 2012. — № 2. — С. 98–108.
5. Якубович А. Н., Якубович И. А. Оценка обеспеченности ведущей функции потока отказов // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). — 2011. — № 1 (24). — С. 16а–21.
6. Кучера Л. Я., Копанев М. В., Федорова Н. В. Моделирование показателей надежности технических систем // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. — 2010. — № 2. — С. 204–208.
7. Якубович А. Н., Якубович И. А. Моделирование влияния времени эксплуатации на надежность автотранспортных систем и их элементов // Грузовик. — 2017. — № 11. — С. 43–47.
8. Оценка безопасности состояния протяженных технических систем, проложенных в криолитозоне с использованием ГИС-приложений / Г. П. Стручкова, Т. А. Капитонова, П. В. Ефремов, К. А. Попов // Хладостойкость. Новые технологии для техники и конструкций Севера и Арктики. Труды Всероссийской конференции с международным участием. — Якутск: Изд. Северо-Восточного федерального университета им. М. К. Аммосова. — 2016. — С. 98–101.
9. Михайлов Г. А. Замечания о практически эффективных алгоритмах численного статистического моделирования // Сибирский журнал вычислительной математики. — 2014. — Т. 17. — № 2. — С. 177–190.
10. Якубович А. Н., Якубович И. А. Эффективный алгоритм численной реализации случайных величин в задачах статистического моделирования надежности технических систем // Интеллект. Инновации. Инвестиции. — 2016. — № 8. — С. 84–89.

УДК 678:666.762.81:666.762.852:621.83.059.1

В. И. Кулик, канд. техн. наук, профессор, e-mail: victor.i.kulik@gmail.com,

А. С. Нилов, канд. техн. наук, доцент, e-mail: alexey.s.nilov@gmail.com, Балтийский государственный технический университет "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, Санкт-Петербург

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В ВЫСОКОНАГРУЖЕННЫХ СИСТЕМАХ СЦЕПЛЕНИЯ "МОКРОГО" ТИПА АВТОТРАНСПОРТНОЙ ТЕХНИКИ

Проведен анализ имеющегося опыта и перспектив применения композиционных материалов с полимерной, углеродной, металлической и керамической матрицами в высоконагруженных узлах сцепления, работающих в условиях смазки ("мокрые" узлы сцепления), транспортной техники. Рассмотрены базовые технологические процессы, составы, эффективные области применения и достигаемые триботехнические характеристики рассматриваемых композитов. Показано, что композиты на основе углеродной и керамической матрицы могут рассматриваться как эффективная альтернатива традиционным фрикционным материалам в высоконагруженных системах сцепления.

Ключевые слова: "мокрые" узлы сцепления, фрикционные материалы, полимерный композит, металло-керамика, углерод-углеродный композиционный материал, керамоматричный композит, триботехнические свойства.

The analysis of existing experience and prospects of application of composite materials with polymer, carbon, metal and ceramic matrices in high-loaded "wet" clutches of transport equipment is carried out. Basic technological processes, compositions, effective fields of applications and achieved tribotechnical characteristics of friction composites are considered. It is shown that composites based on the carbon and ceramic matrix can be considered as an effective alternative to traditional friction materials in highly loaded clutch systems.

Keywords: "wet" clutch nodes, friction materials, polymer composite, cermet, carbon-carbon composite material, ceramic-matrix composite, tribotechnical properties.

Проведенный в данной статье обзор применения композиционных материалов (КМ) в высоконагруженных узлах сцепления "мокрого" типа транспортной техники является продолжением начатого в работе [1] анализа о возможностях и перспективах использования композитов с металлической, полимерной (ПКМ), углеродной (УУКМ) и керамической (КМК) матрицами применительно к аналогичным узлам сцепления "сухого" типа.

Одним из основных преимуществ фрикционных "мокрых" соединений, работающих в масле, по сравнению с "сухими" вариантами узлов сцепления, является их надежность и долговечность, отсутствие частых эксплуатационных регулировок. Это связано с меньшим изнашиванием пар трений, лучшим отводом теплоты от них и большей стабильностью их коэффициентов трения.

Применение смазывания пар трений фрикционного сцепления уменьшает в разы их коэффи-

циент трения, но при этом позволяет почти десятикратно увеличить давление на них и примерно в 2 раза сократить площадь контакта дисков благодаря наличию канавок на их поверхности. При этом при подборе материалов пар трения для "мокрых" узлов сцепления резко снижаются требования к их теплостойкости, но возрастают требования к обеспечению максимального и стабильного коэффициента трения и стойкости их к минеральным маслам.

Тем не менее, как показывает опыт эксплуатации, например, карьерных самосвалов с узлами сцепления "мокрого" типа, наиболее слабыми элементами в гидромеханических передачах, ограничивающими ее надежность и долговечность, являются фрикционы. При переключении передач на поверхностях трения фрикционных элементов возникают тепловые потоки высокой интенсивности, приводящие к нагреву фрикционных дисков, их быстрому износу или короблению, отслаива-

нию фрикционных накладок, разрыву дисков [2]. Кроме того, при жидкостном трении в муфтах сцепления может возникать эрозионное или комбинированное эрозионно-кавитационное изнашивание, поскольку в смазочной среде присутствуют как абразивные частицы износа, так и пузырьки пара и растворенных газов, образующихся вследствие быстрого перемещения твердой поверхности фрикционных дисков в жидкой среде [3].

Эти проблемы ставят перед конструкторами и технологами задачи подбора наиболее эффективных и надежных материалов пар трения, а также крепления фрикционных элементов на их основе (например, накладок) при разработке узлов сцепления высокоэнергетичной транспортной техники.

Для пар трения, работающих в масле, фрикционные диски и накладки делаются практически из тех же материалов, что и для "сухого" трения, но в настоящий момент наиболее распространены металлические, металлокерамические, композиты с полимерной матрицей, листовые (бумажные), статические и динамические коэффициенты трения которых лежат в пределах 0,08...0,20 (таблица).

Фрикционные композиционные материалы на полимерной основе, армированные целлюлозой, стекло-, базальто-, органической (кевларовой) фиброй, а также бумажно-фенольные накладки нашли широкое применение в узлах сцепления "мокрого" типа в зарубежной и отечественной автотехнике.

