Грузовик

11
2017

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

Учредитель ООО "Научно-техническое издательство "Инновационное машиностроение"
Главный редактор С.Н. ПЕДЕНКО

Редакционный совет

Д.Х. Валеев, д-р техн.наук
В.А. Волчков
С.М. Гайдар, д-р техн.наук
Л.В. Грехов, д-р техн.наук, проф.
В.А. Зорин, д-р техн.наук
В.В. Комаров, канд.техн.наук
В.А. Марков, д-р техн.наук, проф.
А.Н. Ременцов, д-р пед.наук, канд.техн.наук
О.Н. Румянцева, ген.дир.ООО "Издательство "Инновационное машиностроение"
А.Ф. Синельников, канд.техн.наук, проф.
А.А. Солнцев, д-р техн.наук
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", 2017

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

За содержание рекламных материалов ответственность несет рекламодатель

В НОМЕРЕ:

Конструкция

3 *Вальехо Мальдонадо П. Р., Чайнов Н. Д., Руновский К. С.* Уравновешивание 12-цилиндрового четырехтактного двигателя типа W с дезаксиальным кривошипно-шатунным механизмом и равномерным чередованием вспышек. Часть 1

8 *Чернышев А. Д.* Анализ достоинств и недостатков автомобильных трансмиссий

Исследования. Расчет

15 *Устименко В. С., Демик В. В.* Методические основы выбора транспортной базы в зависимости от средней скорости движения в заданных условиях эксплуатации

24 *Васильев А. В., Ларцев А. М., Федянов Е. А.* Оценка теплового состояния головки цилиндра двигателя воздушного охлаждения при его форсировании

28 *Козловский В. Н., Киреев К. В., Заятров А. В.* Исследование надежности элементов электроники автомобилей

Транспортный комплекс

32 *Зарипова И. И., Зорин В. А.* Анализ критериев эффективности применения бетоносмесительных установок при производстве композиционных материалов на основе цементного вяжущего

Городской пассажирский наземный транспорт

35 *Кудряшов М. А., Шаталова А. В.* Методика оценки качества обслуживания маломобильных групп населения в транспортно-пересадочных узлах

Практика

43 *Якубович А. Н., Якубович И. А.* Моделирование влияния времени эксплуатации на надежность автотранспортных систем и их элементов

48 ***Пресс-тур***

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.
Пятилетний импакт-фактор РИНЦ 2015 г.— 0,208.
Место в рейтинге SCIENCE INDEX за 2014 г.по тематике "Транспорт" — 11; по тематике "Машиностроение" — 44.http://elibrary.ru/title_about.asp?id = 9777

Информация на сайте "Autotransportnik.ru"

Truck

11
2017

SCIENTIFIC-TECHNICAL AND INDUSTRIAL MAGAZINE

Founder JSC Scientific and Technical Publishing House "Innovative Engineering"
Editor-in-Chief S.N. PEDENKO

Editorial council

D.Kh. Valeev, dr.en.s.
V.A. Volchkov
S.M. Gaydar, dr.en.s., prof,
L.V. Grekhov, dr.en.s., prof.
V.A. Zorin, dr.en.s.
V.V. Komarov, PhD in en.s.
V.A. Markov, dr.en.s., prof.
A.N. Rementsov, dr.Hab, PhD in en.s.
O.N. Rumyantseva, General Director, JSC "Publisher "Innovative Engineering"
A.F. Sinel'nikov, PhD in en.s., prof.
A.A. Solntsev, dr.en.s.
V.S. Ustimenko, PhD in en.s.
Kh.A. Faskhiev, 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", 2017

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:

Design

3 *Vallejo Maldonado P. R., Chainov N. D., Runovsky K. S.* Balancing of 12-cylinder four-stroke W-type engine with desaxial crank mechanism and uniform alteration of flashes. Part 1

8 *Chernyshev A. D.* Classification and analysis pros and cons of transmission of automobile

Research. Calculation

15 *Ustimenko V. S., Demik V. V.* Methodical bases of a choice of vehicles depending on the average speed in specified conditions

24 *Vasilyev A. V., Lartsev A. M., Fedyanov E. A.* Estimation of the Cylinder Head Thermal State of the Air Cooling Engine when it is Crossing

28 *Kozlovskiy V. N., Kireev K. V., Zajatrov A. V.* Electronic components car reliability study

Transportation complex

32 *Zaripova I. I., Zorin V. A.* Analysis of efficiency criteria for the use of concrete mixing plants in the production of composite materials based on cement binder

Public passenger land transport

35 *Kudryashov M. A., Shatalova A. V.* Estimation of quality level of transport service for selected categories of population in transport hubs

Practice

43 *Yakubovich A. N., Yakubovich I. A.* Modeling the influence of operating time on the reliability of transportation systems and their elements

48 ***Press Tour***

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.
Five-year impact factor INDEX 2015 — 0.208.
Place in rating of SCIENCE INDEX for 2014, on the theme "Transport" — 11; on the theme of "Engineering" is 44.
http://elibrary.ru/title_about.asp?id=9777
Information on the site "Autotransportnik.ru"

УДК 436.03.001

П. Р. Вальехо Мальдонадо, канд. техн. наук, доц., Российский университет дружбы народов, e-mail: prvm@rambler.ru,
Н. Д. Чайнов, д-р техн. наук, проф., Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана, e-mail: ndchainov@yandex.ru,
К. С. Руновский, канд. техн. наук, доц.

УРАВНОВЕШИВАНИЕ 12-ЦИЛИНДРОВОГО ЧЕТЫРЕХТАКТНОГО ДВИГАТЕЛЯ ТИПА W С ДЕЗАКСИАЛЬНЫМ КРИВОШИПНО-ШАТУННЫМ МЕХАНИЗМОМ И РАВНОМЕРНЫМ ЧЕРЕДОВАНИЕМ ВСПЫШЕК. ЧАСТЬ 1

В статье рассматривается уравновешивание 12-цилиндрового четырехтактного двигателя, представляющего собой V-образную компоновку из двух 6-цилиндровых двигателей схемы VR, с углом развала блоков цилиндров этих двигателей 72°, углом развала цилиндров в каждом блоке 15°, дезаксиальным кривошипно-шатунным механизмом и равномерным чередованием вспышек. Приведены формулы, позволяющие описать и проанализировать возникающие в таком двигателе продольные моменты сил инерции возвратно-поступательно движущихся масс для любого заданного значения угла развала блоков цилиндров, угла развала цилиндров в блоке, отношения радиуса кривошипа к длине шатуна и относительного дезаксиала оси цилиндра. Предложен способ уравновешивания неуравновешенных моментов сил инерции вращающихся и возвратно-поступательно движущихся масс.

Ключевые слова: *уравновешивание, равномерное чередование вспышек, двигатель типа W, угол развала цилиндров.*

The article deals with balancing of the 12-cylinder four-stroke engine, with is a V-shaped arrangement of two 6-cylinder engines of the VR scheme with a 72° angle of the vee of the engine, with a 15° angle of the vee in each block, with desaxial crank mechanism and a uniform alteration of flashes. The article gives formulas that enable to describe and analyze longitudinal moments of inertia forces of reciprocatingly moving masses for any given angle of the vee of the blocks, angle of the vee in the block, ratio of the crank radius to the conrod length and relative desaxial of the cylinder axis. The article proposes a method of balancing unbalanced moments of inertia forces of turning and reciprocatingly moving masses.

Keywords: *balancing, uniform alternating flashes, the W-type engine, included angle of cylinders.*

(Рисунки на 2—4-й полосах обложки)

Современные сверхкомпактные двигатели, имеющие V-образную компоновку из двух одинаковых двигателей схемы VR, объединенных общим коленчатым валом с индивидуальными для каждого цилиндра шатунными шейками, обозначаются фирмами — производителями как двигатели типа W. Так, двигатель W12, устанавливаемый на автомобиль Audi A8 концерна Volkswagen, сконструирован как V-образное объединение двух одинаковых двигателей VR-6; угол развала цилиндров в каждом из этих двигателей VR-6 $\gamma_ц = 15°$, угол развала блоков цилиндров VR-6, объединенных в один W12, $\gamma_{цW} = 72°$ (рис. 1). Расположением цилиндров по схеме VR обусловлено применение в объединенных двигателях дезаксиального кривошипно-шатунного механизма (КШМ): с отрицательным дезаксажем у левого (с носка коленчатого вала) ряда цилиндров и положительным — у правого ряда. Равномерное чередование вспышек обеспечено надлежащим выбором углового положения шатунных шеек коленчатого вала.

Равномерное чередование вспышек в двигателе типа VR с четным числом цилиндров возможно

при условии, что поршни в нем попарно — по одному из левого и правого ряда цилиндров — одновременно приходят в положение верхней мертвой точки (ВМТ) [1]. Это условие выполняется, если угол смещения кривошипов (шатунных шеек) таких цилиндров составляет по модулю:

$$\gamma_{ш} = \gamma_{ц} + 2|\varphi_{вмт}|,$$

где $|\varphi_{вмт}| = \arcsin\dfrac{\lambda K}{(1+\lambda)}$ — абсолютное значение угла поворота кривошипа относительно оси цилиндра в дезаксиальном КШМ при положении механизма в ВМТ; $K = \dfrac{e}{R}$ — относительное смещение оси цилиндра по модулю; R — радиус кривошипа; e — абсолютная величина смещения; $\lambda = R/L_{ш}$; $L_{ш}$ — длина шатуна.

Для значений e = 12,5 мм, K = 0,263 и λ = 0,283, характерных для рассматриваемого двигателя, получим $|\varphi_{вмт}| = 3°20'$; $\gamma_{ш} = 21°40'$.

Для равномерного чередования вспышек в двигателе VR с четным числом цилиндров необходимо также, чтобы кривошипы каждого ряда цилиндров в двигателе VR-6 были развернуты относительно друг друга равномерно, т. е. на угол:

$$\gamma_{к} = \frac{360°}{0,5 \cdot 6} = 120°.$$

Как отмечалось в [1], для лучшего уравновешивания двигателя VR-6 кривошипы его левого и правого рядов цилиндров закручивают в противоположные стороны: у левого ряда — по ходу часовой стрелки, у правого ряда — против хода часовой стрелки. При расположении шатунных шеек, показанном на рис. 2, в ВМТ левого двигателя VR-6 попарно приходят кривошипы 1-го и 6-го, 2-го и 5-го, 3-го и 4-го цилиндров; в ВМТ правого VR-6 попарно приходят кривошипы 7-го и 12-го, 8-го и 11-го, 9-го и 10-го цилиндров.

При объединении двух двигателей VR-6 в один W12 равномерное чередование вспышек обеспечивается смещением шатунных шеек правого VR-6 относительно шеек идентично расположенных цилиндров левого VR-6 на угол:

$$\Delta\gamma_{W} = \frac{720°}{i_{W}} - \gamma_{цW},$$

где i_{W} — общее число цилиндров двигателя W. Положительным $\Delta\gamma_{W}$ здесь считается смещение в сторону, противоположную вращению коленчатого вала.

Для двигателя W12 с углом развала блоков цилиндров объединенных в нем двигателей VR-6 $\gamma_{цW} = 72°$ имеем $\Delta\gamma_{W} = -12°$. Это значит, что шатунные шейки цилиндров правого VR-6 должны опережать шейки идентично расположенных цилиндров левого VR-6 на 12° (рис. 2 и 3). Принятая схема коленчатого вала W12 обеспечивает равномерное чередование вспышек, например, при порядке работы цилиндров 1-7-5-11-3-9-6-12-2-8-4-10.

Центробежные силы инерции вращающихся масс КШМ в двигателе VR-6 являются уравновешенными [1], поэтому они уравновешены и в двигателе W12.

Момент центробежных сил инерции в двигателе W12 возникает в случае, если не уравновешена отдельным противовесом центробежная сила в каждом цилиндре. Равнодействующий момент от центробежных сил инерции, возникающих тогда в левом VR-6 [1]:

$$M_{R1.6} = 1,302 K_{R} a,$$

где K_{R} — центробежная сила инерции (по модулю), действующая в одном цилиндре:

$$K_{R} = m_{R} R\omega^{2} = (m_{к} + m_{кш}) R\omega^{2},$$

где m_{R} — вращающаяся масса КШМ (одного цилиндра), приведенная к центру шатунной шейки;

$m_{к}$ — неуравновешенная масса колена (с учетом конструкции коленчатого вала — одна щека и шатунная шейка), приведенная к радиусу кривошипа;

$m_{кш}$ — часть массы шатуна, приведенная к центру шатунной шейки;

ω — угловая скорость коленчатого вала;

$2a$ — расстояние между осями цилиндров, расположенных в одном ряду (рис. 4).

Момент $M_{R1.6}$ действует во вращающейся плоскости, отстающей от плоскости 1-го кривошипа на угол $49°10'$, и может быть уравновешен противовесами $m_{пр1.6}$, устанавливаемыми в этой плоскости на продолжении щек 1-го и 6-го цилиндров [1].

Соответственно, равнодействующий момент центробежных сил инерции, возникающих в правом VR-6:

$$M_{R7.12} = 1,302 K_{R} a,$$

действует во вращающейся плоскости, отстающей от плоскости 7-го кривошипа на угол $49°10'$ (от плоскости 1-го кривошипа — на $37°10'$). Этот

момент может быть уравновешен противовесами $m_{\text{пр}R7.12}$, устанавливаемыми в указанной плоскости на продолжении щек 7-го и 12-го кривошипов.

Массы $m_{\text{пр}R1.6}$ и $m_{\text{пр}R7.12}$ вращающихся противовесов создают уравновешивающие моменты:

$$M_{R1.6\ \text{ур}} = m_{\text{пр}R1.6}\,\rho_{\text{пр}R1.6}\omega^2 b_{R1.6};$$

$$M_{R7.12\ \text{ур}} = m_{\text{пр}R7.12}\rho_{\text{пр}R7.12}\omega^2 b_{R7.12},$$

где $b_{R1.6}$ и $b_{R7.12}$ — расстояния между плоскостями вращения противовесов;

$\rho_{\text{пр}R1.6}$ и $\rho_{\text{пр}R7.12}$ — расстояния от центра тяжести противовеса до оси вращения вала.

По модулю уравновешивающие моменты должны быть равны моментам $M_{R1.6}$ и $M_{R7.12}$, поэтому:

$$m_{\text{пр}R1.6} = 1{,}302 m_R \frac{R}{\rho_{\text{пр}R1.6}} \frac{a}{b_{R1.6}};$$

$$m_{\text{пр}R7.12} = 1{,}302 m_R \frac{R}{\rho_{\text{пр}R7.12}} \frac{a}{b_{R7.12}}.$$

Количество уравновешивающих противовесов можно сократить с четырех до двух, заменяя для этого противовесы, расположенные на одном конце вала, одним противовесом, эквивалентным им по уравновешивающему действию. Угловое положение таких противовесов и их массы узнаем, определив величину и плоскость действия суммарного момента M_R всех центробежных сил инерции. Выполняя векторное сложение моментов $M_{R1.6}$ и $M_{R7.12}$ (рис. 5), найдем, что суммарный момент M_R в двигателе W12, вычисленный по теореме косинусов, равен:

$$M_R = 2{,}59 K_R a.$$

Он действует во вращающейся плоскости, отстающей от плоскости 1-го кривошипа на угол $43°10'$, и может быть уравновешен противовесами $m_{\text{пр}R}$, устанавливаемыми в этой плоскости на продолжении щек 1-го и 12-го цилиндров.

По модулю уравновешивающий момент должен быть равен моменту M_R, поэтому:

$$m_{\text{пр}R} = 2{,}59 m_R \frac{R}{\rho_{\text{пр}R}} \frac{a}{b_R},$$

где b_R — расстояние между плоскостями вращения противовесов; $\rho_{\text{пр}R}$ — расстояние от центра тяжести противовеса до оси вращения коленчатого вала.

Полученное выражение свидетельствует, что замена четырех противовесов двумя противовесами, эквивалентными по уравновешивающему действию, в данном случае не приводит к уменьшению общей уравновешивающей массы и имеет смысл только в целях упрощения формы коленчатого вала.

Силы инерции 1-го и 2-го порядков возвратно-поступательно движущихся масс в двигателях VR-6 полностью уравновешены [1], поэтому они уравновешены и в двигателе W12, объединяющем два VR-6 с абсолютно идентичными схемами КШМ.

Моменты сил инерции возвратно-поступательно движущихся масс в двигателе W12 удобно анализировать, заменяя указанные силы, как и для двигателя VR-6 [1], их проекциями на ортогональные координатные оси *X* и *У*. Оси *У* перпендикулярны оси коленчатого вала и совпадают с направлением биссектрис угла развала $\gamma_{\text{цw}}$ блоков цилиндров; оси *X* перпендикулярны плоскости таких биссектрис и лежат в плоскости, проходящей через точки пересечения осей цилиндров в каждом из объединяемых двигателей VR-6 (рис. 6).

Силы инерции первого порядка, действующие по оси соответственно 1-го, 2-го и других цилиндров, в функции угла φ поворота первого кривошипа дезаксиального КШМ определяются формулами:

$$P_{j1(1)} = c_1\left[\cos\varphi - \lambda K \sin\varphi\right];$$

$$P_{j1(2)} = c_1\left(\cos(\varphi + 240 + \theta) + \lambda K \sin(\varphi + 240 + \theta)\right);$$

$$P_{j1(3)} = c_1\left[\cos(\varphi + 120) - \lambda K \sin(\varphi + 120)\right];$$

$$P_{j1(4)} = c_1\left(\cos(\varphi + 120 + \theta) + \lambda K \sin(\varphi + 120 + \theta)\right);$$

$$P_{j1(5)} = c_1\left[\cos(\varphi + 240) - \lambda K \sin(\varphi + 240)\right];$$

$$P_{j1(6)} = c_1\left[\cos(\varphi + \theta) + \lambda K \sin(\varphi + \theta)\right],$$

$$P_{j1(7)} = c_1\left[\cos(\varphi - \theta'') - \lambda K \sin(\varphi - \theta'')\right];$$

$$P_{j1(8)} =$$
$$= c_1\left(\cos(\varphi + 240 + \theta - \theta'') + \lambda K \sin(\varphi + 240 + \theta - \theta'')\right);$$

$$P_{j1(9)} = c_1\left[\cos(\varphi + 120 - \theta'') - \lambda K \sin(\varphi + 120 - \theta'')\right];$$

$$P_{j1(10)} =$$
$$= c_1\left(\cos(\varphi + 120 + \theta - \theta'') + \lambda K \sin(\varphi + 120 + \theta - \theta'')\right);$$

$$P_{j1(11)} = c_1\left[\cos(\varphi + 240 - \theta'') - \lambda K \sin(\varphi + 240 - \theta'')\right];$$

$$P_{j1(12)} = c_1\left[\cos\left(\varphi + \theta - \theta''\right) + \lambda K \sin\left(\varphi + \theta - \theta''\right)\right],$$

где $c_1 = m_j R\omega^2$;

m_j — масса деталей, совершающих возвратно-поступательное движение в одном цилиндре;

$$\theta = \gamma_{ш} - \gamma_{ц} = 2\left|\varphi_{вмт}\right| = 2\arcsin\frac{\lambda K}{(1+\lambda)};$$

$$\theta'' = \Delta\gamma_{w} + \gamma_{цw} = \frac{720^\circ}{i_{w}}$$ (см. рис. 2).

Проекции сил инерции первого порядка на ось Y вычисляются по следующим формулам для 1-го, 3-го, 5-го, 8-го, 10-го и 12-го цилиндров:

$$P_{j1y(i)} = P_{j1(i)}\cos\frac{\gamma_{цw} + \gamma_{ц}}{2};$$

для 2-го, 4-го, 6-го, 7-го, 9-го и 11-го цилиндров:

$$P_{j1y(i)} = P_{j1(i)}\cos\frac{\gamma_{цw} - \gamma_{ц}}{2}.$$

Проекции тех же сил на ось X выражаются следующими формулами для 1-го, 3-го и 5-го цилиндров:

$$P_{j1x(i)} = -P_{j1(i)}\sin\frac{\gamma_{цw} + \gamma_{ц}}{2};$$

для 2-го, 4-го и 6-го цилиндров:

$$P_{j1x(i)} = -P_{j1(i)}\sin\frac{\gamma_{цw} - \gamma_{ц}}{2};$$

для 7-го, 9-го и 11-го цилиндров:

$$P_{j1x(i)} = P_{j1(i)}\sin\frac{\gamma_{цw} - \gamma_{ц}}{2};$$

для 8-го, 10-го и 12-го цилиндров:

$$P_{j1x(i)} = P_{j1(i)}\sin\frac{\gamma_{цw} + \gamma_{ц}}{2}.$$

Продольный момент сил инерции возвратно-поступательно движущихся масс рационально определять относительно точки "0" — середины коленчатого вала (рис. 6). Будем считать, что относительно этой точки положительные проекции сил инерции в 1-м, 2-м, 3-м, 7-м, 8-м и 9-м цилиндрах создают положительные моменты, а в 4-м, 5-м, 6-м, 10-м, 11-м и 12-м — отрицательные моменты. Тогда момент сил инерции первого порядка, действующий в плоскости осей Y:

$$\begin{aligned} M_{1y} = {} & (2,5a + 0,5b)P_{j1y(1)} + (1,5a + 0,5b)P_{j1y(2)} + \\ & + (0,5a + 0,5b)P_{j1y(3)} - (0,5a - 0,5b)P_{j1y(4)} - \\ & - (1,5a - 0,5b)P_{j1y(5)} - (2,5a - 0,5b)P_{j1y(6)} + \\ & + (2,5a - 0,5b)P_{j1y(7)} + (1,5a - 0,5b)P_{j1y(8)} + \\ & + (0,5a - 0,5b)P_{j1y(9)} - (0,5a + 0,5b)P_{j1y(10)} - \\ & - (1,5a + 0,5b)P_{j1y(11)} - (2,5a + 0,5b)P_{j1y(12)}, \end{aligned} \quad (1)$$

а момент тех же сил, действующий в плоскости осей X,

$$\begin{aligned} M_{1x} = {} & (2,5a + 0,5b)P_{j1x(1)} + (1,5a + 0,5b)P_{j1x(2)} + \\ & + (0,5a + 0,5b)P_{j1x(3)} - (0,5a - 0,5b)P_{j1x(4)} - \\ & - (1,5a - 0,5b)P_{j1x(5)} - (2,5a - 0,5b)P_{j1x(6)} + \\ & + (2,5a - 0,5b)P_{j1x(7)} + (1,5a - 0,5b)P_{j1x(8)} + \\ & + (0,5a - 0,5b)P_{j1x(9)} - (0,5a + 0,5b)P_{j1x(10)} - \\ & - (1,5a + 0,5b)P_{j1x(11)} - (2,5a + 0,5b)P_{j1x(12)}. \end{aligned} \quad (2)$$

Подставляя в эти уравнения выражения проекций $P_{j1y(i)}$ и $P_{j1x(i)}$ сил инерции первого порядка на оси Y и X, получим после несложных тригонометрических преобразований:

$$M_{1y} = m_j R\omega^2 a\left(\begin{aligned} & \left(A_{1y}\cos\varphi + B_{1y}\sin\varphi\right)\cos\frac{\gamma_{wц} + \gamma_{ц}}{2} + \\ & + \left(D_{1y}\cos\varphi + E_{1y}\sin\varphi\right)\cos\frac{\gamma_{wц} - \gamma_{ц}}{2} \end{aligned}\right);$$

$$M_{1x} = m_j R\omega^2 a\left[\begin{aligned} & \left(A_{1x}\cos\varphi + B_{1x}\sin\varphi\right)\sin\frac{\gamma_{wц} + \gamma_{ц}}{2} + \\ & + \left(D_{1x}\cos\varphi + E_{1x}\sin\varphi\right)\sin\frac{\gamma_{wц} - \gamma_{ц}}{2} \end{aligned}\right],$$

где

$$\left.\begin{aligned} & A_{1y} = 3 - \sqrt{3}\lambda K - \left(3 + \sqrt{3}\lambda K\right)\cos\theta' + \left(\sqrt{3} - 3\lambda K\right)\sin\theta'; \\ & B_{1y} = -\sqrt{3} - 3\lambda K + \left(3 + \sqrt{3}\lambda K\right)\sin\theta' + \left(\sqrt{3} - 3\lambda K\right)\cos\theta''; \\ & D_{1y} = -\left(3 + \sqrt{3}\lambda K\right)\cos\theta + \left(\sqrt{3} - 3\lambda K\right)\sin\theta + \\ & + \left(3 - \sqrt{3}\lambda K\right)\cos\theta'' + \left(\sqrt{3} + 3\lambda K\right)\sin\theta''; \\ & E_{1y} = \left(3 + \sqrt{3}\lambda K\right)\sin\theta + \left(\sqrt{3} - 3\lambda K\right)\cos\theta + \\ & + \left(3 - \sqrt{3}\lambda K\right)\sin\theta'' - \left(\sqrt{3} + 3\lambda K\right)\cos\theta''; \\ & A_{1x} = -3 + \sqrt{3}\lambda K - \left(3 + \sqrt{3}\lambda K\right)\cos\theta' + \left(\sqrt{3} - 3\lambda K\right)\sin\theta'; \\ & B_{1x} = \sqrt{3} + 3\lambda K + \left(3 + \sqrt{3}\lambda K\right)\sin\theta' + \left(\sqrt{3} - 3\lambda K\right)\cos\theta'; \\ & D_{1x} = \left(3 + \sqrt{3}\lambda K\right)\cos\theta - \left(\sqrt{3} - 3\lambda K\right)\sin\theta + \\ & + \left(3 - \sqrt{3}\lambda K\right)\cos\theta'' + \left(\sqrt{3} + 3\lambda K\right)\sin\theta''; \\ & E_{1x} = -\left(3 + \sqrt{3}\lambda K\right)\sin\theta - \left(\sqrt{3} - 3\lambda K\right)\cos\theta + \\ & + \left(3 - \sqrt{3}\lambda K\right)\sin\theta'' - \left(\sqrt{3} + 3\lambda K\right)\cos\theta''; \\ & \theta' = \theta - \theta''. \end{aligned}\right\} \quad (3)$$

При $\lambda = 0{,}283$; $K = 0{,}263$; $\theta = 6°40'$; $\theta'' = 60°$; $\theta' = \theta + \theta'' = -53°20'$; получим:

$$M_{1y} = m_j R\omega^2 a \times$$
$$\times \left[\begin{array}{l} \left(-0,2062\cos\varphi - 3,5403\sin\varphi\right)\cos\dfrac{\gamma_{цw} + \gamma_ц}{2} + \\ + \left(0,1976\cos\varphi + 3,3928\sin\varphi\right)\cos\dfrac{\gamma_{цw} - \gamma_ц}{2} \end{array} \right]; \quad (4)$$

$$M_{1x} = m_j R\omega^2 a \times$$
$$\times \left[\begin{array}{l} \left(-5,9617\cos\varphi + 0,3472\sin\varphi\right)\sin\dfrac{\gamma_{цw} + \gamma_ц}{2} + \\ + \left(6,0469\cos\varphi - 0,3522\sin\varphi\right)\sin\dfrac{\gamma_{цw} - \gamma_ц}{2} \end{array} \right]. \quad (5)$$

Приравняв нулю производные выражений (4) и (5) по углу φ, найдем, что экстремальные значения M_{1y} и M_{1x} в случае $\gamma_ц = 15°$, $\gamma_{цw} = 72°$ имеют место соответственно при:

$$\varphi_{1y} = 86°40' \pm 180°k; \ (k = 0, 1, 2, ...)$$
$$\text{и} \ \varphi_{1x} = 176°40' \pm 180°k.$$

По модулю эти экстремальные значения составляют:

$$\left|M_{1y}\right|_{max} = 0,4143 m_j R\omega^2 a;$$

$$\left|M_{1x}\right|_{max} = 1,2205 m_j R\omega^2 a.$$

Данные выводы подтверждаются результатами прямого численного суммирования слагаемых по формулам (1) и (2), выполненного на ЭВМ (рис. 7).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Вальехо Мальдонадо П. Р., Руновский К. С., Чайнов Н. Д.** Уравновешивание 6-цилиндрового четырехтактного двигателя типа VR с углом развала цилиндров 15° и дезаксиальным кривошипно-шатунным механизмом // Грузовик. — 2016. — № 5. — С. 3—13.
2. **Конструирование** двигателей внутреннего сгорания: Учебник для студентов вузов / Н. Д. Чайнов, Н. А. Иващенко, А. Н. Краснокутский, Л. Л. Мягков; Под ред. Н. Д. Чайнова. — М.: Машиностроение, 2010. — 496 с.
3. **Кинематический** и динамический расчеты кривошипно-шатунного механизма с прицепным шатуном V-образного двигателя внутреннего сгорания с применением программы mathcad: Учебно-методическое пособие для выполнения практических и лабораторных работ, курсовых и дипломных проектов / П. Р. Вальехо Мальдонадо, Д. К. Гришин, Н. Д. Чайнов. — М.: МГМУ "МАМИ", 2012. — 120 с.
4. **Двигатели внутреннего сгорания.** В 3 кн. Кн. 2. Динамика и конструирование: учебник / В. Н. Луканин, И. В. Алексеев и др.; под ред. В. Н. Луканина. 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Высш. шк., 2005. — 400 с.

Продажи растут

Продажи КАМАЗов на российском рынке выросли. Только в первом квартале 2017 г. было продано 5750 ед. автотехники КАМАЗ (в АППГ — 4182 ед.). По словам генерального директора Торгово-финансовой компании "КАМАЗ" Андрея Игнатьева, положительная динамика по продажам наблюдается во всех регионах — Приволжском, Центральном, Южном и других. "Но о взрывном росте спроса в целом пока говорить не приходится. Есть оживление строительного рынка и в сегменте магистральных перевозок, — отметил Игнатьев. — Мы очень вовремя стали выпускать новые модели. Анализ продаж говорит о том, что основной рост у нас именно в сегменте нового модельного ряда, по традиционным моделям цифры стабильны". С каждым годом, начиная с 2014 г., растут продажи магистральных тягачей КАМАЗ-5490, что говорит об их высокой оценке потребителем. Также лидерами продаж в традиционном сегменте стали КАМАЗ-43118, КАМАЗ-65115 и тяжелый автомобиль КАМАЗ-6520 "люкс" с комфортабельной кабиной.

"Мы многое изменили в плане подходов к продажам. Сегодня не просто продаем автомобили, а стараемся понять реальные потребности клиента и особенности управления их парками. Именно такой партнерский подход поможет нам завоевать лояльность клиентов на долгие годы, — уверен Игнатьев. — Мировая практика показывает, что второй раз покупатель возвращается именно благодаря сервису. Поэтому комплексные сервисные контракты — еще одно новшество, которое мы вывели на рынок".

Кроме того, компания предлагает фиксированную цену в стоимости лизинга, когда клиент не платит за обслуживание, и это включено в стоимость автомобиля. Что касается работы с дилерами, то сегодня акцент делается не только на качество, но и на скорость обслуживания. "Большие компании хотят иметь весь пакет документов максимум через час, — пояснил Игнатьев. — Также мы выводим ряд электронных продуктов, внедряем электронный документооборот, электронные ПТС".

Пресс-служба ПАО "КАМАЗ"

УДК 629.331

А. Д. Чернышев, аспирант, Южно-Уральский государственный университет (НИУ), г. Челябинск
E-mail: ad.chernyshev@icloud.com

АНАЛИЗ ДОСТОИНСТВ И НЕДОСТАТКОВ АВТОМОБИЛЬНЫХ ТРАНСМИССИЙ

В работе приведен анализ достоинств и недостатков наиболее распространенных типов автомобильных трансмиссий. Предложена классификация трансмиссий автомобилей по способу изменения передаточного отношения. Указано, что бесступенчатые трансмиссии могут выполняться с промежуточным электрическим, гидравлическим или пневматическим энергетическим звеном, а также, что существует несколько конструктивных исполнений последовательной электрической трансмиссии. Предложены энергетические диаграммы работы для параллельной, последовательной и параллельно-последовательной схем построения бесступенчатых трансмиссий. На основе проведенных исследований наиболее перспективной для использования признана электрическая бесступенчатая трансмиссия, построенная по последовательной схеме, как имеющая наиболее высокий кпд, и обладающая возможностью построения систем с более высокой управляемостью.

Ключевые слова: *транспортное средство, автомобиль, коробка переключения передач, последовательная трансмиссия, параллельная трансмиссия.*

Research objective of this memoir is classification the most common type of vehicle transmission for analysis of their merits and demerits. The classification of automobile transmission by the way of change of gear ratio if offered in the article. There are continuously variable transmissions based on electrical unit, hydraulic unit or pneumatic unit. Some design for serial electric transmission is offered. Energy diagrams by serial transmission, parallel transmission and combination transmission are offered. The merits and demerits of automobile transmissions are analyzed. Then we recognized that the serial electric transmission is most promising. Because it has a high efficiently and facility for system with greater steerability then car based other transmissions, farther it has feasibilities for the greatest achievement of active safety systems.

Keywords: *vehicle, automobile, transmission gearbox, serial transmission, parallel transmission.*

Введение

Трансмиссия — важный узел транспортного средства, предназначенный для преобразования энергии энергетической установки в энергию движения, а также для изменения тяговых усилий, скоростей и направления движения транспорта. На современном этапе автомобилестроения для повышения удобства управления транспортом, топливной экономичности и улучшения тягово-скоростных показателей все чаще применяются бесступенчатые передачи или автоматические коробки передач [1].

Классификация трансмиссий

Рассмотрим основные схемы построения трансмиссий, используемые в автомобилестроении. Основным критерием классификации может быть принят способ изменения передаточного отношения. В этом случае по наличию разрыва потока мощности можно выделить (рис. 1):

— ступенчатую трансмиссию, позволяющую получать только дискретные тягово-скоростные характеристики с разрывом потока мощности во время движения;

— бесступенчатую трансмиссию, позволяющую изменять тягово-скоростные характеристики без разрыва потока мощности от энергоустановки к приводам;

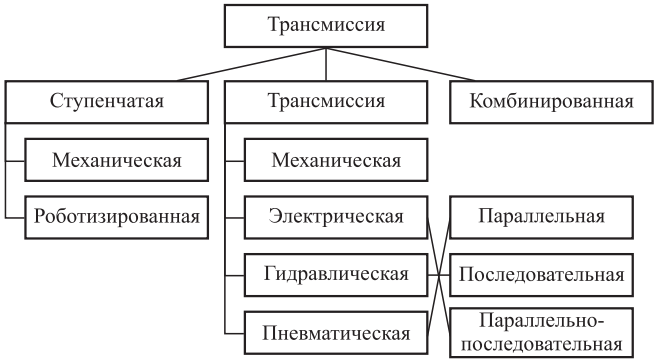

Рис. 1. Классификация трансмиссий автомобилей

— комбинированную (бесступенчатую с электромеханическими или гидромеханическими переборами передаточных чисел) трансмиссию, имеющую ограниченное число диапазонов в тягово-скоростной характеристике, переключение между которыми производится с разрывами потока мощности, но внутри этих диапазонов изменение характеристики производится бесступенчато [2].

Благодаря своей простоте, в настоящее время наиболее распространенными являются механические ступенчатые трансмиссии [2]. Они включают в себя ступенчатую коробку передач и фрикционное сцепление. Регулирование тягово-скоростной характеристики осуществляется непосредственно водителем, воздействием на специальные органы управления. К достоинствам таких трансмиссий можно отнести простоту конструкции и, как следствие, низкую стоимость, высокие надежность и ремонтопригодность, а также высокий кпд (от 70 до 90 %). К недостаткам — ступенчатую тягово-скоростную характеристику и ручное регулирование скорости и крутящего момента [3].

Роботизированные ступенчатые трансмиссии отличаются тем, что функции выключения сцепления и переключения передач осуществляется в автоматизированном виде посредством электро- или гидропривода, алгоритм работы которых определяется программным способом. Время на переключение передач не превышает 0,05 с. Автоматизированное переключение передач позволяет получать существенно меньшую дискретность тягово-скоростных характеристик. Кпд роботизированных трансмиссий такой же, как и у ступенчатых механических — 70—90 %. К недостаткам следует отнести сложность устройств включения-выключения сцепления [4].

В основе комбинированной трансмиссии лежит автоматическая коробка передач, которая состоит из гидротрансформатора, механической коробки переключения передач и системы автоматического управления. Гидротрансформатор не только выполняет функции сцепления, но и в общем случае осуществляет регулировку крутящего момента в зависимости от оборотов двигателя [5]. Достоинства комбинированной трансмиссии — высокая надежность, бесступенчатое регулирование момента и скорости, недостатки — невысокий кпд (60—80 %) и как следствие более низкая динамика транспортного средства и повышенный расход топлива.

Бесступенчатые трансмиссии можно разделить по виду используемой энергии на механические (вариатор), гидравлические, электрические и пневмонические [6].

Отличием механической трансмиссии (вариатора) от остальных видов бесступенчатых трансмиссий является отсутствие преобразования энергии одного вида в другой, т. е. механическая трансмиссия преобразует только параметры механической энергии — момент, скорость и направление движения. По своей сути вариатор является клиноременной передачей с автоматически плавно изменяющимся передаточным числом, снабженной системой управления, механизмом, обеспечивающим движение транспорта задним ходом, и механизмом сцепления (в качестве которого используются гидротрансформатор или сцепление с электромеханическим управлением) для отключения трансмиссии от двигателя.

Достоинствами бесступенчатой механической трансмиссии являются плавное изменение скорости и крутящего момента, а также возможность обеспечения энергоэффективного согласования оборотов коленчатого вала двигателя с нагрузкой на автомобиль [7]. Кроме того, опыт эксплуатации вариаторов показал их высокую надежность. В качестве недостатков можно отметить ограниченные возможности по передаче мощности и высокую технологическую и техническую сложность конструкции.

В трансмиссиях с двойным преобразованием вида энергии механическая энергия с вала двигателя преобразуется в другой вид энергии (электрическую, гидравлическую или пневматическую), а затем обратно в механическую, передаваемую на колеса транспортного средства [8]. Принцип построения таких трансмиссий одинаков (не зависит от вида энергии): энергия с двигателя внутреннего сгорания (ДВС) приводит в движение генератор определенного вида энергии (электрической, гидравлической или пневмонической), эта энергия поступает в один или несколько моторов, которые уже и приводят в движение транспортное средство [9]. Управление потоками энергии осуществляется системой автоматического управления по заданию от водителя (рис. 2).

В случае реализации электрической бесступенчатой трансмиссии двигатель, работающий в режиме постоянной мощности, вращает ротор электрогенератора (Г), который в свою очередь питает тяговый электрический двигатель. Энергия, вырабатываемая системой ДВС-Г при движении транспортного средства с небольшими скоростями, а также энергия рекуперации при торможении сохраняется в аккумуляторе (буфере) и затем используется во время пиковых нагрузок, например, при разгонах или подъемах. При этом мощность системы ДВС-Г устанавливается

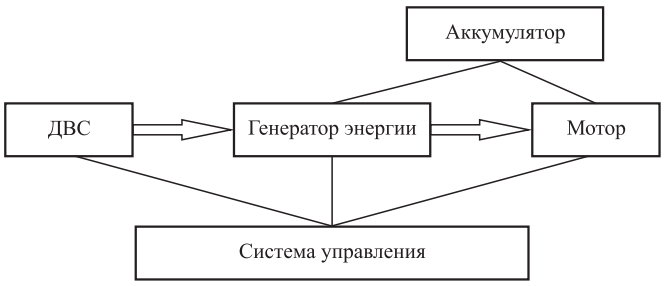

Рис. 2. Бесступенчатая трансмиссия с промежуточным преобразованием энергии

средней мощности движения, а пиковые нагрузки при разгоне компенсируются благодаря энергии буфера (энергии, запасенной в аккумуляторе).