Способность целлюлозного волокна впитывать масло гарантирует в процессе эксплуатации хоро-

шее охлаждение, долговечность и незначительный износ. Бумажные накладки хорошо притираются и обеспечивают высокий и стабильный коэффициент трения в широком диапазоне скоростей скольжения, практически без схватывания при сцеплении. Однако при высокой энергетике сцепления и, особенно при недостаточной смазке, происходит деструкция фрикционного слоя и его разрушение [2].

Среди волокнисто-армированных фрикционных ПКМ следует выделить композиты со структурой укладки волокна перпендикулярном плоскости скольжения. Такого рода структуры обладают повышенной износостойкостью и коэффициентом трения, а также более высокой теплопроводностью, что также приводит к повышению их эксплуатационного ресурса.

С точки зрения оценки триботехнических и виброакустических характеристик волокнисто-армированных ПКМ по типу используемых волокон наилучшими среди отмеченных выше полимерных фрикционных материалов являются полимерные композиты с ортогонально ориентированными к поверхности трения базальтовыми микроволокнами. Разрушающее напряжение при сжатии таких фрикционных ПКМ не ниже 42 МПа, а длительная термостойкость составляет 300...330 °С. При этом разность между коэффициентами статического и динамического трения в широком нагрузочно-скоростном диапазоне не превышает 0,02 [4].

Среди вышеперечисленных фрикционных материалов в высоконагруженных узлах сцепления

Триботехнические характеристики типовых фрикционных материалов, применяемых в "мокрых" узлах сцепления в паре со стальным (чугунным) контртелом [4]

Тип фрикционного материала (ФМ)	Коэффициент трения		Удельная энергия трения, Дж/мм ²
	$f_{дин}$	$f_{стат}$	
ФМ с полимерной матрицей, армированные углеродными волокнами	0,10...0,16	0,08...0,14	0,9...1,76
Безасбестовые ФМ, армированные волокнами целлюлозы и кевлара	0,10...0,15	0,12...0,16	0,45...0,60
Безасбестовые ФМ с полимерной матрицей и графитовым порошковым наполнителем	0,08...0,11	0,09...0,12	0,3...2,5
Молибденовые фрикционные накладки	0,08...0,12	0,08...0,14	1,0...2,6
ФМ с полимерной матрицей, армированные базальтовыми волокнами	0,11...0,14	0,12...0,16	0,9...1,9
Бумажные ФМ:			
наполненные углеродом	0,11...0,14	0,15...0,19	2,1...2,5
эластичные	0,11...0,14	0,16...0,20	1,6...2,5
наполненные волокнами кевлар	0,11...0,15	0,15...0,18	1,0...2,1
Металлокерамика на основе бронзы	0,075...0,123	0,08...0,14	0,94...1,14
Металлокерамика на основе железа	0,05...0,14	0,09...0,18	2,15...2,40

"мокрого" типа на текущий момент времени широкое применение нашла металлокерамика на медной и железной основах, которая малочувствительна к свойствам масла и интенсивности теплоотвода из зоны трения.

В узлах сцепления "мокрого" типа среди металлокерамических фрикционных материалов, работающих в тяжелых условиях фрикционного контакта, находят применение композиции как на железной, так и на медной основах, имеющие высокие и стабильные показатели коэффициента трения в паре со сталью. На рис. 1 приведены зависимости коэффициента трения некоторых металлокерамических фрикционных материалов на медной (МК-5, ФМ-12, HS43) и железной основах (ШАДЕФ) от скорости скольжения в условиях смазки [5].

Удельная мощность трения металлокерамических фрикционных материалов на железной основе, предназначенных для эксплуатации в среде масла составляет $2...4 \text{ Вт/мм}^2$, допустимая скорость скольжения 80 м/с . Материалы на медно-графитовой основе обеспечивают эффективность фрикционного взаимодействия при удельной мощности трения до 6 Вт/мм^2 , в режиме торможения удельная работа трения достигает $8,5 \text{ Дж/мм}^2$, в то время как рекомендуемая удельная мощность трения фрикционных бумажных материалов составляет всего $0,85...1,45 \text{ Вт/мм}^2$ [4].

Однако металлокерамические фрикционные материалы при эксплуатации в условиях мокрого трения имеют существенный недостаток — они не обеспечивают плавность включения узлов трения, вследствие чего ухудшается динамика переход-

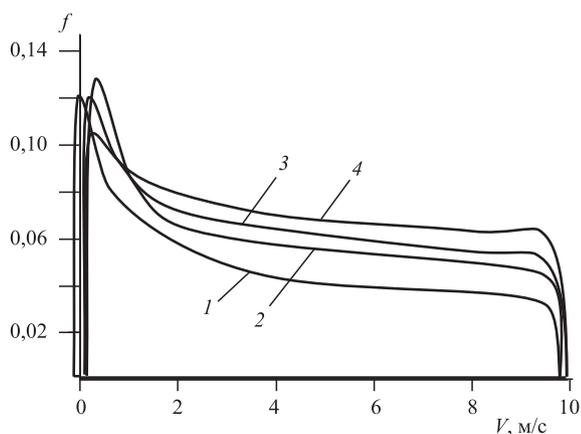


Рис. 1. Зависимости изменения коэффициента трения различных металлокерамических фрикционных материалов (f) в процессе торможения в условиях смазки по стали от скорости скольжения (V):

1 — МК-5; 2 — 0 HS43 (Hoerbiger); 3 — ШАДЕФ; 4 — ФМ-12

ных процессов в машинах. Также немаловажным фактором является увеличенная виброакустическая активность таких материалов [4]. Кроме того, следует отметить, что при недостаточной смазке фрикционные металломатричные материалы, в первую очередь на медной (латунной, бронзовой) основе, при эксплуатации на автомобилях типа БелАЗ показали высокую склонность к быстрому схватыванию и катастрофическому износу [2].

Тем не менее в мире продолжают исследования по поиску новых износо- и коррозионно-стойких фрикционных материалов, способных эффективно работать в условиях мокрого трения. Среди таких перспективных материалов для высоконагруженных систем сцепления "мокрого" типа рассматриваются композиционные материалы с полимерной, углеродной и керамической матрицами, содержащие в своей основе углеродные и графитные волокна.