Достоинствами электрической бесступенчатой трансмиссии являются: плавное управление моментом и скоростью, высокая динамика и маневренность транспортного средства, высокая надежность, а также возможность рекуперации энергии и как следствие высокий (до 95 %) кпд. К недостаткам следует отнести высокую технологическую и техническую сложность конструкции, низкие массогабаритные показатели [10].

Гидравлическая трансмиссия состоит из ДВС, насоса, гидромотора, аккумулятора и ресивера. Принцип действия заключается в том, что давление жидкости от насоса передается по трубопроводам высокого давления и преобразуется гидромотором в крутящий момент, регулирование скорости и момента осуществляется с помощью средств пропорциональной гидроавтоматики.

Достоинства гидравлической трансмиссии: плавное управление моментом и скоростью; возможность рекуперации энергии в гидроаккумуляторе. Недостатки: высокая технологическая и техническая сложность конструкции; сложности эксплуатации при низких температурах; необходимость в системе кондиционирования и очистки рабочей жидкости; низкие массогабаритные показатели; повышенная вибрация; сравнительно невысокий кпд (до 85 %) [6].

По устройству пневматическая трансмиссия аналогична гидравлической, за исключением того, что вместо энергии сжатой жидкости используется энергия сжатого воздуха. Достоинства и недостатки такие же, как и у гидравлической трансмиссии.

По способу формирования потоков энергии бесступенчатые трансмиссии бывают параллельного, последовательного или параллельно-последовательного типов [8].

Особенности работы параллельной, последовательной и параллельно-последовательной схемы построения бесступенчатых трансмиссий

Рассмотрим особенности вариантов схем бесступенчатых трансмиссий на примере электрической. Следует отметить, что энергетика работы у электрической, гидравлической и пневматической бесступенчатых трансмиссий идентична.

Схема параллельного построения трансмиссии, приведенная на рис. 3, предполагает, что электромотор устанавливается между ДВС и механической коробкой передач и работает не только как мотор, но и как генератор и стартер для ДВС. Электромотор помогает ДВС в режимах разгона и движения на подъем транспортного средства. То, что в такой схеме используются уже имеющиеся варианты МКП, обусловливает высокую технологичность данной схемы построения. Но в то же время она не позволяет отказаться от механической составляющей трансмиссии. Кроме того, в такой схеме необходимо внедрение сложной системы сцепления на основе автоматически управляемых муфт [11].

При последовательной схеме построения трансмиссии (рис. 4) автомобиль приводится в движение от электродвигателя. Двигатель внутреннего сгорания соединен только с генератором, который в свою очередь питает электродвигатель и заряжает аккумуляторную батарею. Преимущества данной схемы заключаются в возможности построения любой характеристики электромотора благодаря автоматизированным системам управления. Это позволяет электродвигателю реализовать свой максимальный момент на любых оборотах.

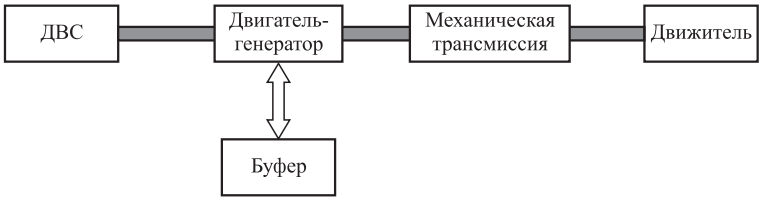

Рис. 3. Параллельная схема построения трансмиссии

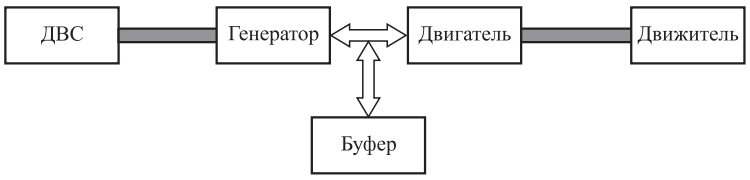

Рис. 4. Последовательная схема построения трансмиссии

Существует несколько конструктивных схем для реализации последовательной трансмиссии: колесная пара с одним движителем механически зависимых колес, колесная пара с несущей конструкцией ведущего моста и двумя механически взаимонезависимыми движителями, колесная пара с двумя полуосями, угловыми редакторами и механически взаимонезависимыми движителями, колесная пара с двумя полуосями и механически взаимонезависимыми движителями, колесная пара с механически взаимонезависимыми движителями на основе мотор-колес (рис. 5).

На рис. 5, *а* представлена схема с одним двигателем и механически связанными колесами. Крутящий момент от двигателя передается на колеса через механические связи и дифференциальный редуктор для разделения потока мощности. Ее преимущества: простота конструкции, использование одного электродвигателя, относительно низкая стоимость. Недостатки: потеря тягового или тормозного усилия колесной пары при потере сцепления с дорогой одного из колес (особенности устройства дифференциального редуктора), невозможность управления тяговым или тормозным усилием каждого из колес в отдельности для повышения управляемости транспортного средства, зависимый тип подвески.

На рис. 5, *б* приведена схема с механически несвязанными движителями и несущей конструкцией ведущего моста. Вращательный момент от электродвигателей передается колесам через механические связи и угловые редукторы. Преимущества данной схемы заключаются в простоте конструкции, возможности индивидуального управления тяговыми характеристиками каждого колеса с целью повышения управляемости, а также относительно низкая стоимость. К недостаткам схемы следует отнести смещение осей электродви-

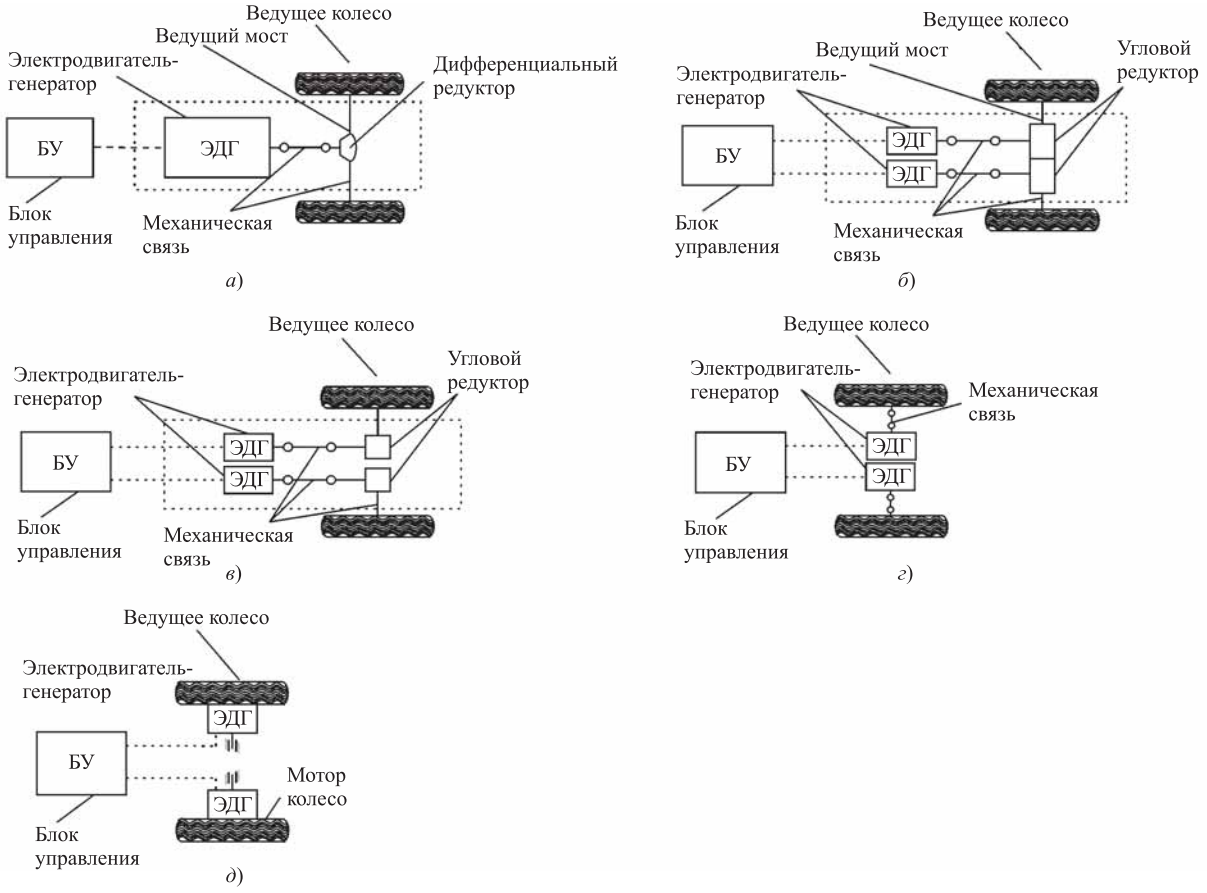

Рис. 5. Варианты конструктивных схем для реализации последовательной трансмиссии:

а — колесная пара с одним движителем механически зависимых колес; *б* — колесная пара с несущей конструкцией ведущего моста и двумя механически взаимонезависимыми движителями; *в* — колесная пара с двумя полуосями, угловыми редакторами и механически взаимонезависимыми движителями; *г* — колесная пара с двумя полуосями и механически взаимонезависимыми движителями; *д* — колесная пара с механически взаимонезависимыми движителями на основе мотор-колеса

гателя и ведущего моста, обусловленное их взаимным расположением, необходимость использования угловых редукторов, не обладающих высокими техническими показателями, зависимый тип подвески.

На рис. 5, *в* представлена схема с независимой подвеской и механически несвязанными движителями. Принцип работы аналогичен принципу схемы, представленной на рис. 6, за исключением отсутствия единого ведущего моста. Обладает следующими преимуществами: относительная простота конструкции, возможность индивидуального управления тяговыми характеристиками каждого колеса, независимая подвеска. К недостаткам следует отнести использование углового редуктора, смещение осей электродвигателя и полуосей вследствие их взаимного расположения.

На рис. 5, *г* изображена схема, в которой крутящий момент от электродвигателей передается на колеса соосно, через механические связи. К достоинствам следует отнести простоту конструкции, возможность индивидуального управления тяговыми характеристиками каждого колеса, независимую подвеску, возможность исключения механических редукторов. К недостаткам относятся необходимость использования высокомоментных электродвигателей.

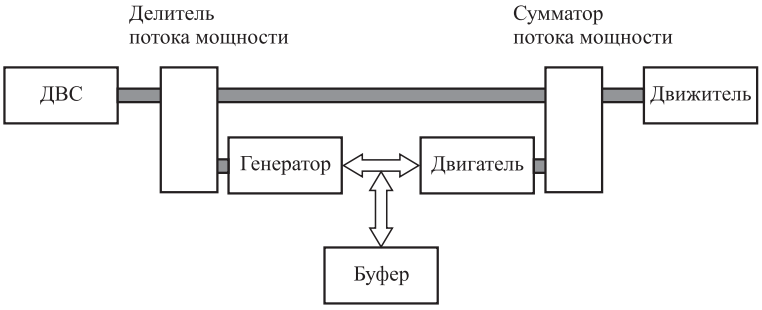

Рис. 6. Последовательно-параллельная схема построения трансмиссии

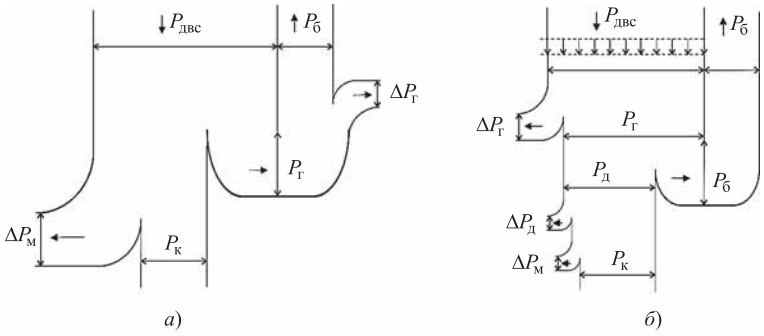

Рис. 7. Энергетические характеристики параллельной (*а*) и последовательной (*б*) схем построения при зарядке буфера

На рис. 5, *д* приведена схема с использованием мотор-колеса, где колесо и электродвигатель объединены в единый узел. Такая схема обладает следующими достоинствами: индивидуальное управление тяговыми характеристиками колес, независимая подвеска, объединение колеса и электродвигателя, благодаря чему исключается большинство механических связей. К недостаткам следует отнести относительно высокую подрессоренную массу, высокую стоимость. Проблема с высокой подрессоренной массой успешно решается применением современных систем мотор-колеса, с достижением веса системы в 12,5 кг при размере колеса R15, что не намного больше веса колеса с обычным штампованным диском [12—14].

При последовательно-параллельной схеме (см. рис. 6) двигатель внутреннего сгорания и электродвигатель соединены через планетарный редуктор. При этом мощность каждого из двигателей может передаваться на ведущие колеса одновременно в соотношении от 0 до 100 % номинальной мощности.

Энергетические диаграммы параллельной, последовательной и параллельно-последовательной схемы построения бесступенчатых трансмиссий

Для понимания энергетических показателей различных схем построения трансмиссий следует исследовать потоки энергии при различных режимах движения. В данном контексте все режимы движения разделяются по принципу зарядки и разрядки энергетического буфера. Так, при торможении и движении "с горы" буфер может заряжаться, что показано на рис. 7. А при разгоне и движении "в гору" буфер будет отдавать энергию двигателю, приводящему в движение транспорт, приведено на рис. 8.

Здесь $P_{двс}$ — мощность, вырабатываемая ДВС; $P_г$ — мощность, вырабатываемая генератором; $P_б$ — мощность, передаваемая в буфер энергии; $P_д$ — мощность двигателя; $P_к$ — мощность на движителях (колесах), $\Delta P_м$ — потери мощности в механических частях трансмиссии (МКПП, дифференциале, ШРУСах и т. д.), $\Delta P_г$ — потери в генераторе, $\Delta P_д$ — потери в двигателе.

Энергетические характеристики последовательно-параллельной трансмиссии, объединяющей обе схемы построения, благодаря возможности регулирования потоков

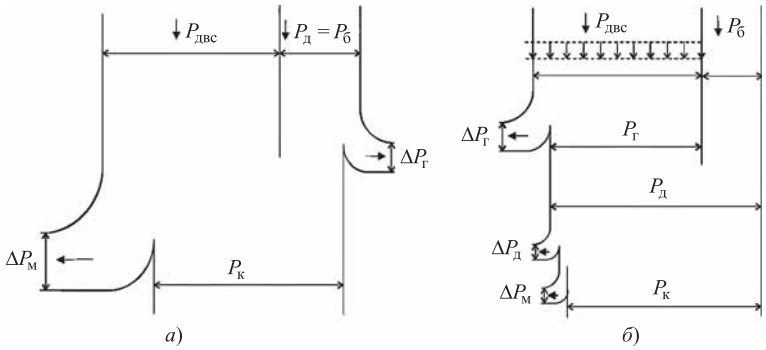

Рис. 8. Энергетические характеристики параллельной (*а*) и последовательной (*б*) схем построения при разрядке буфера

мощности по механической части и электрической, будут представлять собой комбинацию характеристик одной и другой схемы. Во время разгона, торможения и движения под уклон энергетические характеристики будут аналогичны последовательной схеме, а во время движения с постоянной скоростью – параллельной схеме.

Все механические потери в трансмиссии ($\Delta P_м$) делятся на потери в механизме сцепления ($\eta_{сц}$ = = 0,95—0,98), в коробке передач ($\eta_{КП}$ = 0,9—0,93), ШРУСах или в карданной передаче ($\eta_{шрус}$ = = 0,9—0,95), в главной передаче ($\eta_{гп}$ = 0,89—0,92), дифференциале ($\eta_{диф}$ = 0,94—0,97), подшипниках ($\eta_ц$ = 0,99—0,995). КПД электродвигателя составляет $\eta_{эд}$ = 0,9—0,97, так же, как и генератора $\eta_{эг}$ [15].

Кпд для параллельной системы при разрядке буфера рассчитывают следующим образом.

Кпд механической части системы находится с помощью выражения:

$$\eta_{мех} = \eta_{сц}\eta_{КП}\eta_{ШРУС}\eta_{ГП}\eta_{диф}\eta_{п}; \quad (1)$$

$$\eta_{мех} = (0,95 - 0,98)(0,9 - 0,93)(0,9 - 0,95) \times \times (0,89 - 0,92)(0,94 - 0,97)(0,99 - 0,95) = = 0,640 - 0,77.$$

Кпд электрической части системы:

$$\eta_{эл} = \eta_{эд}; \quad \eta_{эл} = 0,9 - 0,97. \quad (2)$$

Кпд системы в целом:

$$\eta = \eta_{эл}\eta_{мех}; \quad \eta = (0,64 - 0,77)(0,9 - 0,97) = 0,57 - 0,75. \quad (3)$$

Основываясь на (3), можно сказать, что потери при параллельном построении могут достигать 43 % полезной мощности.

Кпд для последовательной системы при разрядке буфера рассчитывают так.

Кпд механической части системы складывается только из кпд подшипников в колесах. Его находят с помощью выражения:

$$\eta_{эл} = \eta_{п}; \quad \eta_{эл} = 0,99. \quad (4)$$

Кпд электрической части системы:

$$\eta = \eta_{эд}\eta_{эг}; \quad \eta = (0,9 - 0,97)(0,9 - 0,97) = 0,81 - 0,94. \quad (5)$$

КПД системы в целом:

$$\eta = \eta_{эл}\eta_{мех}; \quad \eta = 0,99(0,81 - 0,94) = 0,8 - 0,93. \quad (6)$$

Из выражений (3) и (6) следует, что в последовательной системе потери более чем в 2 раза меньше, чем в параллельной. Это обусловлено существенным сокращением числа элементов механической части трансмиссии в такой системе.

Таким образом мы видим, что с энергетической точки зрения применение последовательной системы электрической трансмиссии целесообразнее, нежели другие виды трансмиссий.

Следует отметить, что параллельная схема является более технологичной, ведь это всего лишь внедрение в уже существующую трансмиссию электромотора между ДВС и КП. Электромотор компенсирует невозможность ДВС работать на низких оборотах (менее 500—700 мин$^{-1}$), то есть при разгонах и при движении с низкой скоростью [16]. Однако в последовательной схеме, несмотря на высокую техническую сложность реализации, могут быть обеспечены наиболее благоприятные тягово-скоростные характеристики транспортного средства.

Комбинированная схема построения трансмиссии обладает всеми преимуществами последовательной трансмиссии, кроме исключения потерь мощности в механической части трансмиссии. Также ей необходима сложная система для управления потоками мощности, что повышает техническую сложность реализации.

Многие развитые страны мира объявили о переходе на электромобили и гибридные автомобили для снижения загрязнения окружающей среды в городах. Так как электрические

трансмиссии могут применяться как в основе гибридных автомобилей, так и в основе электромобилей, разработка электрической трансмиссии является актуальной темой научного исследования [17].

Применение электрической бесступенчатой трансмиссии [18], построенной по последовательной системе, позволяет повысить энергетические показатели транспортного средства, локально снизить загрязнение окружающей среды вредными выбросами, а также позволит создать автомобиль с высокими динамическими показателями, обусловленными гибкой тягово-скоростной характеристикой.

Заключение

В результате проведенного обзора был проведен анализ достоинств и недостатков наиболее распространенных типов трансмиссий, на основе которого наиболее перспективной признана электрическая бесступенчатая трансмиссия, построенная по принципу индивидуального электропривода каждого колеса, как имеющая наиболее высокий кпд, и обладающая возможностями построения систем с более высокой управляемостью и имеющая практическое применение в основе электромобилей и гибридных автомобилей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Давыдов В. В., Пронин Е. Е., Стригуненко В. В.** Сравнительный анализ автомобильных трансмиссий тяжелых коммерческих транспортных средств // Журнал автомобильных инженеров. — 2013. — № 3 (80). — С. 38—46.
2. **Анализ** существующих конструкций трансмиссий / В. О. Богомолов, В. И. Клименко, А. В. Ужва, Н. Г. Михалевич, Н. Н. Сильченко // Автомобильный транспорт. — 2010. — № 27. — С. 17—21.
3. **Системы** современного автомобиля: Механическая коробка передач [электронный ресурс]. — http://systemsauto.ru/box/mkpp.html.
4. **Системы современного автомобиля:** Роботизированная коробка передач [электронный ресурс]. — http://systemsauto.ru/box/robot.html.
5. **Системы современного автомобиля:** Автоматическая коробка передач [электронный ресурс]. — http://systemsauto.ru/box/akpp.html.
6. **Азаров В. К., Кутенев В. Ф., Сонкин В. И.** Существует ли альтернатива дорогому электромобилю по выбросу вредных веществ и парниковых газов? // Журнал автомобильных инженеров. — 2013. — № 5. — С. 10—14.
7. **Системы современного автомобиля:** Вариатор [электронный ресурс]. —http://systemsauto.ru/box/variator.html.
8. **Гусаков С. В.** Гибридные силовые установки на основе ДВС. — М.: Изд-во РУДН, 2008. — 292 с.
9. **Системы современного автомобиля:** Гибридный автомобиль [электронный ресурс]. —http://systemsauto.ru/engine/hybrid.html.
10. **Системы современного автомобиля:** Электрический автомобиль [электронный ресурс]. — http://systemsauto.ru/engine/electric-car.html.
11. **Сурин Е. И., Голубчик Т. В.** Энергетическая эффективность электромобилей и гибридных автомобилей // Электроника и электрооборудование транспорта. — 2006. — № 6. — С. 3—5.
12. **Лазарев Д. Б.** Энергоэффективная система индивидуального электропривода ведущих колес транспортного средства: Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. — Москва, 2014. — 183 с.
13. **Разработка** алгоритмов работы электрического дифференциала с микропроцессорным управлением с использованием интеллектуальных ключей / Д. Б. Лазарев, Т. В. Голубчик, И. Р. Насибулова, Л. С. Феофанова, С. А. Феофанов // Современные проблемы науки и образования. — 2014. — № 2.
14. **Решетов Д. Н.** Детали автомобилей: Учебник для студентов машиностроительных и механических специальностей вузов. — М.: Машиностроение, 1989. — 496 с.
15. **Ильинских Н. Ф.** Основы электропривода. — М.: МЭИ, 2003. — 225 с.
16. Чернышев А. Д. Сравнительный анализ различных типов электрических двигателей в составе тягового привода электрической трансмиссии // Электротехника: сетевой электронный научный журнал. — 2016. — № 3. — С. 47—54.
17. **Хегай Ю. А., Тарасова Н. О., Лукьяненко Е. С.** Перспективы развития электромобилей и автомобилей-гибридов // Теория и практика общественного развития. — 2014. — № 20. — С. 76—78.
18. **Радионов А. А., Маклаков А. С., Чернышев А. Д.** Использование мощных электроприводов на базе активных двунаправленных преобразователей в составе промышленной Smart Grid системы // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. — 2015. — № 1. — С. 74—81.

УДК: 629.113.072.001.5

В. С. Устименко, канд. техн. наук, **В. В. Демик,** канд. техн. наук, НИИЦ АТ 3ЦНИИ Минобороны России
E-mail: viktor-kornilov@yandex.ru

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ВЫБОРА ТРАНСПОРТНОЙ БАЗЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СРЕДНЕЙ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ В ЗАДАННЫХ УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

В статье рассмотрен математический аппарат расчета достижимой средней скорости движения транспортного средства в заданных условиях испытаний и эксплуатации по реализации его основных эксплуатационных свойств и по установленным отношениям среднего расхода топлива по видам дорог к контрольному расходу и контрольного расхода топлива к полной массе транспортного средства.

Ключевые слова: *средняя скорость движения, средний расход топлива, контрольный расход топлива, полная масса, виды испытательных дорог, коэффициент категории дорог.*

This article discusses the mathematical apparatus for calculation of achievable average speed of a vehicle under specified conditions of test and operation for the implementation of its basic performance properties and the established relationship of average fuel consumption according to the types of roads to control flow and control fuel consumption to the gross weight.

Keywords: *average speed, average fuel consumption, control fuel consumption, gross weight, types of test roads, the coefficient of road categories.*

В процессе выбора транспортной базы (ТБ) заказчик, как правило, ориентируется на существующий ряд серийно выпускаемых изделий по базовому параметру — его классу грузоподъемности (полной массе) с последующим уточнением других наиболее важных свойств для начального формирования технического облика разрабатываемого (выбираемого) изделия, например, таких, как проходимость, нагрузка на ось и др. При этом в случае делимого груза, перевозимого транспортным средством (ТС), и учитывая экономические показатели, выбирают изделие, наиболее близкое из указанного ряда ТС.

При перевозке неделимого груза в виде специального оборудования (СО) с повышенными эксплуатационными требованиями к ТБ при отсутствии таковых в ряду серийных изделий, заказчик вынужден принимать решение о разработке новой ТБ в строгом соответствии с требованиями по перевозке СО.

В качестве основных исходных данных для разработки ТБ задаются грузоподъемность (полная масса) и максимальная скорость, на основе которых предварительно устанавливают максимальную мощность и предполагаемые условия использования и в самом общем виде условия эксплуатации, например, по всем видам дорог и местности или по дорогам с твердым покрытием и грунтовым дорогам удовлетворительного состояния.

В отдельных случаях, исходя из субъективных соображений, заказчик может иногда задавать требование по средней скорости движения по видам принятых для эксплуатации дорог, реализация которого представляла до последнего времени очень трудную задачу.

На дороге с твердым покрытием этот показатель поддается приблизительному расчету при известных значениях коэффициента сопротивления движению Ψ_j, ровности дороги и интенсивности движения по ней, то на грунтовой дороге, ввиду изменчивости и нестабильности характеристик грунтовых дорог в широком их диапазоне, задача приобретает неопределенный характер по показателю Ψ_j.

Решение указанной задачи ($V_{ср} = f(\Psi_j)$), при многовариантном значении аргументов, включая Ψ_j, целесообразно предварительно рассмотреть в системе ВАДС (водитель-автомобиль-дорога-среда).

Водитель, как человек-оператор, ввиду его разной массы и психофизиологического состояния, имеет различную чувствительность к колебаниям

и вибрации подрессоренной массы ТС и, в частности, виброускорениям на рабочем месте водителя (РМВ), и по этой причине, а также с учетом его опыта по-разному формируется средняя скорость движения по неровным дорогам. При испытаниях ТС, чтобы исключить или минимизировать влияние указанных особенностей человека-оператора, используют специально подготовленных водителей со стажем работы не менее трех лет.

В транспортном средстве ("автомобиль") формирование средней скорости зависит от мощности двигателя (удельной мощности, $N_{уд}$) и его скоростных характеристик, влияющих, например, на интенсивность разгона и поддержание установившейся максимально возможной скорости движения, а также качества системы подрессоривания, которое напрямую определяет плавность хода ТС и уровень вибрации на РМВ, и, в конечном итоге — степень использования потенциальных возможностей силового агрегата.

Экспериментальными исследованиями, в том числе в работе [1], установлено, что затрачиваемая на движение мощность полноприводных автомобилей используется частично и, в зависимости от типа дороги, среднее значение составляет 25—60 %, а вероятность реализации максимальной скорости, даже на дороге общего пользования с твердым покрытием при малой интенсивности движения, не превышает 0,05.

Из всех внешних факторов дорога оказывает наибольшее воздействие на скорость движения.

По ОСТ 37.001.472 [2] все испытательные дороги представлены в виде:

1) асфальтированной дороги;
2) булыжной дороги ровного мощения;
3) грунтовых дорог:
— удовлетворительного состояния;
— разбитых в сухом или замерзшем состоянии;
— размокших, в том числе в распутицу, которые при их использовании оцениваются исключительно визуально по субъективным ощущениям.

Попытки "привязать" среднюю скорость движения к какой-либо одной из указанных грунтовых дорог всегда заканчиваются неудачей, а полученные экспериментально значения средней скорости движения справедливы лишь по отношению к тому состоянию дороги, которое было на момент испытаний.

Совершенно очевидно, что средняя скорость движения имеет сложную связь:

$$V_{ср} = f\left(\ddot{Z},\ N_{уд},\ \Psi_j,\ K_п\right), \qquad (1)$$

где $\ddot{Z}$ — вертикальные виброускорения, м/с^2; $N_{уд}$ — удельная мощность двигателя, кВт/т; Ψ_j — коэффициент суммарного сопротивления движению; $K_п$ — показатель совершенства конструкции агрегатов и систем.

Перед рассмотрением влияния указанных аргументов на $\bar{V}_j$ и сложность оценок каждого из них интересно привести эпизод, теперь уже в историческом аспекте, связанный с качественной оценкой испытательных дорог.

На стыке 70-х и 80-х годов прошлого столетия главному конструктору "УралАЗ" А. А. Романченко заказчиком было предложено принять требование в системе ОТТ по средней скорости движения на грунтовой дороге удовлетворительного состояния, равной 40 км/ч. Он ответил, что если ему покажут эту дорогу, возможно, он не только примет это требование, но и поднимет его значение до 45 или 50 км/ч, а то и выше.

Многие авторы пытались описать грунтовые дороги разными способами, преимущественно качественными характеристиками, но они не находили применения на практике.

Так, попытка автора [3] представить область применения транспортных средств через зависимость, определяемую отношением полной массы $M_п$ к несущей способности грунта $P_г$, также не нашла применения на практике (рис. 1), так как каждая область использования конкретного вида техники относилась к диапазону параметра $P_г$.

Проблема количественной оценки грунтовой дороги стояла очень давно, особенно при испытаниях ТС, без ее решения результаты испытаний, особенно по безотказности, всегда носили в итоге многовариантный характер, что снижало достоверность результатов и полностью исключало их воспроизводимость.

Такая ситуация сохранялась десятки лет до момента, когда в НИИЦ АТ с участием специалистов НИЦИАМТ ФГУП "НАМИ" испытательные дороги впервые были представлены количественными характеристиками с помощью коэффициента категории дорог Ψ_j — суммарного сопротивления движению ТС при его дорожных испытаниях (патент на изобретение № 2011955 от 09.04.1994 г. [4]) и разработанного на его методической основе отраслевого стандарта ОСТ 37.001.520 [5] с детальным раскрытием содержания в статье [6] "Регулируемая технология пробегов при испытаниях АТС". Одновременно была решена проблема "дороги" в системе ВАДС.

Особенность количественного определения каждой категории дорог состоит в том, что указанный показатель Ψ_j учитывает все формы внешнего воздействия на автомобиль при движении по дорогам разного профиля и состояния их опорной поверхности в любых климатических условиях и представляет собой отношение энергетических

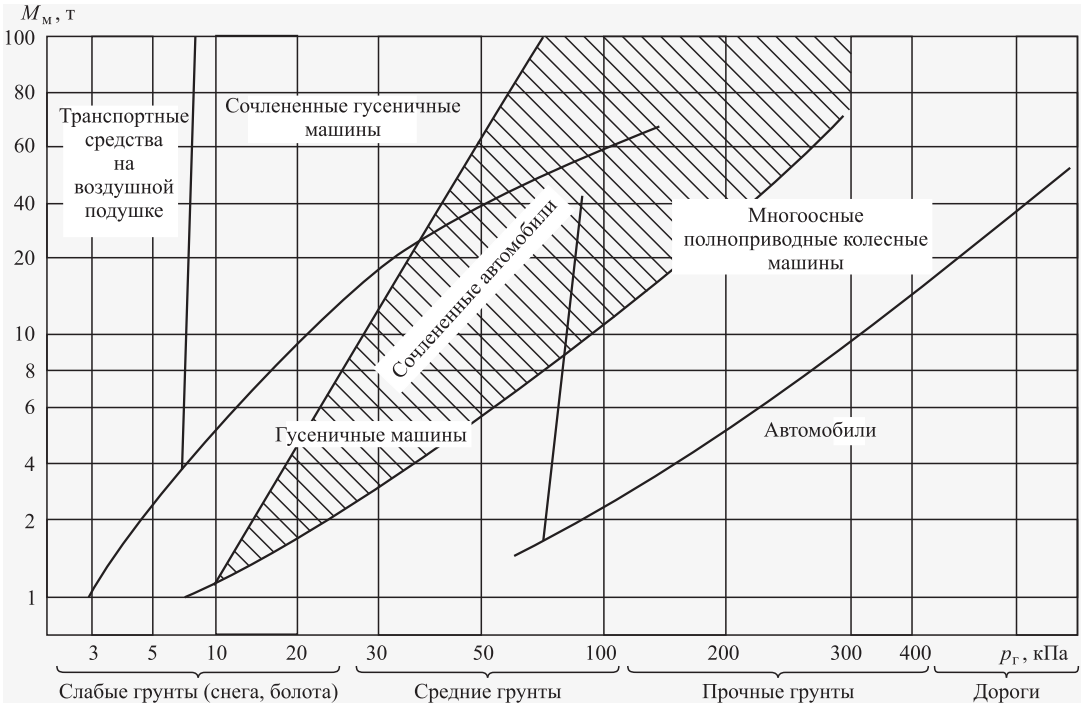

Рис. 1. Области возможного применения транспортных средств, определяемых полной массой $M_п$ и несущей способностью грунта $P_г$

затрат двигателя через средний расход топлива Q_j в л/100 км к реализуемой средней скорости движения $\bar{V}_j$ в км/ч на участке j-й дороги:

$$\Psi_j = n\frac{\bar{Q}_j}{\bar{V}_j}, \qquad (2)$$

где n — коэффициент связи, характерный для каждого типа ТС и одновременно принят в качестве факторного пространства (центра эксперимента), в котором все ТС рассматриваются на начальном (минимальном) уровне энергонагружения, соответствующем режиму определения контрольного расхода топлива $q_{кр}$ на скорости 60 км/ч на динамометрической дороге (дд) с $\Psi_{дд}$ = 0,025. При таких условиях коэффициент n вычисляют из (2), который при $\bar{Q}_j = q_{кр}$ может быть представлен как:

$$n = 1,5q_{кр}^{-1}. \qquad (3)$$

На основе статистической обработки ранее выполненных испытаний по представительной выборке (238 образцов НИИЦ АТ и НИЦИАМТ ФГУП "НАМИ") определены математическое ожидание m_{Ψ_j} и границы значений коэффициента Ψ_j по категориям испытательных дорог.

Значение Ψ_j может быть определено по графику (рис. 2), где по линии абсцисс показано отношение Q_j/V_j, а по линии ординат — значение Ψ_j. Величина

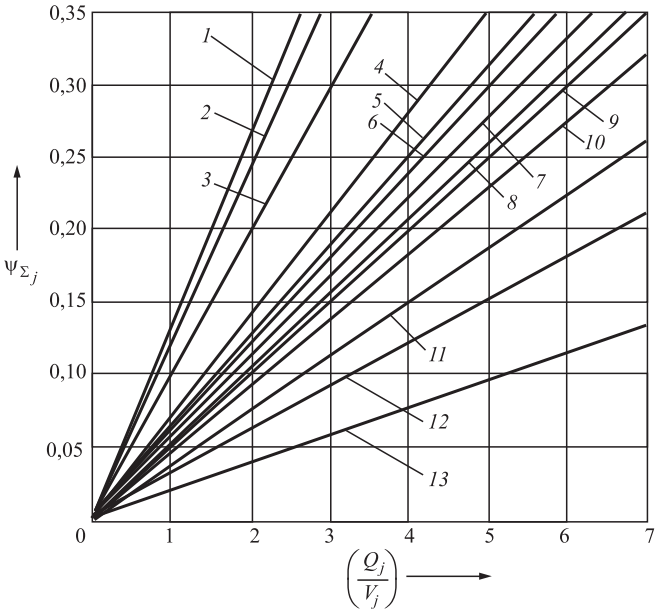

Рис. 2. Зависимость коэффициента суммарного сопротивления движению от значения отношения расхода топлива к средней скорости движения ТС ($\Psi_{\Sigma j} = f(Q_j V_j)$ при a = arctg$n$):

1 — УАЗ-3151 (n = 0,135); *2* — УАЗ-33034 (n = 0,125); *3* — УАЗ-2966 (n = 0,097); *4* — ГАЗ-3308 (n = 0,071); *5* — ЗИЛ-4334 (n = 0,063); *6* — КАМАЗ-4326 (n = 0,060); *7* — КАМАЗ-4350 (n = 056); *8* — Урал-4320 (n = 0,052); *9* — КАМАЗ-4310 (n = 0,050); *10* — ЗИЛ-131Н (n = 0,046); *11* — Урал-5323 (n = 0,037); *12* — БАЗ-6944 (n = 0,030); *13* — МАЗ-543 (n = 0,019)

n по каждому типу ТС с различной массой представлена прямой с углом наклона α, вычисляемого по формуле:

$$\alpha = \operatorname{arctg} n. \quad (4)$$

Использование показателя Ψ_j как норматива (по m_{Ψ_j}) позволяет применять единый способ оценки воздействия разных видов дорог с помощью самого испытываемого автомобиля, причем непосредственно в момент испытаний (за смену) или за любой наперед заданный временной период или пробег, проводимый на различных полигонах и в разное время года. Это впервые позволило обеспечивать сопоставимость и воспроизводимость результатов испытаний в любых условиях, а также открыло возможность определения средних скоростей движения на каждом виде дорог (при конкретном значении Ψ_j), в том числе в зависимости от массы образца.

Определение категорий испытательных дорог с помощью показателя Ψ_j позволяет по новому рассмотреть элементы системы ВАДС.

Расход топлива, являясь интегральным показателем, количественно учитывает затраты мощности двигателя на преодоление всех внешних сил сопротивления движению, в том числе при движении с прицепом, на повороте, при преодолении подъема, сопротивления воздуха, инерции, колебаний подрессоренных и неподрессореных масс при участии влияния температуры наружного воздуха и его влажности, атмосферного давления, количества выпадающих осадков.

Из зависимости (2) и (3) также следует, что коэффициент n выражает совершенство конструкции топливной аппаратуры, характеристик упругого элемента системы подрессоривания, а по значениям коэффициента полезного действия — двигателя и трансмиссии ("автомобиль").

Для перехода к анализу связей $V_{ср}$ от коэффициента n и полной массы автомобиля предварительно оценим зависимость контрольного расхода топлива от его массы.

В качестве исходных данных использованы контрольный расход топлива многоцелевых автомобилей и СКШ от их полной массы соответственно в диапазоне 2,5—28,0 т (прямая *1*) и 39,0—53,0 т (прямая *2*), значения которого нанесены на график рис. 3 с их рассеянием и тенденцией к возрастанию в зависимости от массы.