Введение углеродных волокон (УВ) во фрикционные составы позволяет стабилизировать процесс трения и повысить ресурсные показатели пары трения. В работе [6] показано, что добавка УВ в количестве $20...40 \text{ об. } \%$ в прессованную бумагу на основе арамидных волокон, фенольной смолы и фрикционных добавок позволяет повысить ресурс фрикционных накладок при работе в условиях смазки в $3...4$ раза по отношению к фрикционным накладкам из бумаги на основе целлюлозных и арамидных волокон (рис. 2). При этом увеличение объемной доли УВ приводит к некоторому снижению коэффициента трения, но повышает ресурс фрикционной накладки.

В другой работе [7] были также получены высокие показатели динамического коэффициента трения при наличии синтетической смазки для углепластиковых образцов (УП) на основе углеродной ткани с различным весовым содержанием фенольной смолы в паре со стальным контртелом в широком диапазоне скоростей вращения и контактного давления (рис. 3). Однако при этом отмечается достаточно высокий износ УП образцов $9...13 \text{ мм}^3/\text{МДж}$ и существенная зависимость коэффициента трения от доли УВ в образце.

Высокие триботехнические показатели при работе в условиях смазки отмечаются и для другого типа фрикционного материала, содержащего УВ — углерод-углеродного композиционного материала (УУКМ). Так, в работе [8] получены высокие и достаточно стабильные значения статического и динамического коэффициентов трения диска из УУКМ, полученного методом CVI (Chemical Vapor Infiltration), в паре с контртелом сталь 45 при различных уровнях контактного давления (скорость вра-

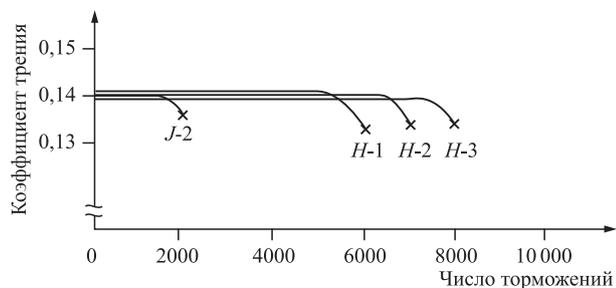


Рис. 2. Зависимости коэффициента трения образцов из ПКМ разного состава от числа торможений:

J-2 (целлюлоза — 20 %, арамидные волокна — 20 %, добавки — 30 %, фенольная смола — 30 %); *H-1* (УВ — 20 %, арамидные волокна — 40 %); *H-2* (УВ — 30 %, арамидные волокна — 30 %); *H-3* (УВ — 40 %, арамидные волокна — 20 %). Для образцов *H-1*, *H-2*, *H-3* — добавки 20 %, фенольная смола — 20 %

щения 2000 мин⁻¹) (рис. 4). Также положительным моментом является то, что фрикционные УУКМ имеют пористую структуру, которая способствует адсорбированию и удержанию масляной пленки, обеспечивающей граничное трение во фрикционной паре. Однако при этом отмечался также достаточно высокий износ образца из УУКМ порядка 6 мм³/МДж, а удельная мощность трения композитов с углеродной матрицей в 4–5 раз уступает аналогичному показателю металлокерамических фрикционных материалов, что делает последние все-таки на настоящий момент времени более эффективными в высоконагруженных "мокрых" узлах сцепления транспортных средств [9].

Другим типом перспективного материала для высоконагруженных узлов трения, работающих в условиях смазки, рассматриваются КМК с различными типами матриц, но, главным образом,

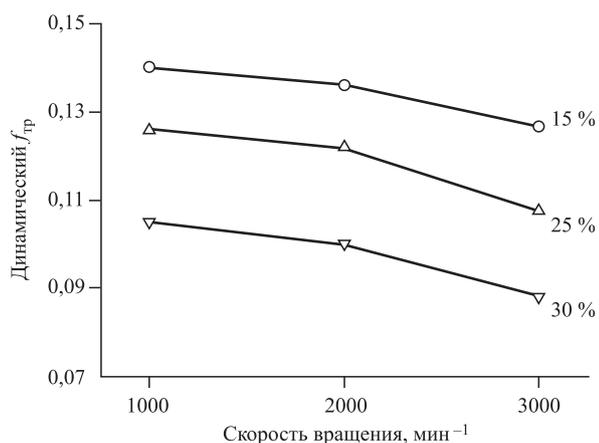


Рис. 3. Зависимость динамического коэффициента трения в условиях смазки пары "УП—сталь" от скорости вращения торможения диска сцепления и массовой доли связующего (контактное давление 0,5 МПа)

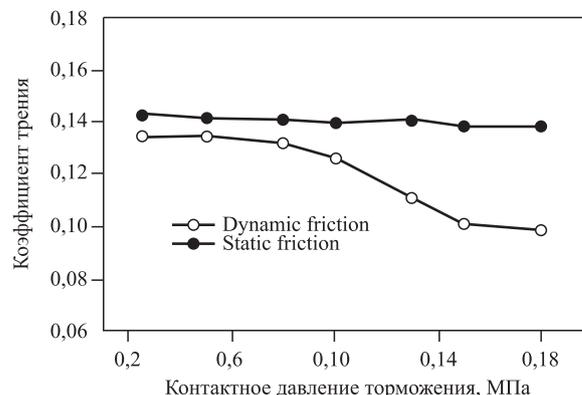


Рис. 4. Зависимость коэффициента трения от контактного давления торможения пары "УУКМ—сталь" в условиях "мокрого" трения

с SiC матрицей. В работах [10, 11] проводились трибологические исследования, для определения возможности применения дисков сцепления из КМК в танковых фрикционах в условиях "мокрого" трения. Образцы для трибологических испытаний из КМК на базе нетканых и коротких УВ были получены комбинированным технологическим способом ультразвукового введения порошка кремния в полуфабрикат из УВ, пропиткой его углеродсодержащим пеком с последующим отверждением и карбонизацией. Конечный материал получается в результате процесса внутреннего силицирования при нагревании заготовки выше температуры плавления кремния (более 1450 °С). Проведенные исследования показали высокие (0,114...0,126) и стабильные (85 %) значения коэффициента трения КМК в паре с нержавеющей сталью 30CrSiMoVA (рис. 5), что оказалось выше, чем у пары "сталь—металлокерамика на медной основе" — (0,08...0,11) и (менее 80 %) соответственно. После проведения 300 торможений у образцов из КМК износ не отмечался, в то время как у медной металлокерамики он составил 2 мкм при 100 торможениях.

Более высокие показатели коэффициента трения (0,16...0,2) для пары "сталь—КМК" в условиях наличия масляной смазки отмечались в работе [12], а износ образца из КМК, полученного по комбинированной технологии CVI и LSI (Liquid Silicon Infiltration), при скоростях вращения 5000...6000 мин⁻¹ также не отмечался (рис. 6).

Как отмечается в работе [10], малый износ или полное его отсутствие связано с пористой поверхностью образцов из КМК, полученных, главным образом, по технологиям CVI и PIP (Polymer Infiltration and Pyrolysis), которая, удерживая масло на поверхности, постоянно поддерживает тонкую смазывающую

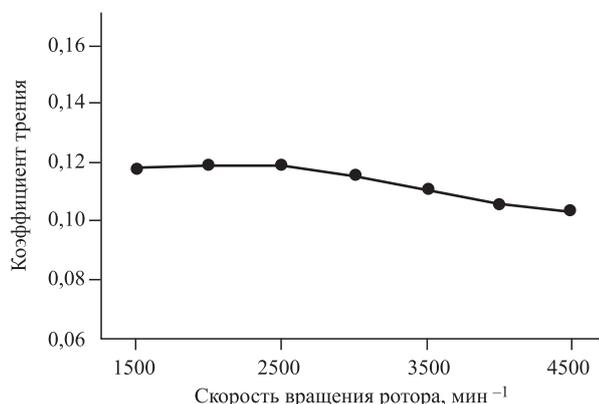


Рис. 5. Зависимость коэффициента трения от скорости вращения диска сцепления из КМК в условиях "мокрого" трения

пленку между трущимися поверхностями. Кроме того, такая пористая структура улучшает процесс охлаждения КМК во время процесса трения.

Следует отметить, что применение дисков сцепления или фрикционных накладок из КМК в трансмиссиях автотранспортной техники в условиях "мокрого" трения обеспечивает их минимальный износ в случаях ухода масла или срыва смазывающей пленки, а также сильного абразивного загрязнения синтетического масла.

Таким образом, проведенный анализ показывает широкие перспективы применения композиционных материалов с полимерной, углеродной, металлической и керамической матрицами в "мокрых" узлах сцепления как в тяжелой транспортной технике (танки, бронетранспортеры, тягачи, трактора, карьерные самосвалы и т. п.), так и для многих типов высокоскоростных легковых автомобилей. В первую очередь это относится к фрикционным элементам

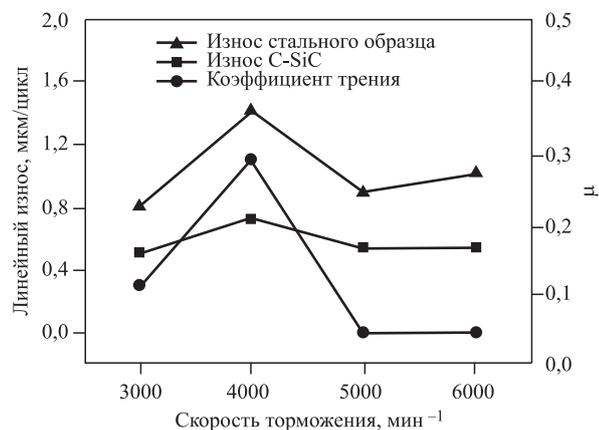


Рис. 6. Зависимости линейного износа и коэффициента трения (μ) от скорости вращения для пары трения "КМК—сталь" в условиях "мокрого" трения

из УУКМ и КМК, которые могут рассматриваться как эффективная альтернатива традиционным фрикционным материалам в высоконагруженных системах сцепления. Применение различных пар трения как с использованием композиционных материалов, так и только из них для высокоэнергетичной транспортной техники расширяет возможности конструкторской и технологической составляющих при разработке новых узлов сцепления, повышения их надежности и эффективности при эксплуатации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кулик В. И., Нилов А. С. Перспективы применения композиционных материалов в высоконагруженных системах сцепления "сухого" типа автотранспортной техники // Грузовик, 2019. — № 1. — С. 40—48.
2. Шаповалова О. А., Лешок А. В. Анализ отказов фрикционных ГМП и пути их снижения // Механика машин, механизмов и материалов. — 2011. — № 3 (16). — С. 67—73.
3. Исследование триботехнических явлений в нестационарных процессах и некоторые оптимизационные решения / И. В. Колесников, Н. А. Мясникова, В. П. Сергиенко и др. // Трение и смазка в машинах и механизмах. — 2009. — № 5. — С. 23—30.
4. Анализ триботехнических процессов на фрикционном маслоохлаждаемом контакте / В. П. Сергиенко, А. В. Купреев, В. И. Фадин и др. // Трение и смазка в машинах и механизмах, 2008. — № 1. — С. 29—33.
5. Ильюшенко А. Ф. Современные разработки в области порошковой металлургии для машиностроения // Механика машин, механизмов и материалов. — 2012. — № 3 (20)—4 (21). — С. 113—120.
6. Патент US 6130177. Wet Friction Material / K. Shun, U. Skigeki. Дата публикации: 10.10.2000.
7. Study on the friction and wear performance of carbon fabric/phenolic composites under oil lubricated conditions / J. Feia, H.-J. Lib, J.-F. Huanga, Y.-W. Fub // Tribology International. — 2012. — Vol. 56. — P. 30—37.
8. Study on friction performance of carbon/carbon composite under lubrication condition / Y. Fu, H. Li, J. Fei, G. Yang // Proceedings of ICCM17 27—31 July 2009, Edinburgh, UK, 2009. — 7 p.
9. Сергиенко В. П., Мышкин Н. К., Купреев Н. К. Фрикционное взаимодействие в маслоохлаждаемых металлополимерных узлах трения // Композиционные фрикционные материалы: свойства, производство, применение. Материалы докладов Международного специализированного семинара, Минск, 15—16 апреля 2008 г. — Минск: ГНПО ПМ, 2008. — С. 28—36.
10. Wang X. Investigation on fabrication and performance of C/C-SiC composites for tank clutch [D]. Changsha: Central South University, 2007.
11. Wet friction performance of C/C-SiC composites prepared by new processing route / X. Wang, C. Yin, Q. Huang et al. // Journal of Central South University of Technology. — 2009. — Vol. 16. — Iss. 4. — P. 525—529.
12. Wet friction and wear Properties of C/C-SiC composites during different braking speeds / Z. Li, P. Xiao, J. Yue, X. Xiong // Journal of Materials Engineering. — 2013. — Iss. 3. — P. 71—76.