Используя метод наименьших квадратов, устанавливаем связь (практически линейную) исследуемых параметров (с коэффициентом корреляции 0,969) через коэффициент K по зависимости:

$$K = \frac{q_{кр}}{M}. \quad (5)$$

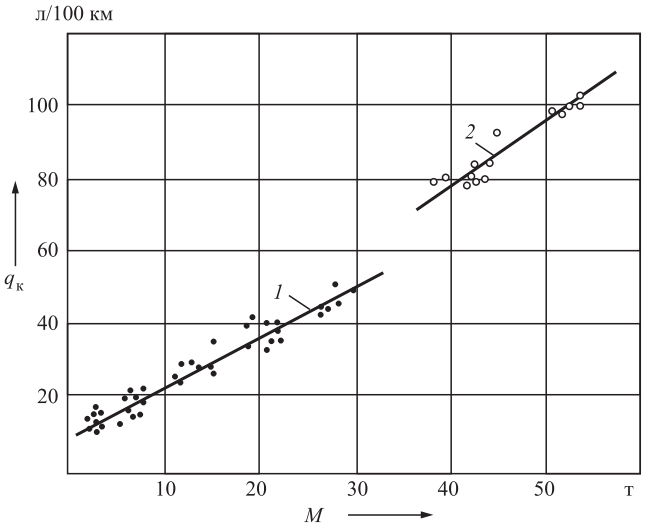

Рис. 3. Зависимость контрольного расхода топлива от полной массы ТС

Из графиков рис. 3 устанавливаем значение K:

— для АМН — 0,00175;

— для СКШ — 0,00196.

По зависимости (3) через (5) $q_{кр} = KM$ находим n:

$$n = \frac{1,5}{KM}. \quad (6)$$

Подставив значение n в зависимость (2), найдем:

$$\bar{V}_j = \frac{1,5\bar{Q}}{\Psi_j KM}. \quad (7)$$

Расчетные значения средней скорости движения по зависимости (7) могут быть выполнены по двум вариантам:

а — по максимальному использованию мощности двигателя (Q_{max}, кг/ч по скоростной характеристике), соответствующей движению на V_{max};

б — по эксплуатационному расходу топлива ТС на пяти видах испытательных дорог при $\Psi_j = m_{\Psi_j}$.

В качестве примера ниже по первому варианту приведено расчетное значение определения $V_{ср}$ для автомобиля КАМАЗ-43114.

В качестве исходных данных приняты:

$\Psi_A = 0,025$; $K = 0,00175$; $M = 15100$ кг; $G_{max} = 36,2$ кг/ч.

Перевод расхода топлива в размерность, используемую при эксплуатации АТ — л/100 км, выполняют по зависимости:

$$Q_j = \frac{100G_{max}}{V_j\rho}, \quad (8)$$

где ρ — плотность дизельного топлива, г/см^3.

Приняв V_j = 100 км/ч при ρ = 0,86, получают:

$$Q_j = \frac{100 \cdot 36,2}{100 \cdot 0,86} = 42,1 \text{ л/100 км.}$$

Далее по зависимости (7) вычисляют максимальное значение скорости $V_{\max}$ при заданной величине Ψ_A = 0,025.

$$V_{\max} = \frac{1,5 \cdot 42,1}{0,025 \cdot 0,00175 \cdot 15100} = 95,7 \text{ км/ч,}$$

что ниже заданной на 4,4 %.

Аналогичным образом значение $V_{\max}$ определяют через расход топлива $G_{\max}$, кг/ч различных ТС в зависимости от их полной массы.

При решении задачи по второму варианту, когда двигатель работает на частичных нагрузках, встает вопрос выбора значений эксплуатационного расхода топлива Q_j, которое можно было бы принять в качестве исходных данных для расчета $V_{\text{ср}}$ по зависимости (7).

На помощь приходят результаты многочисленных исследований и испытаний ТС в различных дорожно-грунтовых и климатических условиях, в том числе специальных испытаний восьми образцов автомобилей КАМАЗ-4310 на дорогах НИЦИАМТ ФГУП "НАМИ" [7, 8].

В качестве универсального способа для решения этой задачи может быть принят параметр t, выражающий отношение среднего эксплуатационного расхода топлива $\bar{Q}_j$ ТС к его контрольному расходу $q_{\text{кр}}$ по видам испытательных дорог. Одновременно при множестве $\bar{Q}_j$ и $q_{\text{кр}}$ параметр t приводит ТС к единой мере сопоставимой оценки эксплуатационной нагруженности каждого из них независимо от класса грузоподъемности:

$$t = \frac{\bar{Q}_j}{q_{\text{кр}}}, \qquad (9)$$

где $\bar{Q}_j$ — средний расход топлива на j-й дороге, л/100 км; $q_{\text{кр}}$ — контрольный расход топлива, л/100 км.

Это позволило на основе статистической выборки испытаний полноприводных ТС установить среднее значение параметра t по видам дорог [5], равное на:

— асфальтобетонном шоссе — 1,55;

— булыжной дороге ровного мощения — 1,60;

— грунтовой дороге удовлетворительного состояния — 2,05;

— разбитой грунтовой дороге — 2,45;

— размокшей грунтовой дороге — 3,00.

Кроме того, параметр t фактически означает степень использования энергетических затрат двигателя относительно их минимального уровня.

Из зависимости (9) значение $\bar{Q}_j$ равно:

$$\bar{Q}_j = tq_{\text{кр}}.$$

Подставив значение $tq_{\text{кр}}$ в зависимость (7), получим:

$$\bar{V}_j = \frac{1,5tq_{\text{кр}}}{\Psi_{\text{кр}}KM} \qquad (10)$$

или при $K = \frac{q_{\text{кр}}}{M}$ найдем расчетную зависимость средней скорости движения в функции $f(\Psi_j, t)$:

$$\bar{V}_j = \frac{1,5t}{\Psi_j}, \qquad (11)$$

а при средних значениях Ψ_j и t — расчеты по определению $\bar{V}_j$ по видам дорог, в том числе по местности и подъемам малой крутизны, которые сведены в табл. 1.

Полученные материалы по средним значениям исследуемых параметров, являясь по существу базовыми, позволяют их использовать на практике при планировании и прогнозировании (с достаточно высокой достоверностью) средних скоростей движения в конкретных условиях по Ψ_j.

Однако при решении любой частной задачи, например, при расчете скорости движения на скоростной дороге $V_{\text{СД}}$ в условиях минимизации внешних факторов (при Ψ = 0,025 и при t = 1,55), получим:

$$V_{\text{СД}} = \frac{1,5 \cdot 1,55}{0,025} = 93 \text{ км/ч,}$$

а при Ψ = 0,023 — $V_{\text{СД}}$ = 101 км/ч.

Принимая во внимание, что указанные испытательные дороги характеризуются не только средними значениями m_{Ψ_j}, но и их границами [5], зависимость (11) позволяет представить расчетные значения средней скорости движения в зависимости от t (рис. 4) и от Ψ_j (рис. 5). Исходные данные для построения графиков приведены в табл. 2.

Представленные на рисунках параметрические области А, $\Gamma_{\text{у}}$, $\Gamma_{\text{р}}$ и $\Gamma_{\text{м}}$ позволяют установить среднюю скорость движения ТС в границах каждого вида дорог, особенно грунтовых, оценить степень соответствия расчетных значений скорости движения в конкретных условиях с заданными в требованиях и принять решение о целесообраз-

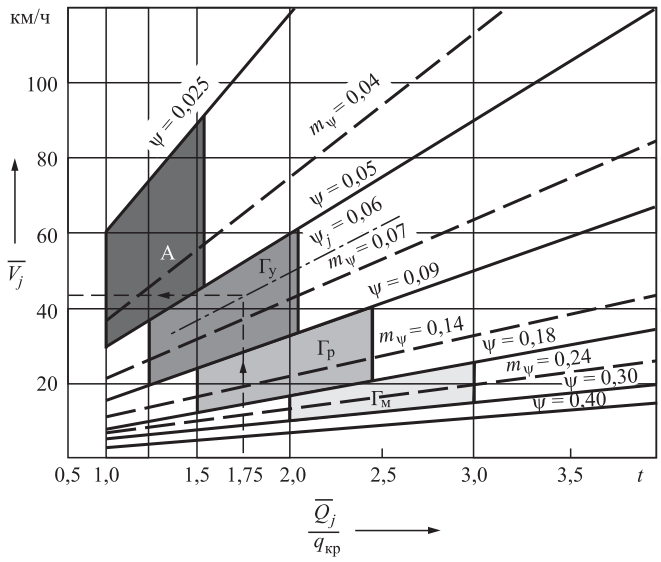

Рис. 4. Зависимость средней скорости движения ТС от параметра *t*

ности или возможности использования ТС в этих условиях.

Средняя скорость движения, помимо расчета по формуле (11), может быть установлена по номограмме рис. 4 по направлению показанных на ней стрелок при заданных, например, значениях t = 1,75 и Ψ_j = 0,06, на основе которых искомая скорость устанавливается значением 43,75 км/ч.

Помимо определения возможной скорости движения ТС в зависимости от параметра t и коэффициента категории дорог Ψ_j математический аппарат расчета позволяет решить и обратную задачу: при заданных значениях средней скорости движения и категории испытательных дорог — определение базовых параметров проектируемого образца массой $M_п$, в том числе мощности двигателя.

В качестве исходных данных для расчета условно приняты:

— полная масса изделия $M_п$ = 28,0 т;

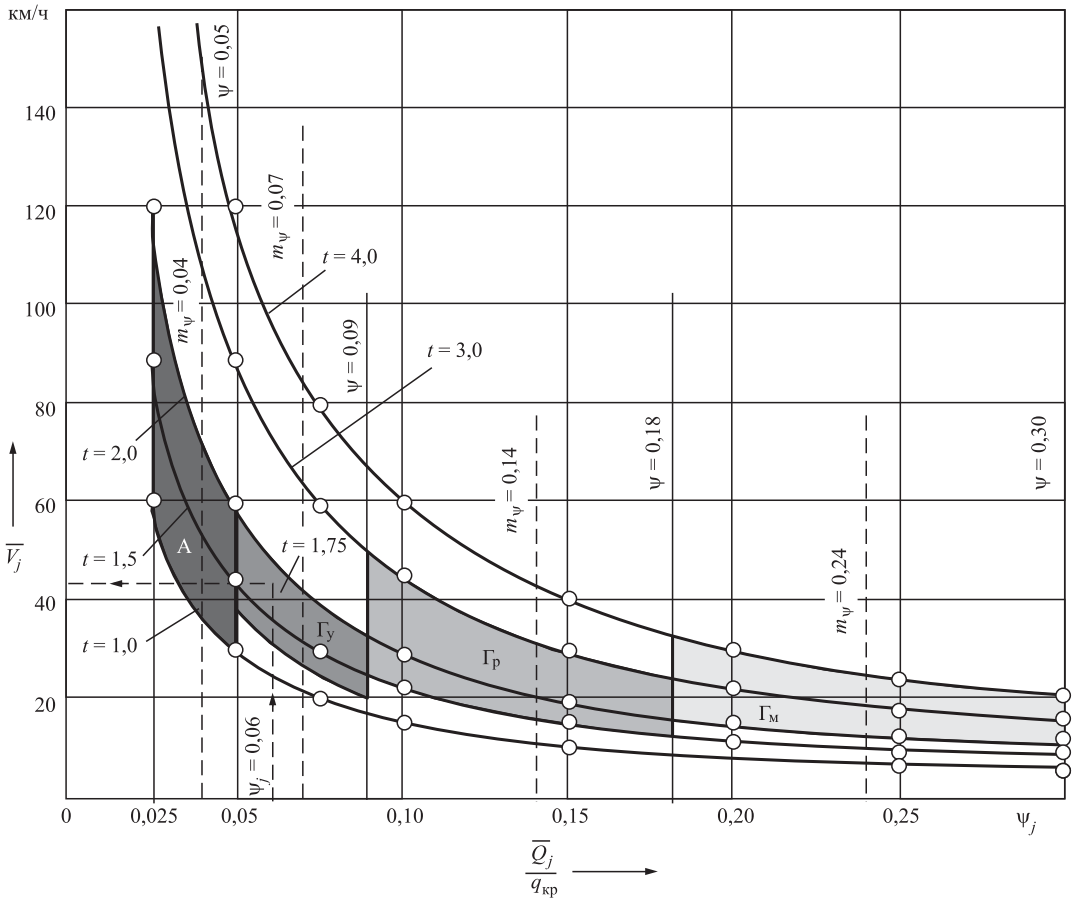

Рис. 5. Зависимость средней скорости движения ТС от коэффициента суммарного сопротивления движению Ψ*j*

Таблица 1

Средняя скорость движения в зависимости от показателей m_t и m_{Ψ_j} по видам дорог

Виды дорог		Показатели		Средняя скорость движения $\bar{V}_j$
		m_t	m_{Ψ_j} (по ОСТ 37.001.520)	
Асфальтированное шоссе		1,55	0,04	58,0
Булыжная дорога ровного мощения		1,60	0,06	40,0
Грунтовая дорога	а — удовлетворительного состояния	2,05	0,07	43,9
	б — разбитая (в сухом или замерзшем состоянии)	2,45	0,14	26,3
	в — размокшая в распутицу	3,00	0,24	18,8
Местность	снежная целина	3,67	0,31	17,8
	сыпучий песок	3,95	0,40	14,8
Подъемы малой крутизны (6—10 %)*		1,90	0,12	23,8
* Подъемы малой крутизны НИЦИАМТ ФГУП "НАМИ"				

Таблица 2

Зависимость скорости движения автомобиля от коэффициента Ψ_j при t, равном от 1 до 4

Значение показателя t, $t = \frac{\bar{Q}_j}{q_{кр}}$	Скорость движения, км/ч при Ψ_j до 0,4									
	значения Ψ_j в соответствии с ОСТ 37.001.520—96									
	0,025	0,04	0,05	0,07	0,09	0,14	0,18	0,24	0,3	0,4
1,0	60	37,5	30,0	21,4	16,7	10,7	8,3	6,25	5,00	3,75
1,25	75	46,9	37,5	26,8	20,9	13,4	10,4	7,81	6,25	4,69
1,5	90	56,3	45,0	32,1	25,1	16,1	12,5	9,38	7,50	5,63
2,0	120	75,0	60,0	42,8	33,4	21,4	16,6	12,5	10,0	7,5
3,0	180	112	90,0	64,2	50,1	32,1	24,9	18,8	15,0	11,25
4,0	240	150	120	85,6	66,8	42,8	33,2	25,0	20,0	15,0

— размокшая грунтовая дорога с $\Psi_j = 0{,}24$;

— средняя скорость движения — 19 км/ч.

Решение задачи выполняется в последовательности:

— по зависимости (11) устанавливается значение параметра t:

$$t = \frac{\bar{V}_j \Psi_j}{1,5} \text{ или } t = \frac{19 \cdot 0,24}{1,5};$$

— по зависимости (9) может быть вычислено значение среднего расхода топлива:

$$\bar{Q}_j = t q_{кр};$$

с предварительным расчетом по зависимости, представленной прямой 1 на рис. 3, или коэффициенту K_1 для автомобилей многоцелевого назначения полной массой в диапазоне 2,5—28,0 т, равному 0,00175:

$$q_{кр} = 28{,}0 \cdot 0{,}00175 = 49{,}0 \text{ л/100 км},$$

тогда $\bar{Q}_j = 3{,}04 \cdot 49{,}0 = 149{,}0$ л/100 км;

— по зависимости (8) выполняем перевод эксплуатационного расхода топлива в л/100 км в па-

раметры расхода топлива двигателя по характеристике его часового расхода топлива, кг/ч

$$\bar{G}_j = \frac{\bar{Q}_j \bar{V}_j \rho}{100} \text{ или } \bar{G}_j = \frac{149,0 \cdot 19,0 \cdot 0,86}{100};$$

$$\bar{G}_j = 24,35 \text{ кг/ч.}$$

Далее устанавливаем среднее значение мощности двигателя, затрачиваемое на движение ТС в заданных дорожных условиях с заданной скоростью движения по зависимости

$$q_{\text{уд}} = \frac{\bar{F}_j}{\bar{N}_{e_j}}$$

и при $q_{\text{уд}} = 0,201$ кг/л.с.·ч устанавливаем среднее значение мощности $\bar{N}_{e_j} = 121$ л. с., затрачиваемой на движение в заданных условиях ($\Psi_j = 0,24$).

По данным экспериментальных исследований автомобиля ЗИЛ-131 [1] установлено, что среднее значение затрачиваемой на движение мощности в распутицу составляет 17,3 % Ne_{max} при среднеквадратичном отклонении 13,3 % в диапазоне от 0 до 50 % Ne_{max} при средней частоте вращения вала двигателя 49,5 % $n_{\text{ном}}$.

По другим данным для автомобилей с дизельным двигателем затрачиваемая на движение мощность в этих условиях составляет 20—25 %.

С учетом приведенной статистики максимальная мощность создаваемого образца при затратах 25 % от Ne_{max} может составить:

$$N_{e_{\max}} = \frac{\bar{N}_{e_j}}{0,25} = \frac{121}{0,25} = 484 \text{ л. с.}$$

Аналогичным образом выполняют расчет $N_{e_{\max}}$ по другим категориям испытательных дорог. Окончательное решение принимают по среднему значению $N_{e_{\max}}$.

Полученное значение $N_{e_{\max}}$ может корректироваться, например, по возможности преодоления подъема крутизной 60 %, при заданной величине времени разгона до скорости 100 км/ч, при постоянном отборе мощности от автомобиля в движении и по другим параметрам.

Таким образом, разработан математический аппарат расчета средней скорости движения ТС в заданных дорожных условиях и, наоборот, при заданной скорости движения в конкретных дорожных условиях устанавливается базовое значение мощности проектируемого образца с учетом его полной массы, что облегчает заказчику задачу выбора транспортного средства из существующего ряда ТС или получения предварительных исходных данных для проектирования нового образца по мощности двигателя.

Выводы

1. Установлено близкое к линейной зависимости (коэффициент корреляции 0,969) отношение контрольного расхода топлива к полной массе ТС, равное для многоцелевых автомобилей (в диапазоне 2,5—28,0 т) 0,00175, для СКШ (в диапазоне 39,0—53,0 т) — 0,00196.

2. Установлена статистическая связь (на основе выборки 140 образцов) параметра *t*, выражающего отношение среднего расхода топлива ТС при учете всех факторов внешнего воздействия, к его контрольному расходу (при V_A = 60 км/ч Ψ_A = 0,025) по всем видам испытательных дорог (по ОСТ 37.001.520).

3. Средняя скорость движения, вычисленная через среднее значение параметра *t* и среднее значение коэффициента категории испытательных дорог m_{Ψ_j} (по ОСТ 37.001.520), могут рассматриваться как базовые при планировании транспортных задач, а также при выборе ТБ для использования ее в заданных дорожных условиях и как норматив по нагрузке на двигатель.

4. Значение параметра *t* может рассматриваться так же, как ориентир нормирования расхода топлива по видам испытательных дорог.

5. Разработан математический аппарат расчета средней скорости движения известного транспортного средства в заданных дорожных условиях и, наоборот, по заданным дорожным условиям и средней скорости движения могут быть получены исходные данные для расчета максимальной мощности двигателя разрабатываемого вновь транспортного средства массой $M_{\text{п}}$.