БЕЗОПАСНОСТЬ

УДК 625.7/8

Н. В. Щеголева, канд. техн. наук, доцент, СГТУ имени Гагарина Ю. А., **А. В. Кочетков**, д-р техн. наук, профессор, **Л. В. Янковский**, канд. техн. наук, доцент, **В. Ю. Задворнов**, аспирант, Пермский национальный исследовательский политехнический университет
E-mail: soni.81@mail.ru

АНАЛИЗ ПРАВОПРИМЕНЕНИЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ВРЕМЕННЫХ ОГРАНИЧЕНИЙ ИЛИ ПРЕКРАЩЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Проведен анализ правоприменения Порядка осуществления временных ограничений или прекращения движения транспортных средств по автомобильным дорогам федерального значения и частным автомобильным дорогам, утвержденного приказом Минтранса России от 12 августа 2011 г. № 211, включающего в том числе зарубежный опыт.

Ключевые слова: ограничение, движение, безопасность, технический регламент, Таможенный союз, автомобильные дороги, транспортные средства, риск, плата, штраф, проезд, возмещение.

The analysis of right application of the Procedure of temporary restrictions or the termination of the movement of vehicles on highways of the federal value and to private highways approved by the order of the Ministry of Transport of the Russian Federation of the August 12, 2011 No. 211 including including foreign experience is carried out.

Keywords: restriction, movement, safety, technical regulations, Customs union, highways, vehicles, risk, payment, penalty, journey, compensation.

Весной или осенью в период максимального увлажнения грунта земляного полотна происходит резкое, иногда в 3—5 раз, снижение прочности дорожных одежд по сравнению с их летним состоянием [1—5].

В этот период (для России, как правило, в течение 1—2,5 месяцев) на ряде участков автомобильных дорог фактический запас прочности дорожных одежд оказывается ниже допустимого по условиям движения.

При невозможности немедленного усиления таких дорожных одежд с целью обеспечения их сохранности и безопасности движения осуществляют сезонное ограничение движения грузовых АТС.

В весенний период вводятся временные ограничения или прекращение движения транспортных средств по автомобильным дорогам на основании Федерального закона от 08.11.2007 г. № 257-ФЗ "Об автомобильных дорогах и о дорожной деятельности в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации". Отметим, что ограничения движения в весенний период 2018 г. по автомобильным дорогам общего пользования федерального значения не вводили.

Весеннее ограничение движения на автомобильных дорогах вводится путем установления значений максимально допустимой осевой нагрузки транспортного средства, которая ниже обычных значений.

Летнее ограничение движения обычно действует с 20 мая по 31 августа.

Данный перечень грузов и транспортных средств регламентирован приказом Министерства транспорта Российской Федерации от 12 августа 2011 г. № 211 (пункты 20, 24).

Временное ограничение движения в весенний период не распространяется: на международные перевозки грузов; на пассажирские перевозки автобусами, в том числе международные; на перевозки пищевых продуктов, животных, лекарственных препаратов, топлива, семенного фонда, удобрений, почты и почтовых грузов; на перевозку грузов при ликвидации последствий стихийных бедствий; на транспортировку дорожно-строительной и эксплуатационной техники, а также материалов при ремонте дорог.

Временные ограничения движения в летний период не распространяются: на пассажирские перевозки автобусами, в том числе международ-

ные; на перевозку грузов при ликвидации последствий стихийных бедствий; на транспортировку дорожно-строительной и эксплуатационной техники, а также материалов при ремонте дорог.

В 2017 г. Росавтодор предложил ограничить нагрузку 6 т для одиночной оси, 5 т — для двухосной тележки, 4 т — для трехосной тележки [2].

На основе данных учета интенсивности и состава дорожного движения на дорогах общего пользования и руководствуясь приведенными уровнями необходимого ограничения движения, можно сделать вывод, что в весенне-осенний период на большей части дорожной сети России в течение 1...2,5 месяцев должны быть исключены из состава движения от 30 до 50 % грузовых АТС, т. е. существенная часть автомобильного парка (около 1,5 млн ед.) должна в этот период простаивать. Ущерб от такого простоя может составить около 5 млрд руб. в год.

Ограничения допустимой нагрузки на ось тяжелых автомобилей и автопоездов на период весеннего оттаивания грунта вводят в целом ряде стран, имеющих холодный период года, с целью экономии средств на восстановление дорожных конструкций и недопущения сокращения срока их службы (Белоруссия, Казахстан, Канада, Норвегия, Финляндия, Швеция, Франция, США и др.) [1–4].

В США, где условия замерзания и оттаивания, характерные для ограничения движения, имеются в 22 штатах. Ограничения вводятся в 19 из них на период от 8 до 9 недель. Временное снижение допустимой осевой нагрузки в период весеннего оттаивания на 20...50 % в США дает возможность увеличить срок службы покрытия на 62...95 %. Для ввода ограничений используют систему измерений и прогнозирования параметров замерзания/оттаивания земляного полотна. Для определения конкретных дат начала и конца ограничений используют фактические и прогнозируемые среднесуточные температуры воздуха.

В США почти в половине штатов проводят весеннее ограничение, причем допустимые нагрузки снижают на 30...50 % для одиночных и на 18...47 % для сдвоенных осей. В штатах Аляска, Вашингтон и Миннесота осуществлялось более жесткое ограничение нагрузок — на 40...50 % для одиночных и на 30...50 % для сдвоенных осей при двукратном снижении модулей упругости дорожных одежд по сравнению с летним периодом. Период сезонного ограничения движения определялся по глубине промерзания дорожной

одежды и числу дней с положительной температурой воздуха, а величины допустимых осевых нагрузок рассчитывали по программе LOADMT. В период сезонного ограничения движения патрульные службы дорожной полиции, обеспеченные переносными весами, осуществляли весовой контроль АТС с применением жестких штрафных санкций к нарушителям, причем штраф назначался пропорционально каждому 0,5 тс превышения нагрузки.

На дорогах, где весной осуществляется пропуск АТС с осевой нагрузкой 8 тс при нормированной 10 тс, разрешение на пропуск перегруженной машины дается только при условии ее частичной разгрузки, обеспечивающей осевую нагрузку в 8 тс.

Практика сезонного ограничения движения АТС была принята в Канаде, Финляндии, Швеции, Югославии, Польше, Латвии и других странах, где погодноклиматические и грунтово-гидрологические условия сопоставимы с условиями России и оказывают существенное влияние на прочность дорожных одежд. В Республике Беларусь и Кувейте во избежание колееобразования ограничение дорожного движения осуществляется не только в период сезонного переувлажнения грунта, но и в летний период высоких температур дорожного покрытия [5–7].

В мировой практике нет единого подхода к порядку и срокам введения весенних ограничений. Например, в США и Канаде используют несколько методов для определения даты начала действия ограничений, в том числе визуальный осмотр дорожного полотна в весенний период и аналитические методы неразрушающего контроля (дефлектометр падающего груза (ДПГ), оценка диэлектрической проницаемости грунта).

Сроки и продолжительность вводимых ограничений зависят от многих факторов. Однако введение/снятие ограничений на основании исключительно исторических данных о температурных режимах уже нигде не используется.

При этом в большинстве стран ограничения не носят тотальный характер, т. е. на значительной части дорожной сети ограничения не вводятся. В Канаде во многих штатах весенние ограничения не распространяются на систему основных дорог [8, 9].

Следует отдельно обратить внимание на опыт Норвегии [10]. Эта страна в 1995 г. приняла решение отменить обязательные ежегодные весенние ограничения и вводить их только в исключительных случаях, когда есть опасение серьезного

разрушения дорожного покрытия. Наблюдения за состоянием дорог после отмены ограничений показали, что серьезного ухудшения состояния дорог вследствие отмены не происходит.

В Финляндии процесс выбора дорог и сроков ограничений проходит через многоступенчатый фильтр, включающий в себя оценку важности дороги для экономики, оценку прогноза на весну, оценку степени рисков повреждения дорог, мониторинг состояния дорог в весенний период [11].

В Республике Беларусь действует постановление Министерства транспорта Республики Беларусь от 28 февраля 2017 г. № 3 "О введении в 2017 г. временных ограничений на грузок на оси транспортных средств, самоходных машин в отношении республиканских автомобильных дорог общего пользования" [12].

В Белоруссии временно ограничивают движение большегрузных машин (грузовой автотранспорт от 6 до 9 т на одиночную ось) в период с 15 марта по 15 апреля. Это сезонное ограничение, причина которого — высокая влажность дорог, из-за которой эти дороги разрушаются под большими нагрузками.

В соответствии с приказом Министра транспорта и коммуникаций Республики Казахстан, в весенние периоды вносятся изменения в организацию пользования республиканского значения Республики Казахстан.

На автомобильных дорогах общего пользования республиканского значения Республики Казахстан действуют временные ограничения движения автотранспортных средств с нагрузкой на одиночную ось до 8 т, за исключением автотранспортных средств перевозчиков, осуществляющих международные перевозки грузов и пассажиров в соответствии с международными соглашениями, транспортных средств, занятых на мероприятиях по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций, а также перевозящих скоропортящиеся товары.

Министерство экономического развития Российской Федерации разработало заключение по итогам экспертизы приказа Министерства транспорта Российской Федерации от 12 августа 2011 г. № 211 "Об утверждении порядка осуществления временных ограничений или прекращения движения транспортных средств по автомобильным дорогам федерального значения и частным автомобильным дорогам".

Проблемы, связанные с введением временных ограничений или прекращения движения транс-

портных средств, могут быть разделены на две группы:

— несовершенство существующего регулирования в области введения временных ограничений или прекращения движения транспортных средств по автомобильным дорогам;

— проблемы, сопряженные непосредственно с правоприменительной практикой Приказа, в том числе противоречие отдельных норм Приказа законодательству Российской Федерации в сфере перевозок автомобильным транспортом и дорожного хозяйства, а также возложение избыточных, по своей сути, расходов на группы субъектов предпринимательской и иной экономической деятельности в период введения временных ограничений движения транспортных средств.

Решение о введении сезонных временных ограничений движения транспортных средств принимается на основании оценки прочности дорожных одежд, определяемой в соответствии с Правилами диагностики и оценки состояния автомобильных дорог, утвержденными распоряжением Минтранса России от 3 октября 2002 г. № ИС-840-р. Перечень участков, на которых требуется введение сезонного ограничения дорожного движения в текущем году, формируется на основе результатов диагностики автомобильных дорог федерального значения, выполненной в предыдущем году.

Вместе с тем обязательств о размещении Росавтодором и органами исполнительной власти субъектов Российской Федерации результатов ежегодной диагностики автомобильных дорог общего пользования федерального и регионального значения в открытом доступе законодательством Российской Федерации не предусмотрено, что не позволяет сделать вывод о достаточности или недостаточности установления периода ограничений на срок в 30 дней, т. е. вывод о том, является ли устанавливаемый Росавтодором период ограничения движения периодом наибольшего ослабления дорожной конструкции.

При этом существующая модель выявления участков дорог, на которых необходимо введение сезонных временных ограничений движения транспортных средств, позволяет заблаговременно прогнозировать снижение прочности дорожных одежд [13].