6. Отклонения фактических значений средних скоростей движения от базовых может быть обусловлено изменением значения коэффициента $\Psi_{\text{дд}}$, который в расчетах, в соответствии с ОСТ 37.001.520—96, принят 0,025, например, при его экспериментальном определении для каждого образца отдельно и при вычислении параметра *K*, который может отличаться до 5 % от установленного статистического значения коэффициента *K* (0,00175 и 0,00196).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Платонов В. Ф., Устименко В. С.** О режимах движения автомобилей в различных дорожных условиях // Автомобильная промышленность. — 1977. — № 11. — С. 19—23.
2. **ОСТ 37.001.472—88.** Приемочные испытания автотранспортных средств. Типовая программа испытаний. Вед. 1989-01-01. — М.: НАМИ, 1989.
3. **Аксенов П. В.** Многоосные автомобили: Теория общих конструктивных решений. — М.: Машиностроение, 1989. — 280 с.
4. **Патент на изобретение:** № 2011955 РФ, МПК C1 G 01 M 17/00. "Способ определения коэффициента суммарного сопротивления движению транспортного средства при его дорожных испытаниях" / Устименко В. С., Лощаков Г. В., Пахомов С. Б., Лец В. К. Заявитель и патентообладатель В/часть 63539-4788603, заявл. 05.02.1990, опубл. 30.04.1994, Бюл. № 8.
5. **ОСТ 37.001.520—96.** Категории испытательных дорог. Параметры и методы определения. Введ. 1997-07-01. — М.: НАМИ, 1997.
6. **Устименко В. С.** Регулируемая технология пробегов при испытаниях АТС // Автомобильная промышленность. — 1997. — № 12. — С. 24—27.
7. **Устименко В. С., Валеев Д. Х.** Тип дороги и его влияние на безотказность АТСД // Автомобильная промышленность. — 2000. — № 12. — С. 16—19.
8. **Устименко В. С., Манохин В. И., Валеев Д. Х.** Испытания двигателя на безотказность. Стенд вместо дороги // Автомобильная промышленность. — 2002. — № 5. — С. 21—25.

ИЗДАТЕЛЬСТВО

"ИННОВАЦИОННОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ"

принимает подписку на журнал

"ГРУЗОВИК"

ТРАНСПОРТНЫЙ КОМПЛЕКС. СПЕЦТЕХНИКА

на 2017 год

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

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

УДК 621.436.12

А. В. Васильев, д-р техн. наук, проф., e-mail: vasilyev@vstu.ru,
А. М. Ларцев, канд. техн. наук, доц., e-mail: lartsev.am@yandex.ru,
Е. А. Федянов, д-р техн. наук, проф., e-mail: tig@vstu.ru, ФГБОУ ВО "Волгоградский государственный технический университет"

ОЦЕНКА ТЕПЛОВОГО СОСТОЯНИЯ ГОЛОВКИ ЦИЛИНДРА ДВИГАТЕЛЯ ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ПРИ ЕГО ФОРСИРОВАНИИ

Актуальной для двигателестроения является задача форсирования дизелей воздушного охлаждения и создания их модификаций, имеющих предельно возможный уровень форсирования при условии выполнения всех нормативных требований по надежности и экологическим показателям. Предложен метод оценки изменения теплового состояния головки цилиндра дизеля воздушного охлаждения, основанный на использовании данных испытаний и термометрирования дизеля с исходным уровнем форсирования. Метод позволяет установить возможные пределы форсирования при различных регулировках дизеля. Эффективность метода подтверждена примерами расчетов для тракторного дизеля 8ЧВН15/16 на различных уровнях форсирования.

Ключевые слова: *двигатель воздушного охлаждения, форсирование, головка цилиндров, тепловое состояние, метод оценки.*

Relevant for propulsion engineering is the task of forcing air cooling diesel engines and their modifications, with the maximum possible level of force subject to the fulfillment of all regulatory requirements for reliability and environmental performance. The proposed method for estimating the thermal state of the cylinder head of a diesel engine air cooling based on use of test data and termometrovy diesel with the original level of forcing. Method allows you to set the limits of the possible crossing with various adjustments diesel. The effectiveness of the method is confirmed by examples of calculations for tractor diesel 8ЧВН15/16 at different levels of forcing.

Keywords: *engine air-cooled, the crossing, cylinder head, thermal state, estimation method.*

Дизели воздушного охлаждения имеют, как правило, более низкие значения среднего эффективного давления, чем дизели жидкостного охлаждения той же размерности. Это обусловлено, во-первых, меньшей жесткостью корпусных деталей дизелей с воздушным охлаждением и, во-вторых, сложностью поддержания в допустимых пределах температур деталей их цилиндропоршневой группы при повышении мощности.

Наиболее теплонапряженными элементами в конструкции дизеля воздушного охлаждения являются, как показывает опыт испытаний и эксплуатации дизеля 8ЧВН 15/16, головки цилиндров. В головке цилиндров двигателя воздушного охлаждения сложно обеспечить подвод охлаждающего воздуха в их наиболее теплонапряженные зоны, в частности в зону межклапанной перемычки. Кроме того, во внутренних каналах головки для охлаждающего воздуха невозможно, вследствие конструктивных ограничений, выполнить развитые поверхности теплоотвода. Меньшая интенсивность теплоотдачи в воздух по сравнению с теплоотдачей в капельную жидкость приводят не только к росту средней температуры головки в целом, но и к увеличению интервала изменения температуры и температурных градиентов в теле головки при изменении режима работы двигателя, а также при его форсировании.

При форсировании дизеля наддувом возникает вопрос о возможных пределах повышения давления наддува и требуемой глубине охлаждения наддувочного воздуха, при которых температуры головки цилиндров не превышают допустимых пределов [1]. Ответ на этот вопрос можно получить на основе расчета температурного поля в головке цилиндров с использованием соответствующих пакетов прикладных программ [2, 3]. Однако для оценки возможных пределов форсирования конкретной модели дизеля надежность результатов таких расчетов может быть неудовлетворительной, так как в большинстве случаев трудно определить с достаточной точностью граничные условия. В силу сказанного, в производственных условиях чаще всего приходится прибегать к термометрированию.

Авторы предлагают метод оценки изменения теплового состояния головки цилиндров дизеля воздушного охлаждения, позволяющий ограничиться экспериментальным определением температур на огневом днище головки цилиндров только на исходном уровне форсирования. В основе метода лежит достаточно очевидное утверждение о том, что термические сопротивления теплопроводности собственно головки цилиндров и теплоотдачи в окружающую среду остаются при форсировании двигателя практически неизменными. Таким образом, при форсировании температурное поле в головке меняется только в результате изменения теплового потока в днище головки и термического сопротивления теплоотдачи на поверхностях камеры сгорания.

Тепловой поток, передаваемый от рабочего тела в цилиндре к охлаждающему воздуху, можно выразить следующим образом [4]:

$$Q_W = \frac{T - T_o}{\frac{1}{\alpha_к F_d} + R_\lambda + R_{\alpha o}}, \qquad (1)$$

где T — средняя за период теплообмена температура газа в камере сгорания; T_o — температура охлаждающего воздуха; $\alpha_к$ — среднее на расчетном диапазоне индикаторной диаграммы значение коэффициента теплоотдачи от газа в днище головки цилиндра; F_d — площадь тепловоспринимающей поверхностей днища головки цилиндра; R_λ — термическое сопротивление теплопроводности тела головки цилиндра; $R_{\alpha o}$ — термическое сопротивление теплоотдачи от поверхности головки цилиндра в охлаждающий воздух.

Величину теплового потока Q_W, передаваемого от рабочего тела в цилиндре в охлаждающий воздух, для исходного уровня форсирования находим по формуле Ньютона-Рихмана, записанной для процесса теплоотдачи на поверхности огневого днища головки. При этом среднюю температуру газа T в цилиндре определяем путем обработки результатов индицирования, а среднее по поверхности огневого днища головки значение температуры $T_{дгц}$ находим как средневзвешенную величину измеренных на указанной поверхности температур. Расчет ведем, связывая с каждой точкой измерения площадь некоторого участка поверхности огневого днища головки. Значение коэффициента $\alpha_к$ конвективной теплоотдачи вычисляем по модифицированной формуле Г. Вошни [5]:

$$\alpha_к = 127,93 \frac{p^{0,8}}{T^{-0,53} D^{-0,2}} \left(C_1 c_m + B\right)^{0,8}, \qquad (2)$$

где T, p — температура и давление в цилиндре; D — диаметр цилиндра; C_1, B — коэффициенты, определяемые параметрами воздушного заряда на впуске и параметрами цилиндропоршневой группы; c_m — средняя скорость поршня. Возможность применения формулы Г. Вошни для дизелей воздушного охлаждения большой размерности была предварительно подтверждена применением ее для определения полного тепловыделения по данным индицирования.

Зная на исходном уровне форсирования тепловой поток Q_W, температуру T газов в цилиндре и значение коэффициента $\alpha_к$ конвективной теплоотдачи, из формулы (1) находим сумму термических сопротивлений $R_{ex} = R_\lambda + R_{\alpha o}$.

Для оценки теплового состояния головки цилиндра на новом уровне форсирования необходимо знать, какие значения при этом примут T и $\alpha_к$. Эти значения могут быть найдены путем моделирования рабочего цикла двигателя. Для двигателя 8 ЧВН 15/16 (буква "В" в индексе — воздушного охлаждения), на котором проверялась эффективность рассматриваемого метода, параметры рабочего тела в цилиндре при различных уровнях наддува могут быть с достаточной точностью найдены с помощью математической модели, разработанной в ВолгГТУ [6, 7] профессором Васильевым А. В. Рассчитывая с помощью математической модели на новом заданном уровне форсирования параметры двигателя и индикаторную диаграмму, определяем значение T, затем на основе расчетной индикаторной диаграммы вычисляем по формуле Г. Вошни $\alpha_к$ и далее по формуле (1) находим Q_W. Имея для нового уровня форсирования расчетные значения Q_W, $\alpha_к$ и T, вычисляем по формуле Ньютона-Рихмана новое значение $T_{дгц}$. В соответствии с распределением площади огневого днища головки по зонам измерения температур обратным пересчетом находим прогнозные значения температур в этих зонах.

С помощью математической модели [6, 7] проведена серия расчетов по дизелю 8 ЧВН 15/16 для широкого диапазона мощностей на трех уровнях охлаждения воздуха наддува в ОНВ: $\Delta T = 35°, 70°, 105°$, а по разработанному методу оценки изменения теплового состояния головки цилиндра для различных уровней форсирования выполнен расчет средневзвешенных температур днища головки цилиндра $T_{дгц}$ и температур днища в контрольных точках T_i (рис. 1, 2).

Эффективность предложенного метода была проверена на основе результатов испытаний [8] форсированных вариантов дизеля 8 ЧВН 15/16.

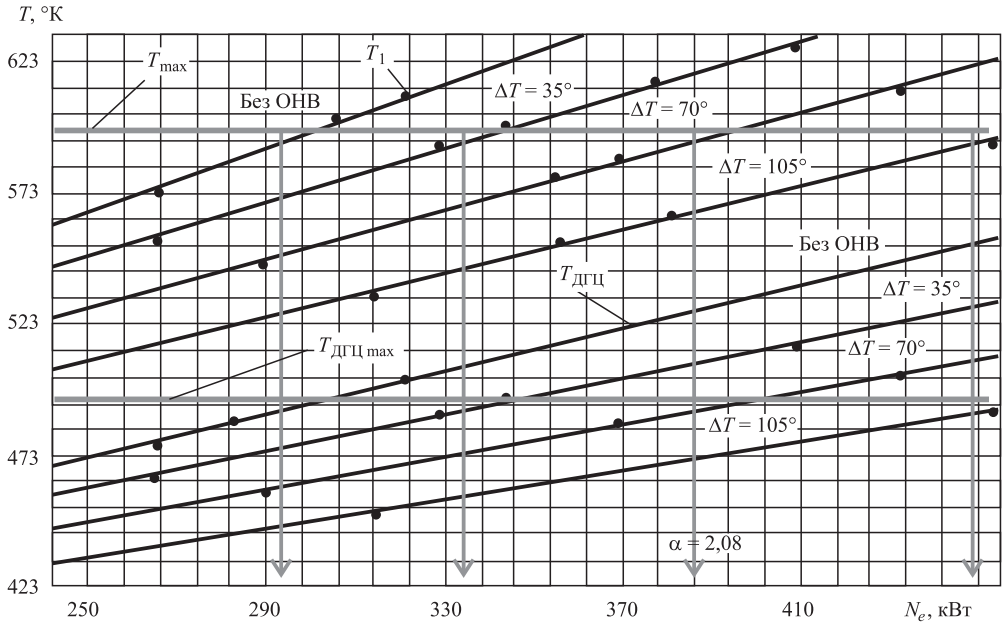

Рис. 1. Расчетные значения средневзвешенных и максимальных температур днища головки цилиндра дизеля 8 ЧВН 15/16 в зависимости от уровня форсирования

Испытания проводились на моторном стенде и заключались в определении эффективных показателей дизеля и термометрировании головки цилиндра в контрольных точках (см. рис. 2) на режиме номинальной мощности. Экспериментальные и расчетные значения температур, соответствующие рис. 1, приведены в таблице.

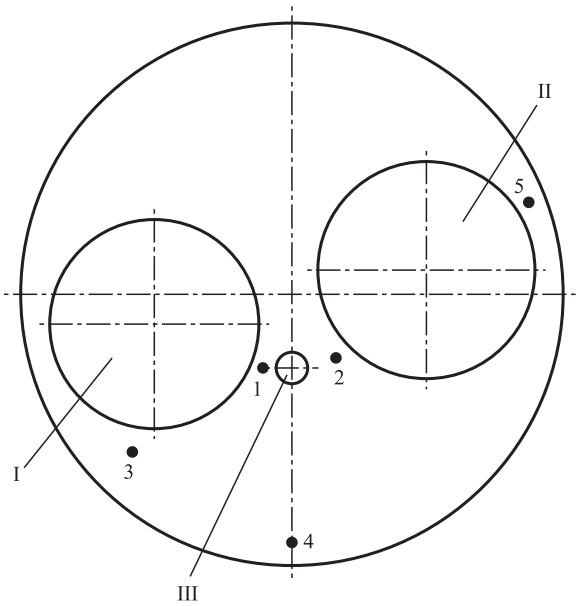

Рис. 2. Расположение термопар на днище головки цилиндра:

I; II — впускной, выпускной клапаны; III — отверстие под форсунку; *1—5* — термопары

Значения максимальных и минимальных температур днища головки цилиндров, найденные экспериментально и расчетным путем для различных уровней форсирования, нанесены на график (рис. 3).

Сравнение результатов расчетного определения значений температур днища головки с экспериментальными данными свидетельствует об их хорошем соответствии. Практически полное совпадение экспериментальных и расчетных значений температур в экстремальных точках № 1 и № 5, где диапазон абсолютной погрешности находится в интервале от 0 до 3,5 %. Несколько выше разность между экспериментом и расчетом по точке

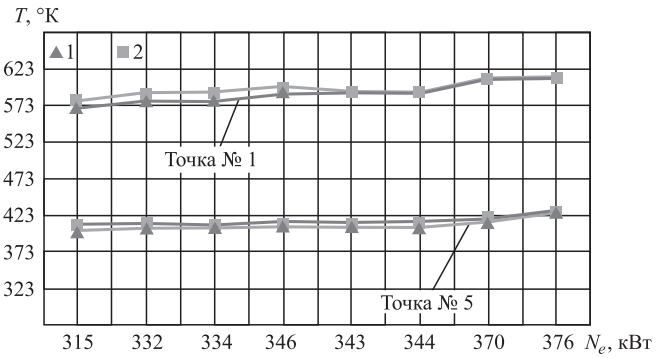

Рис. 3. Значения экспериментальных (*1*) и расчетных (*2*) температур на днище головки цилиндра в контрольных точках № 1 и № 5 в зависимости от уровня форсирования

Результаты термометрирования головки цилиндра

Модель ДВС	Режим испытаний		Температура (T_i − 273) К головки цилиндра в i-й точке				
	N_e, кВт	n, мин$^{-1}$	1	2	3	4	5
В-400	315	1700	297*	194	210	205	136
			305**	179	218	214	128
В-450	332	1700	306	198	218	213	138
			317	185	226	222	132
В-450	334	1750	305	196	215	211	136
			318	186	227	223	133
В-470	346	1700	316	203	226	220	140
			323	189	231	226	135
В-470	343	1750	318	203	224	219	140
			320	187	228	224	133
В-470	344	1800	318	203	224	220	141
			320	187	228	224	133
В-500	370	1750	334	211	234	228	146
			337	197	240	235	141
В-500	376	1800	340	218	240	234	154
			341	159	243	239	154

* — строка экспериментальных данных; ** — строка данных, определенных по рис. 1.

№ 2: различия доходят до 7,5 %. Это можно объяснить тем, что точка № 2, находясь в достаточно высокотемпературной зоне, в большей степени зависит от температуры поступающего воздуха. В остальных точках абсолютная погрешность находится в районе 5 %.

Таким образом, предлагаемый метод правильно прогнозирует изменение теплового состояния головки цилиндров при форсировании дизеля воздушного охлаждения наддувом и может быть использован в инженерной практике для оценки возможных пределов форсирования таких дизелей, выбора регулировок топливоподачи и параметров охладителя наддувочного воздуха.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Ларцев А. М.** Оценка эффективных показателей двигателя воздушного охлаждения В-400 при его форсировании // Двигателестроение. — 2014. — № 1. — С. 26—29.
2. **Nomura T., Matsushita K., Fujii Y., Fujiwara H.** Development of Temperature Estimation Method of Whole Engine Considering Heat Balance under Vehicle Running Conditions // SAE International Journal of Engines. — 2014. — Vol. 8, is. 1. — P. 120—134.
3. **Methodology** for the estimation of cylinder inner surface temperature in an air-cooled engine / E. C. Trujillo, F. J. Jimenez-Espadafor, J. A. B. Villanueva, M. T. Garcia // Applied Thermal Engineering. — 2011. — Vol. 31, is. 8—9. — P. 1474—1481.
4. **Злотин Г. Н., Федянов Е. А.** Теплотехника. — Волгоград: ВолгГТУ, 2005. — 339 с.
5. **Кавтарадзе Р. З.** Локальный теплообмен в поршневых двигателях. — М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2007. — 472 с.
6. **Васильев А. В., Григорьев Е. А., Дивинский Е. А.** Повышение эффективности дизеля совершенствованием газораспределения // Тракторы и сельскохозяйственные машины. — 2000. — № 6. — С. 20—22.
7. **Васильев А. В., Дивинский Е. А.** Исследование рабочего процесса дизеля 8ЧВН 15/16 с силовой газовой турбиной // Двигателестроение. — 2004. — № 2. — С. 15—17.
8. **Ларцев А. М.** Особенности форсирования наддувом дизелей воздушного охлаждения большой размерности: Монография. — Волгоград: ВолгГТУ, 2015. — 163 с.

УДК 629.113

В. Н. Козловский, д-р техн. наук, **К. В. Киреев,** канд. техн. наук, СамГТУ, г. Самара,
А. В. Заятров, канд. техн. наук, ТГУ, г. Тольятти
E-mail: kozlovskiy-76@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРОНИКИ АВТОМОБИЛЕЙ

В работе проводится анализ надежности элементов электроники среди нескольких моделей автомобилей российского производства и выявляются причины отказов.

Ключевые слова: *качество; надежность; автомобиль; электрооборудование.*

The paper analyzes the reliability of electronic components among several models of cars Russian production and identify the causes of failures.

Keywords: *quality, reliability, car, electrical equipment.*

В настоящее время в системе электрооборудования автомобилей неуклонно растет номенклатура устанавливаемых электронных компонентов и приборов, включающая в себя разнообразные реле, контроллеры, регуляторы, блоки управления, датчики и т. д. Элементы электроники и микропроцессорной техники все больше укрепляют свои позиции в системах автоматического управления двигателем, трансмиссией, ходовой частью, а также в системах активной и пассивной безопасности, системах помощи водителю, системе комфорта, навигационной системе и т. д. [6, 8].

С учетом разработки и массового производства электромобилей и автомобилей с гибридными силовыми установками всеми крупнейшими автоконцернами, система электрооборудования становится ключевой системой автомобиля с точки зрения надежности и затрат на ее обеспечение [7].

Для комплексного исследования надежности отдельных элементов электрооборудования необходимо объединить устройства в группы по принципу их действия [3, 4]. Основной целью данной работы является анализ надежности элементов электроники автомобиля и выявление причин отказов среди них.