Отсутствие согласованности и скоординированных действий по введению ограничений движения, а также единого системного подхода по введению ограничений движения по автомобильным дорогам федерального, регионального, межмуниципального и местного значения суще-

ственно влияет на издержки субъектов предпринимательской деятельности и ограничивает возможность осуществления перевозок по дорогам как федерального, так и регионального значения.

На практике временные ограничения движения транспортных средств устанавливаются одновременно на автомобильных дорогах федерального и регионального значения. В ряде случаев это приводит к фактическому отсутствию маршрутов объездов участков дорог, на которых вводятся ограничения. Причем проезд тяжеловесных транспортных средств по дорогам, на которых понижена прочность конструкции автомобильной дороги, сопряжен с **увеличением риска возникновения дорожно-транспортных происшествий.**

В целях устранения противоречий между нормативными правовыми актами равной юридической силы при осуществлении мониторинга правоприменения для обеспечения принятия (издания), изменения или признания утратившими силу (отмены) нормативных правовых актов Российской Федерации обобщается, анализируется и оценивается информация о практике их применения по следующим показателям:

- а) наличие противоречий между нормативными правовыми актами общего характера и нормативными правовыми актами специального характера, регулирующими однородные отношения;
- б) наличие единой понятийно-терминологической системы в нормативных правовых актах;
- в) наличие дублирующих норм права в нормативных правовых актах;
- г) наличие противоречий в нормативных правовых актах, регулирующих однородные отношения, принятых в разные периоды;
- д) наличие ошибок юридико-технического характера в нормативных правовых актах;
- е) количество и содержание обращений (предложений, заявлений, жалоб), в том числе по вопросам понятийно-терминологической системы нормативных правовых актов, наличия в них дублирующих норм и противоречий, а также ошибок юридико-технического характера.

При анализе правоприменительной практики по показателю наличия нормативных правовых актов, необходимость принятия которых предусмотрена актами большей юридической силы (подпункт "б" пункта 8 методики), установлено, что до настоящего времени не реализовано положение Федерального закона № 294-ФЗ (ред. от 09.03.2016) "О защите прав юридических лиц и индивидуальных предпринимателей при осуществлении государственного контроля (над-

зора) и муниципального контроля" и постановление Правительства Российской Федерации от 17 августа 2016 г. № 806 "О применении риск-ориентированного подхода при организации отдельных видов государственного контроля (надзора) и внесении в некоторые акты Правительства Российской Федерации". Зарегистрировано в Минюсте России 2 декабря 2011 г. № 22475.

Статья 8.1. Применение риск-ориентированного подхода при организации государственного контроля (надзора) (введена Федеральным законом от 13.07.2015 № 246-ФЗ):

1. В целях оптимального использования трудовых, материальных и финансовых ресурсов, задействованных при осуществлении государственного контроля (надзора), снижения издержек юридических лиц, индивидуальных предпринимателей и повышения результативности своей деятельности органы государственного контроля (надзора) при организации отдельных видов государственного контроля (надзора), определяемых Правительством Российской Федерации, применяют риск-ориентированный подход.

2. Риск-ориентированный подход представляет собой метод организации и осуществления государственного контроля (надзора), при котором в предусмотренных настоящим Федеральным законом случаях выбор интенсивности (формы, продолжительности, периодичности) проведения мероприятий по контролю определяется отнесением деятельности юридического лица, индивидуального предпринимателя и (или) используемых ими при осуществлении такой деятельности производственных объектов к определенной категории риска либо определенному классу (категории) опасности.

3. Отнесение к определенному классу (категории) опасности осуществляется органом государственного контроля (надзора) с учетом тяжести потенциальных негативных последствий возможного несоблюдения юридическими лицами, индивидуальными предпринимателями обязательных требований, а к определенной категории риска — также с учетом оценки вероятности несоблюдения соответствующих обязательных требований.

Авторами проведен анализ сводного отчета о проведении оценки регулирующего воздействия проекта ведомственного приказа "О введении временных ограничений движения транспортных средств по автомобильным дорогам общего пользования федерального значения в 2014 году".

Рассмотрены риски решения проблемы предложенным способом регулирования и риски негативных последствий, а также описание методов контроля эффективности избранного способа достижения целей регулирования:

12.1. Риски решения проблемы предложенным способом и риски негативных последствий.

Длительная процедура утверждения нормативных правовых актов федеральных органов исполнительной власти:

12.2. Оценки вероятности наступления рисков.

Анализ и расчет риска причинения вреда в соответствии с Приложением № 9 Договора евразийского экономического союза:

12.3. Методы контроля эффективности избранного способа достижения целей регулирования.

Ежегодная диагностика транспортно-эксплуатационного состояния автомобильных дорог общего пользования федерального значения. Процедуры проверки соответствия по ФЗ "Технический регламент о безопасности зданий и сооружений", по ГОСТ Технического регламента Таможенного Союза "Безопасность автомобильных дорог", Статьи 4 ТРТС 014/2011 Презумпция соответствия, по анализу и расчету риска.

Решение проблемы предложенным способом регулирования, а также описание методов контроля эффективности избранного способа достижения целей регулирования не основано на оценке рисков негативных последствий и степени контроля рисков.

Следует отметить, что в Техническом регламенте Таможенного союза "Безопасность автомобильных дорог" установлено следующее:

введение временных ограничений движения в целях обеспечения безопасности движения при опасных природных явлениях или угрозе их возникновения, при аварийных ситуациях на дорогах, при проведении дорожных и аварийно-восстановительных работ, в случае выявления дефектов и повреждений автомобильных дорог и дорожных сооружений, создающих угрозу безопасности дорожного движения, а также в целях обеспечения сохранности автомобильных дорог в период возникновения неблагоприятных природно-климатических условий, вызывающих снижение несущей способности конструктивных элементов автомобильной дороги, ее участков и образование дефектов дорожной одежды.

Важно отметить, что при проведении настоящего исследования в практике правоприменения Порядка осуществления временных ограничений или прекращения движения транспортных

средств по автомобильным дорогам федерального значения и частным автомобильным дорогам не выявлено применения положений Технического регламента Таможенного союза "Безопасность автомобильных дорог".

Исследуем статью 36. Ответственность за несоответствие продукции или связанных с требованиями к ней процессов проектирования (включая изыскания), производства, строительства, монтажа, наладки, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации требованиям технических регламентов Федерального закона "О техническом регулировании" № 184-ФЗ (с изменениями на 28 ноября 2015 г.):

1. За нарушение требований технических регламентов изготовитель (исполнитель, продавец, лицо, выполняющее функции иностранного изготовителя) несет ответственность в соответствии с законодательством Российской Федерации.

2. В случае неисполнения предписаний и решений органа государственного контроля (надзора) изготовитель (исполнитель, продавец, лицо, выполняющее функции иностранного изготовителя) несет ответственность в соответствии с законодательством Российской Федерации.

3. В случае если в результате несоответствия продукции требованиям технических регламентов, нарушений требований технических регламентов при осуществлении связанных с требованиями к продукции процессов проектирования (включая изыскания), производства, строительства, монтажа, наладки, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации причинен вред жизни или здоровью граждан, имуществу физических или юридических лиц, государственному или муниципальному имуществу, окружающей среде, жизни или здоровью животных и растений или возникла угроза причинения такого вреда, изготовитель (исполнитель, продавец, лицо, выполняющее функции иностранного изготовителя) обязан возместить причиненный вред и принять меры в целях недопущения причинения вреда другим лицам, их имуществу, окружающей среде в соответствии с законодательством Российской Федерации (пункт в редакции, введенной в действие с 22 мая 2007 г. Федеральным законом от 1 мая 2007 г. № 65-ФЗ).

4. Обязанность возместить вред не может быть ограничена договором или заявлением одной из сторон. Соглашения или заявления об ограничении ответственности ничтожны.

Выводы

1. В России период весенних ограничений устанавливается на основании исторических данных о температурных режимах. К сожалению, такой принцип введения ограничений имеет ряд серьезных недостатков, в том числе высока вероятность несовпадения начала таяния и момента введения ограничений.

2. В мировой практике нет единого подхода к порядку и срокам введения весенних ограничений. Например, в США и Канаде используют несколько методов для определения даты начала действия ограничений. Это, прежде всего, визуальный осмотр дорожного полотна в весенний период и аналитические методы (дефлектометр падающего груза, оценка диэлектрической проницаемости грунта).

3. Проведен анализ сводного отчета о проведении оценки регулирующего воздействия проекта ведомственного приказа "О введении временных ограничений движения транспортных средств по автомобильным дорогам общего пользования федерального значения в 2014 году".

4. Решение проблемы предложенным способом регулирования, а также описание методов контроля эффективности избранного способа достижения целей регулирования не основано на оценке рисков негативных последствий и степени контроля рисков.

5. С точки зрения снижения прочности дорожного покрытия в процессе таяния несущего слоя наиболее критичным является начальный момент таяния. В этот момент снижение прочности может достигать 50 %. Таким образом, выбор начального момента ввода ограничений является наиболее важным с точки зрения снижения негативного воздействия на дорожное покрытие.

6. При анализе правоприменительной практики по показателю наличия нормативных правовых актов, необходимость принятия которых предусмотрена актами большей юридической силы (подпункт "б" пункта 8 методики), установлено, что до настоящего времени не реализо-

вано положение Федерального закона № 196-ФЗ и положение постановления Правительства Российской Федерации от 17 августа 2016 г. № 806 "О применении риск-ориентированного подхода при организации отдельных видов государственного контроля (надзора) и внесении в некоторые акты Правительства Российской Федерации".

7. В транспортном комплексе РФ отсутствует практика правоприменения взимания штрафов за проезд большегрузов и крупногабаритов, вызывающих резкое увеличение риска совершения дорожно-транспортных происшествий. Взимание этой платы (штрафов) может стать компенсацией ущерба от снятия ограничения движения тяжелых транспортных средств по автомобильным дорогам общего пользования федерального значения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Автомобильные дороги.** Обеспечение сохранности автомобильных дорог. Тематическая подборка. 2007-07-05 Федеральное дорожное агентство.
2. **Интернет-ресурс** <http://www.studfiles.ru/preview/2092314>.
3. **Интернет-ресурс** <http://inf-remont.ru/road/roa237>.
4. **Интернет-ресурс** <https://deloros.ru/rosavtodor-prosyat-smyagchit-ogranicheniya-na-proezd-gruzovikov-vovremya-vesenej-rasputicy.html>.
5. **Интернет-ресурс** <https://www.cargo.chat/blog/seasonnoe-zakrytie-dorog>.
6. **Интернет-ресурс** <http://www.studfiles.ru/preview/2092314>.
7. **Интернет-ресурс** <http://inf-remont.ru/road/roa237>.
8. **Performance of Montana Highway Pavements During Spring Thaw.** FHWA/MT-02-006/8155.
9. **Seasonal Load Restrictions in Canada atd around the world.** Canadiat strategic highway research program. Sept. 2000.
10. **Cost/Benefit Study of Spring Load Restrictions.** Mn-RC 2005-15. University of Minnesota. May, 2005.
11. **Managing spring thaw weakening on low volume roads.** ROADDEX II Northern Periphery. April 2005.
12. **Интернет-ресурс** <http://www.ektotrans.ru/News/67-belarus-ogranichila-dvizhenie-gruzovikov-po-svoim-dorogam>.
13. **Интернет-ресурс** <http://rs-com.ru/116-voditeli-gruzovyh-avtomobiley-vyskazali-nedovolstva-povodu-ogranicheniy-na-dorogah-kryma.html>.

Художественный редактор *Д. С. Рыбакова*. Технический редактор *Е. М. Патрушева*. Корректор *Е. В. Комиссарова*

Сдано в набор 12.12.2018. Подписано в печать 16.01.2019. Формат 60 × 88 1/8. Усл. печ. л. 5,88.

Отпечатано в ООО "Канцлер", 150008, г. Ярославль, ул. Клубная, д. 4, кв. 49.

Оригинал-макет: ООО "Авансед солошнз". 119071, г. Москва, Ленинский пр-т, д. 19, стр. 1. Сайт: www.aov.ru