Исследование надежности системы электрооборудования автомобилей показывает, что по общему количеству отказов группа, состоящая исключительно из элементов электроники, стабильно занимает высокие позиции в рейтинге ненадежности, уступая лидирующую позицию только устройствам с электромеханическими преобразователями. Для отдельных семейств автомобилей надежность среди группы датчиков и исполнительных устройств равна или в незначительной степени ниже аналогичных показателей элементов электроники [2].

Для детального анализа устройств данной группы рассмотрим номенклатуру отказов среди двух моделей автомобилей российского производства. В таблице представлены наиболее часто проявившиеся в количественном выражении отказы элементов электроники по результатам анализа за 2015 г.

Анализ данных таблицы показывает, что независимо от модели наиболее серьезные проблемы связаны с пультом дистанционного управления (ПДУ). Причинами отказов ПДУ являются: неудовлетворительное качество пайки контактов отдельных элементов устройства, чаще всего кварцевого резонатора, контроллера; наличие, непосредственно на самой плате ПДУ, микротрещин [9].

Далее располагаются контроллеры электропакета, системы управления двигателем, управления отоплением, возможными причинами отказов которых являются выход из строя отдельных микросхем, ошибки при программировании.

Затем располагаются различные модули управления светотехникой, двери водителя, отказы в которых возникают вследствие недостаточной конструкционной жесткости корпусных деталей, выходом из строя отдельных элементов электроники (электрический пробой диодов).

Однако рассмотрение устройств данной группы, состоящих только из электронных устройств, было бы не полным, поскольку на результирующую надежность изделий, входящих в группу электромеханических преобразователей, серьезное влияние оказывают именно электронные элементы. В частности, речь идет о генераторной установке, в состав

Номенклатура отказов элементов электроники автомобилей

№ п/п	Модель 1	Модель 2
1	Пульт дистанционного управления	Пульт дистанционного управления
2	Контроллер электропакета	Модуль управления светотехникой
3	Модуль двери водителя	Контроллер системы управления двигателем
4	Контроллер управления отоплением	Контроллер электропакета
5	Контроллер системы управления двигателем	Счетчик пробега
6	Часы	Блок переключателей
7	Счетчик пробега	Иммобилизатор
8	Модуль управления светотехникой	Печатная плата комбинации приборов
9	Печатная плата комбинации приборов	Счетчик суточного пробега
10		Модуль двери водителя

которой, помимо электромеханического преобразователя, входят выпрямительный блок и регулятор напряжения, и об электроусилителе рулевого управления, содержащего в своем составе группу датчиков и электронную систему управления.

Для выявления наиболее частых причин выхода из строя генераторной установки необходимо выделить спектр возникающих отказов. На рис. 1 приведена номенклатура отказов и дефектов, возникающих среди генераторных установок.

Анализ диаграммы показывает, что на долю электронных компонентов (регулятор напряжения и выпрямительный блок) приходится 50 % всех отказов и дефектов среди генераторных установок, причем наиболее низкой надежностью обладают регуляторы напряжения.

Среди остальных причин отказов генератора следует выделить: повышенный шум, вызываемый перекатами подшипников из-за сдавливания и перекоса обоймы при запрессовке в переднюю крышку, несоблюдением размера посадочных мест под подшипник, задеванием вентилятора за крышку, дисбалансом ротора, загрязнением подшипника; некачественную токарную обработку контактных колец; смещение блока контактных колец; обрыв обмотки возбуждения.

Рис. 1. Номенклатура отказов и дефектов генераторной установки

Высокий уровень дефектности регулятора напряжения, блока выпрямителей связывают с низким качеством сварки, пайки, отказом электронных компонентов и нарушением технологии отбраковки готовых устройств. Стоит отметить, что наиболее распространенным мероприятием по повышению надежности генераторных установок является замена отечественных электронных компонентов импортными аналогами, тогда как коренные причины возникновения дефектов остаются не определенными. Данный факт показывает высокую степень актуальности работы по выявлению истинных причин отказов устройств, имеющих в своем составе элементы электроники [9].

Высокий уровень отказов среди электроусилителей рулевого управления обусловлен несовершенством конструкции датчика момента контактного типа, проблемами программного обеспечения алгоритмов управления электромеханическим блоком и отклонениями размерных параметров активной зоны электромеханического преобразователя устройства [2].

Рассмотрев устройства, составляющие основу электронной "начинки" автомобиля, необходимо уделить внимание датчикам, обеспечивающим функционирование систем автомобиля. Наряду с ростом количества устанавливаемых на современные автомобили датчиков, исчисляемым несколькими десятками, расширяется сфера их применения. Элементы электроники нашли при-

менение и в данном направлении, участвуя как в непосредственной обработке первоначальной информации, так и во вторичных преобразователях, осуществляющих обработку, нормализацию, усиление сигналов [5].

Несмотря на относительную простоту конструкции и высокие показатели надежности, отказы среди датчиков не редки, особенно в первые месяцы эксплуатации автомобиля. Благодаря низкой стоимости данных устройств, их практически не ремонтируют, а заменяют новыми, что осложняет идентификацию причин отказов. Тем не менее, наиболее часто причинами отказов являются дефекты радиоэлементов и их некачественная пайка, повреждения, возникающие при установке в корпус, окисление выводов радиоэлементов и т. д.

Для полноценного анализа электронных устройств остановимся на электронных реле, применяемых на современных моделях автомобилей, и в частности реле указателей поворота и прерывистой работы стеклоочистителя, выполненных на базе микросхем, либо дискретных элементах. Подавляющее большинство отказов возникает из-за износа контактов, другими причинами являются сгорание датчика тока, излом пружины, выход из строя микросхем.

Обобщим полученные данные о надежности элементов электроники, выделив первичные и вторичные причины отказов. Для этого построим причинно-следственную диаграмму, представленную на рис. 2.

Правильная интерпретация полученных результатов способствует выявлению наиболее проблемных факторов, требующих корректирующих мероприятий [1].

Анализ диаграммы позволяет выделить два наиболее "узких" места, связанных с технологией изготовления и конструкцией устройств. Наиболее частыми причинами отказов являются выход из строя электронных схем и неудовлетворительное качество пайки элементов. Остальные факторы, такие как используемый материал, применяемое оборудование и квали-

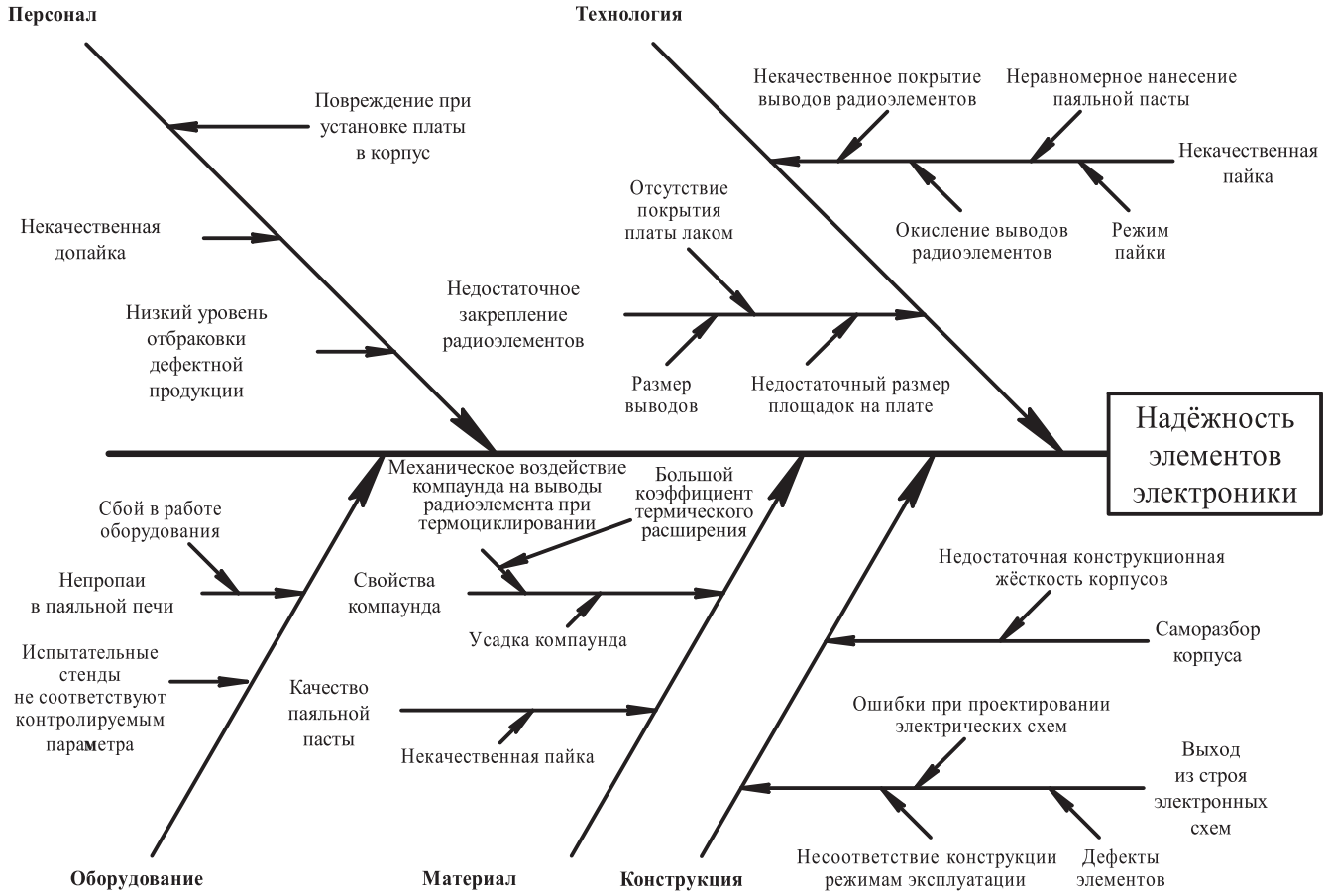

Рис. 2. Причинно-следственная диаграмма

фикация обслуживающего персонала оказывают меньшую роль в формировании итоговой надежности.

В настоящее время основным мероприятием по устранению отказов среди устройств с электронными компонентами является полная или частичная замена дефектных образцов импортными аналогами, крайне редко производится корректировка электрических схем с целью повышения надежности отдельных устройств. Все вышеперечисленное показывает необходимость проведения более тщательного анализа первоочередных причин отказов элементов электроники.

Подобные темпы роста и развития электроники и микропроцессорной техники приводят к значительному возрастанию уровня значимости обозначенной группы устройств в формировании результирующей надежности системы электрооборудования и всего автомобиля в целом.

Работы, проводимые в данном направлении, позволят обнаружить проблемные места в конструкции, выявить причины их появления, разработать комплекс мероприятий по их устранению.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Годлевский В. Е., Плотников А. Н., Юнак Г. Л.** Применение статистических методов в автомобилестроении / Под ред. А. В. Васильчука. — Самара: ГП "Перспектива", 2003. — 196 с.
2. **Козловский В. Н., Панюков Д. И.** Комплекс обеспечения качества системы электрооборудования автомобилей. — М.: Palmarium Academic Publishing, AV Akademikerverland GmbH&Co., Deutschland, 2014. — 361 с.
3. **Козловский В. Н., Афиногентова Н. В., Заятров А. В.** Методика ранжирования проблем качества высокотехнологичной продукции машиностроения по экономическим критериям // Актуальные проблемы экономики. — 2016. — № 3.
4. **Козловский В. Н., Афиногентова Н. В., Заятров А. В.** Прогнозирование влияния факторов сезонности в оценке качества и затрат на его обеспечение в период гарантийной эксплуатации автомобилей // Актуальные проблемы экономики. — 2016. — № 4.
5. **Козловский В. Н., Панюков Д. И., Афиногентова Н. В.** Прогнозное моделирование в вопросах обеспечения гарантии новых автомобилей // Актуальные проблемы экономики. — 2015. — № 2.
6. **Козловский В. Н**. Обеспечение качества и надежности электрооборудования автомобилей: Монография. — Тольятти: ГОУ ВПО "ТГУ", 2009. — 274 с.
7. **Козловский В. Н., Строганов В. И.** Обеспечение качества электромобилей и гибридов в эксплуатации. — М.: Palmarium Academic Publishing, AV Akademikerverland GmbH&Co., Deutschland, 2015. — 405 с.
8. **Литвиненко В. В., Майструк А. П.** Автомобильные датчики, реле и переключатели. Краткий справочник. — М.: ЗАО "КЖИ За рулем", 2004. — 176 с.
9. **Пьянов М. А., Козловский В. Н.** Обеспечение качества процесса диагностирования электрооборудования автомобилей: Монография. — Самара: Издательство СамНЦ РАН. — 2014. — 150 с.

Сборка новых рядных двигателей

Десять опытных образцов новых моторов Р6 собраны на заводе двигателей КАМАЗа.

Выполнен большой объем работ по сборке нового конвейера. Появились операции подсборки узлов и деталей, расположенные вне конвейера, а также линия сборки головки блока цилиндров. Для проведения пусконаладочных работ на завод приехали специалисты фирмы Thyssen Krause (электрики, электронщики, механики). Также были собраны столы для подачи деталей в зону конвейера и установлены спутники для транспортирования двигателя по конвейеру.

По словам главного технолога проекта "Тибет" Владимира Баринова, спутник — это узел, на который ставят блок цилиндров. "Затем этот блок на каждой последующей операции обрастает новыми деталями, которые устанавливают на двигатель: коленчатый вал, головка блока, маховик, картер маховика и другие, — пояснил он. — Совершив полный оборот на конвейере, спутник выйдет с уже готовым двигателем, который пойдет на испытательную станцию".

На первом этапе работы конвейера установили около 30 спутников, а с увеличением производственных мощностей до 30 тыс. двигателей их число возрастет. Вся работа на линии будет максимально информативной и наглядной. На мониторы выводится информация о техпроцессе, номере двигателя, требуемом и фактическом моменте затяжки и т. д. Информация с мониторов будет стекаться на единый информационный сервер.

Кроме нового сборочного конвейера работа проведена еще на трех участках. На линию блока цилиндров приезжали специалисты фирмы Heller для проверки качества изготовления полов и фундаментов. На линии головки блока цилиндров были сразу установлены шесть обрабатывающих центров. Здесь проводят пусконаладочные работы. Сдана в эксплуатацию измерительная машина Zeiss. На ней производится контроль всех параметров головки блока цилиндров. Кроме этого, для каждой детали нового двигателя установлено свое измерительное оборудование межоперационного и финишного контроля. Система контроля Q-DAS обеспечивает независимый контроль и анализ качества изготовления деталей. К примеру, выдаст анализ о том, что нужно поднастроить режущий инструмент или станок.

Особенность линии стыковки заключается в том, что она предусмотрена не только для новых рядных двигателей, но и для всех других выпускаемых моторов КАМАЗ и Cummins.

Пресс-служба ПАО "КАМАЗ

УДК 69.002.5/691.32

И. И. Зарипова, аспирант, e-mail: zaripovairinamadi@mail.ru,
В. А. Зорин, д-р техн. наук, проф., МАДИ, e-mail: madi-dm@list.ru

АНАЛИЗ КРИТЕРИЕВ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ БЕТОНОСМЕСИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ЦЕМЕНТНОГО ВЯЖУЩЕГО

В статье определены критерии эффективного применения бетоносмесительных установок циклического действия и непрерывного действия из расчета годовой производительности. Процесс приготовления электропроводного композиционного материала рассматривается в трех направлениях: подбор оптимального состава компонентов, непосредственное дозирование исходных компонентов и их дальнейшее перемешивание.

Ключевые слова: *бетоносмесительная установка, электропроводный композиционный материал, режимы работы, эффективность.*

The article defines the criteria for the effective application of concrete mixing plants of cyclic action and continuous action from the calculation of annual productivity. The process of preparation of electrically conductive composite material is considered in three directions: selection of the optimal composition of components, direct dosing of the initial components and their further mixing.

Keywords: *concrete mixing plant, electrically conductive composite material, operating modes, efficiency.*

Выбор критериев является одним из важных этапов оптимизации, так как все последующие действия направлены на поиск объекта, обеспечивающего соответствующее значение выбранного критерия [13].

Функционирование современных бетоносмесительных установок можно представить в виде функционирования большой системы, которая, в свою очередь, состоит из большого числа подсистем, узлов и элементов, связанных между собой различными связями: конструктивными, технологическими, функциональными, информационными и т.д. [1, 2]. Все эти узлы и элементы объединены в единое целое для достижения поставленной цели: производство материалов с заданными свойствами с максимально возможной производительностью при минимальных затратах энергетических и материальных ресурсов [11]. Таким образом, единая или, как ее еще называют, генеральная цель, общая для всей системы, определена назначением данной машины. Достижение генеральной цели основано на решении совокупности частных задач подсистем. Отдельные подсистемы необходимо рассматривать не автономно, а в их неразрывной взаимосвязи.

Достижение какой-либо частной цели (например, для подсистемы подбора компонентов) может повлечь за собой изменение функционирования соседнего узла (например, узла дозирования), тот в свою очередь повлияет на функционирование связанных с ним подсистем, могут наблюдаться и обратные воздействия. Все это, в конечном итоге, оказывает воздействие на функционирование бетоносмесительной установки в целом — изменяется степень достижения генеральной цели. Чтобы определить, как изменение того или иного элемента скажется на функционировании системы в целом, необходимо проанализировать все составляющие системы: выбрать наиболее существенно влияющие на генеральную цель.

Независимо от классификации заводы и установки должны обеспечивать бесперебойное производство композиционного материала на основе цементного вяжущего с неизменными показателями качества (гранулометрический состав, консистенция, соответствие классу бетона и т. д.). Конструкция заводов и установок должна обеспечивать возможность быстрой и легкой смены состава смеси без сложной перепланировки и перенастройки оборудования [6, 9].

Наиважнейшим показателем эффективности использования бетоносмесительных установок является их производительность. В свою очередь на итоговую (годовую) производительность влияет комплектность оборудования, особенно в дозировочном и смесительном блоках, а также режимы работы бетоносмесительной установки.

Режим работы бетоносмесительной установки характеризуется определенными значениями показателей (потребляемая мощность, производительность, скорость подачи материала, качественные показатели производимой смеси) при заданных значениях входных конструкторско-технологических параметров (размеры рабочих органов, значения скоростей и точности выполнения технологических операций, действующих усилий, физико-механических и технологических свойств исходных материалов смеси и т. д.).

Оптимальным режимом работы бетоносмесительной установки считаем такой режим, отклонение от которого в пределах допустимых границ не приводит к существенному изменению оптимальных значений выходных параметров, принятых за критерий оптимальности [4].

Для бетонорастворных заводов и установок циклического действия годовая производительность рассчитывается по формуле [4]:

$$П_г = V_{см} z_{см} n_з r_в r_н T_г, \text{ м}^3/\text{год}, \quad (1)$$

где $V_{см}$ — загрузочная вместимость смесителя, м^3; $z_{см}$ — количество смесителей циклического действия; $n_з$ — число замесов в час; $r_в$ — коэффициент выхода готовой смеси; $r_н$ — коэффициент неравномерности выдачи готовой смеси; $T_г$ — расчетный годовой фонд времени работы оборудования, ч.

Для заводов и установок, выполненных из стандартного оборудования и при приготовлении смесей по ГОСТ, значения параметров, входящих в формулу (1), могут быть взяты из специальных справочников [4].

Для бетонорастворных заводов и установок непрерывного действия годовая производительность рассчитывается по формуле [4]:

$$П_г = 0{,}95 П_г z_{см} T_г, \text{ м}^3/\text{год}, \quad (2)$$

где 0,95 — поправочный коэффициент снижения паспортной производительности смесителя; $П_г$ — паспортная производительность смесителя, м^3/ч; $z_{см}$ — количество смесителей непрерывного действия.

Рассматривая критерии эффективности использования бетоносмесительной установки и применяя метод индукции, процесс приготовления электропроводного композиционного материала (ЭКМ) можно разбить на три направления: подбор оптимального состава компонентов, непосредственное дозирование исходных компонентов и их дальнейшее перемешивание [6—8].

Оптимальный состав ЭКМ, прежде всего, зависит от концентрации электропроводящей фазы. Следовательно, при подборе состава ЭКМ необходимо учитывать фактор оптимизации по структурно-концентрационным параметрам. Большое внимание при этом стоит уделить отдельным физическим свойствам в зависимости от внутреннего строения композиции. На этапе подбора состава основными критериями будут являться: гранулометрический состав ЭКМ и его электропроводность. Для оптимизации состава ЭКМ может быть применено компьютерное имитационное моделирование структуры и электропроводных свойств [3, 6, 7].

Оптимизация процесса дозирования компонентов ЭКМ в мобильной бетоносмесительной установке базируется на существующих общих требованиях к дозировочному оборудованию, основанных на измерении массы и/или объема с учетом специфических свойств электропроводной фазы ЭКМ и со свойствами самого производственного процесса. Оптимальный закон управления режимом дозирования может быть основан на применении теории Графов с учетом очередности дозирования компонентов смеси ЭКМ по принятому критерию оптимальности [13, 14]. Также следует учитывать конструктивное исполнение различных структур дозирования. При производстве композиционных материалов, таких как бетонные смеси, следует руководствоваться ГОСТ [5], который определяет следующие допустимые погрешности дозирования (таблица). Для оптимизации состава ЭКМ путем регулирования системы дозирования бетоносмесительной установки также может быть использовано предварительное моделирование рецептуры смеси [8].

Несомненно, в существующих агрегатах и оборудовании можно получать бетон высокой однородности. В нормах имеется правильное положение

Допустимые погрешности дозирования компонентов при производстве в бетоносмесительных установках

Наименование дозируемого материала весовыми дозаторами	Допустимая погрешность
Цемент	±2 %
Вода	±2 %
Химические добавки	±2 %
Минеральные добавки	±2 %
Заполнители (не пористые)	±3 %
Заполнители (пористые)	±2 %

о том, что прочность бетона является статистической величиной. Поэтому не следует включать в статистическую обработку случайные показатели прочности, связанные с ошибками в испытании образцов и не возникающие при соблюдении технологии производства бетона. Колебания характеристик бетона, в том числе и прочности, по какой-либо технической причине — устранимы.

Целесообразное компоновочное решение заводов и установок выполняется на основе унифицированного ряда, который позволяет собирать из типовых элементов несколько вариантов стационарных и инвентарных (сборно-разборных) заводов и установок. Контроль и управление технологическими процессами приготовления смеси следует по возможности осуществлять из одного пункта [2, 4].

В виду специфики и необходимости строгого соответствия готовой смеси нормативным требованиям по электропроводности, в качестве основного критерия эффективности применения дозировочного оборудования бетоносмесительной установки целесообразно использовать точность дозирования, при которой допустимая погрешность электропроводного не пористого заполнителя ±2 %. При любой технологической схеме качественные показатели процесса дозирования наиболее зависят от системы управления. Однокомпонентные циклические схемы дозирования по сравнению с многокомпонентными схемами обладают более высокой точностью реализации поставленной задачи и большей производительностью, поэтому они и принимаются за основу [1, 2].

Оптимальный процесс перемешивания компонентов ЭКМ в мобильной бетоносмесительной установке должен обеспечивать равномерное распределение электропроводной фазы по всему объему диэлектрической матрицы. На этом этапе основными критериями будут являться целесообразное время и скорость перемешивания ЭКМ.

Для обеспечения основных факторов эффективности использования бетоносмесительных установок при производстве ЭКМ (экономическая и производственная целесообразность) следует учитывать их техническое состояние [9, 10] и требуемые выходные параметры композиционного материала со специальными свойствами [8, 12].

Отсюда следует, что работа бетоносмесительной установки в неоптимальном режиме ведет не только к ухудшению показателей качества смеси ЭКМ и, как следствие, к ухудшению (или даже полному несоответствию) характеристик дорожного покрытия со специальными свойствами, но и к общему удорожанию технологического процесса за счет перерасхода топливо-смазочных материалов, комплектующих и сменной (рабочей) оснастки, а также других производственных и экономических потерь.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Абдулханова М. Ю., Колбасин А. М., Марсов В. И.** Механическое оборудование предприятий стройиндустрии: учебное пособие. — М.: МАДИ, 2014. — 120 с.
2. **Автоматизация приготовления** бетонных смесей и изготовление железобетонных изделий и конструкций: Монография / В. А. Воробьев и др. — М.: Изд-во Российской инженерной академии, 2016. — 660 с.
3. **Баурова Н. И.** Метод имитационного моделирования, позволяющий оптимизировать свойства полимерных композиционных материалов // Все материалы. Энциклопедический справочник. — 2012. — № 11. — С. 42—46.
4. **Борщевский А. А., Ильин А. С.** Механическое оборудование для производства строительных материалов и изделий: Учеб. для вузов по спец. "Пр-во строит. изделий и конструкций". — М.: Высш. шк., 1987. — 368 с.
5. **ГОСТ 7473—2010** Смеси бетонные. Технические условия. — М.: Стандартинформ, 2011. — 24 с.
6. **Зарипова И. И., Новиков Д. А.** Компьютерное моделирование свойств электропроводных композиционных материалов при производстве с применением мобильной бетоносмесительной установки // Труды Молодежного международного научно-практического семинара молодых ученых и студентов. Москва: РУДН, 2016. С. 236—242.
7. **Зарипова И. И.** Моделирование процесса формирования структуры композиционного материала матричного типа методом случайных упаковок // Ремонт, восстановление, модернизация. — 2016. — № 3. — С. 35—38.
8. **Зарипова И. И., Новиков Д. А.** Технология подбора состава композиционного материала с прогнозируемыми свойствами // Приоритетные направления развития науки и образования. — 2016. — № 3 (10). — С. 88—91.
9. **Зорин В. А.** Российская энциклопедия самоходной техники: справочное и учебное пособие для специалистов отрасли "Самоходные машины и механизмы". 1-е изд. Т. 1. — М.: Просвещение, 2001 — 408 с.
10. **Зорин В. А.** Математический анализ процесса изменения состояния технической системы // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. — 2015. — № 4 (6). — С. 2.
11. **Зорин В. А., Серегин Д. В.** Перспективы замещения металлических материалов на полимерные композиционные при производстве грузовых автомобилей // Грузовик. — 2016. — № 12. — С. 8—10.
12. **Илюхин А. В., Баженов Ю. М., Воробьев В. А.** Основные подходы к компьютерному материаловедению строительных композитных материалов // Строительные материалы. — 2006. — № 3. — С. 71.
13. **Рейнгольд Э., Нивергельт Ю.** Комбинаторные алгоритмы: теория и практика /пер. с англ. Е. П. Липатова. — М.: Мир, 1980. — 476 с.
14. **Протасов И. Д.** Теория игр и исследование операций. — М.: Гелиос АРВ, 2006. — 368 с.

УДК 656.072-05

М. А. Кудряшов, аспирант, ГУП "Мосгортранс", e-mail: sparky5@yandex.ru,
А. В. Шаталова, магистр, ГУП "МосгортрансНИИпроект", e-mail: zoolywka@yandex.ru

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ОБСЛУЖИВАНИЯ МАЛОМОБИЛЬНЫХ ГРУПП НАСЕЛЕНИЯ В ТРАНСПОРТНО-ПЕРЕСАДОЧНЫХ УЗЛАХ

В статье проведен анализ методов оценки уровня качества транспортного обслуживания маломобильных групп населения (МГН) и других отдельных категорий населения транспортом общего пользования. Предложена методика оценки критериев качества транспортного обслуживания МГН применительно к плоскостным транспортно-пересадочным узлам (ТПУ). Приведены основные результаты обследования значимости параметров, оказывающих влияние на уровень качества транспортного обслуживания для МГН, полученные методом анкетирования в г. Москве.

Ключевые слова: *параметры транспортного облуживания, маломобильные группы населения, оценка качества транспортного обслуживания.*

This article deals with analysis of methods of an assessment of level of quality of transport service of low mobile groups of population (MGN) by public transport. The system of criteria for evaluation of quality of transport service in transport hubs, and also a technique of their calculation is offered. The main results of inspection of the importance of the parameters exerting impact on level of quality of transport service for MGN received by a questioning method in Moscow are given.

Keywords: *transport service parameters, low mobile groups of population, assessment of the level of quality of transport services.*

Введение

Учет потребностей МГН — одна из ответственных задач, решаемых при планировании транспортной инфраструктуры, технологии организации перевозок и государственном регулировании транспортной деятельности. Уровень качества транспортного обслуживания МГН во многом зависит от соответствия показателей перевозочного процесса нормативно-правовым актам.

Выполненный ранее анализ нормативно-правового регулирования в области транспортного обеспечения МГН позволил определить отсутствие учета значимости параметров качества транспортного обслуживания для отдельных категорий МГН [1]. Для решения поставленной задачи, на основе анализа данных, полученных по результатам социологического опроса, определены проблемы транспортного обслуживания для МГН и систематизированы по этапам поездки [1]. Разработка системы оценки критериев качества транспортного обслуживания МГН применительно к ТПУ позволит оценить эффективность принимаемых нормативно-правовых актов, а также проводимых мероприятий, направленных на улучшение транспортного обслуживания МГН.

Предложенные критерии позволят оценить качество транспортного обслуживания с учетом доступности при подходе к местам посадки/высадки взаимодействующих видов транспорта в плоскостном ТПУ и при осуществлении пересадки.

Анализ методов оценки уровня качества транспортного обслуживания МГН

В диссертации [2] предложен критерий доступности логистической цепи передвижений i-й разновидности МГН.

Доступность определяется тремя категориями: доступен (+), частично доступен (+ –), недоступен (–) и измеряется в процентном отношении (%).

Предлагаются следующие звенья логистической цепи.

1. Оборудование на объекте, доступный выход (вход), прилегающая территория.

2. Путь движения до (от) остановочного павильона транспорта общего пользования.

3. Остановочный пункт.

4. Транспортное средство.

Коэффициент доступности предлагается использовать в расчете суммарных затрат на поездку (при расчете затрат на пеший подход).

Согласно предложенной методике расчета суммарных затрат времени на поездку данный показатель увеличивается с ростом коэффициента доступности, что во многом противоречит методике расчета критерия доступности логистической цепи передвижений для отдельных групп МГН, поскольку, в соответствии с данной методикой расчета, чем выше коэффициент доступности, тем более доступна инфраструктура, следовательно, затраты на пеший подход должны быть ниже. В формуле расчета затрат на поездку также отсутствует учет доступности подвижного состава (низкопольный/высокопольный).

В статье [3] предлагается модель оценки доступности маршрутов транспорта общего пользования для МГН.

Применение данной методики во многом затруднительно вследствие отсутствия методики оценки коэффициента транспортной доступности остановочного пункта (ОП), коэффициента пешеходной доступности остановочного пункта и значимости каждого из представленных показателей оценки. Для комплексной оценки транспортного обслуживания МГН целесообразна оценка таких показателей качества, как: время поездки (зависит от интервала движения низкопольного подвижного состава), информационного обеспечения при планировании и во время поездки, а также комфортности поездки.

В статье [4] предложена методика определения доступности ОП на маршрутах общественного пассажирского транспорта по четырехуровневой системе:

1. Образцовая доступность ОП (3,7—4,0).

2. Хорошая доступность ОП (3,4—3,7).

3. Удовлетворительная доступность ОП (2,5—3,4).

4. Неудовлетворительная доступность ОП (0—2,5).

Для оценки критериев предлагается использование метода экспертных оценок. Методика оценки доступности ОП аналогична методике оценки маршрутов общественного транспорта, предложенной в [3]. Отличие состоит в том, что в данной методике использован коэффициент "вето", а также введен дополнительный коэффициент доступности специализированных ТС на маршруте, однако не определены критерии его оценки.

В статье [5] рассматривается методика оценки реализации мероприятий госпрограммы "Доступная среда". Предлагается балльная система оценки доступности объектов: 1 — недоступно; 2 — доступно с посторонней помощью; 3 — доступно самостоятельно. Проведенная по данной методике в г. Омске в 2012 г. оценка 1500 объектов социальной инфраструктуры показала, что их доступность составляет — 2,28. При этом доступность ОП транспорта общего пользования составила — 2,16, парковок — 2,35, прилегающих территорий — 2,66. Применение данной методики позволяет унифицировать оценку доступности транспортной инфраструктуры на уровне отдельных элементов и объектов. Однако данная методика не позволяет дать комплексную оценку транспортного обслуживания МГН с учетом значимости каждого параметра качества.

В работе [6] приведены результаты тестирования высокопольного автобуса, оборудованного подъемником, по результатам которого установлено, что высокопольные модели с подъемниками не приспособлены для работы на регулярных городских маршрутах с учетом потребностей МГН, вследствие сложности механизма подъемника, не рассчитанного на многократное использование, и длительности процесса посадки/высадки.

Системный анализ выполненных исследований позволяет сделать вывод об отсутствии комплексного подходка к оценке параметров качества транспортного обслуживания с учетом их значимости для отдельных категорий МГН.

Согласно исследованиям [1, 7—12], первичным при формировании оценки уровня качества транспортного обслуживания является определение основных критериев, их систематизация и определение оценки их важности.

В данной работе предлагается интегральный показатель оценки качества транспортного обслуживания для МГН применительно к плоскостным ТПУ, основанный на методике А. В. Шабанова [13].

Поскольку люди с инвалидностью и люди пожилого возраста (75 % по данным центра обеспечения мобильности пассажиров ГУП "Московский метрополитен"), как основная часть МГН, пользуются льготой на проезд в транспорте общего пользования, считается целесообразным

отказ от стоимостного показателя, используемого в методике А. В. Шабанова.

Разработку комплексной оценки уровня качества транспортного обслуживания предлагается осуществлять с учетом потребностей к транспортной доступности, исходя из физических возможностей отдельных категорий МГН. Оценку качества транспортного обслуживания целесообразно проводить для МГН без сопровождения.

Предложение по формированию комплексной оценки уровня качества транспортного обслуживания МГН

Комплексный показатель уровня качества транспортного обслуживания МГН предлагается определять зависимостью:

$$S = S_1^{k_1} S_2^{k_2} S_3^{k3} S_4^{k4} S_5^{k_5},$$

где S_1—S_5 — показатели уровня качества транспортного облуживания (S_1 — надежность перемещения (время поездки с учетом доступности объектов улично-дорожной сети и транспортной инфраструктуры для МГН); S_2 — регулярность движения (частота движения транспорта общего пользования, адаптированного для МГН); S_3 — безопасность (вероятность безотказной работы транспорта общего пользования, адаптированного для МГН); S_4 — комфортность (качество поездки для МГН); S_5 — показатель информационного сервиса (уровень информационного обеспечения для МГН); K_1—K_5 — показатели степени, характеризующие весомость соответствующего показателя уровня качества.

Поскольку для МГН на возможность и время поездки основное влияние оказывает доступность улично-дорожной инфраструктуры на пути следования к ТПУ и при осуществлении пересадки с одного вида транспорта на другой, а также наличие адаптированного подвижного состава, показатель S_1 предлагается определять как время поездки с учетом доступности объектов улично-дорожной сети и транспортной инфраструктуры на пути следования и при пересадке в плоскостном ТПУ.

Показатель S_1 определяется отношнием фактических затрат времени на поездку к затратам времени на поездку в "абсолютно комфортных условиях".

Затраты времени на поездку рассчитываются по следующей формуле:

$$T = \sum t_{\text{пер}i} + \sum \left(t_{\text{ож}j} + t_{\text{тр}j}\right) K_{\text{пер}},$$

где $t_{\text{пер}i}$ — затраты времени на передвижение к месту посадки/высадки i-го вида транспорта, взаимодействующего в ТПУ, или переход от места посадки/высадки до объекта притяжения, мин; $t_{\text{ож}j}$ — затраты времени на ожидание посадки в подвижной состав, оборудованный для МГН на j-м маршруте, мин; $t_{\text{тр}j}$ — затраты времени на следование в подвижном составе на j-м маршруте, мин; $t_{\text{пересе}i}$ — затраты времени на пересадку, мин; $K_{\text{пер}}$ — коэффициент пересадочности.

Затраты времени на передвижение рассчитываются по формуле:

$$t_{\text{пер}i} = 60 \frac{l_{\text{пеш}i}}{v_{\text{пер}}},$$

где $t_{\text{пер}i}$ — расстояние передвижения от пункта отправления до мест посадки/высадки или от мест посадки/высадки до пункта назначения, км; $v_{\text{пер}}$ — скорость перемещения МГН, км/ч.

Отметим, что в зависимости от целей передвижения пунктами отправления и назначения также могут служить места посадки/высадки i-го вида транспорта.

$$l_{\text{пер}i} = K_{\text{в}i} K_{\text{н}i} \sqrt{\left(\frac{1}{3\sigma_{\text{тс}i}}\right)^2 + \left(\frac{l_{\text{пер}i}}{4}\right)^2},$$

где $K_{\text{в}i}$ — коэффициент выбора мест посадки/высадки i-го вида транспорта; $K_{\text{н}i}$ — коэффициент непрямолинейности подхода; $l_{\text{пер}i}$ — средняя длинна перегона на путях сообщения, км; $\sigma_{\text{тс}i}$ — плотность маршрутной сети, км/км^2, определяемая отношением общей протяженности маршрутной сети i-го вида транспорта к площади региона.

Для МГН коэффициент выбора места посадки/высадки $K_{\text{в}i}^{\text{МГН}}$ напрямую зависит от количества доступных мест посадки/высадки, i-го вида, транспорта взаимодействующего в ТПУ, для разных категорий МГН. Исходя из этого, предлагается следующая формула расчета данного коэффициента:

$$K_{\text{в}i}^{\text{МГН}} = \frac{K_{\text{в}i}}{K_{\text{д}}^{\text{ОП}}},$$

где $K_{\text{д}}^{\text{ОП}}$ — коэффициент доступности мест посадки/высадки для МГН, рассчитанный по следующей формуле:

$$K_{\text{д}}^{\text{ОП}} = \Sigma^J m_j K_j,$$

где K_{ij} — j-й параметр доступности мест посадки/высадки i-го вида транспорта; m_j — коэффициент,

учитывающий вес j-го параметра (вводится при наличии нескольких параметров доступности), $\sum_{j=1}^{j} = 1$.

$$K_{ij} = \frac{N_{ij}^{\text{МГН}}}{N_{i\,\text{ОП}}},$$

где $N_{ij}^{\text{МГН}}$ — количество мест посадки/высадки, адаптированных для МГН по j-му параметру доступности i-го вида транспорта; $N_{i\,\text{ОП}}$ — общее количество мест посадки/высадки i-го вида транспорта, взаимодействующего в транспортно-пересадочном узле.

Таким образом, формула принимает вид:

$$K_{ij} = \frac{\Sigma^{J} m_j Ni_j^{\text{МГН}}}{N_{i\,\text{ОП}}}.$$

По результатам данных социологического опроса были выделены следующие основные параметры доступности мест посадки/высадки наземного городского пассажирского транспорта общего пользования.

Для людей с поражением опорно-двигательного аппарата (включая людей, использующих кресла-коляски):

— возвышение перронов посадки/высадки над поверхностью проезжей части (0,2 м) для посадки в низкопольный подвижной состав и наличие пандусов на подъезде к местам посадки/высадки (при необходимости);

— наличие места для размещения инвалидной коляски.

Для людей с поражением зрения:

— наличие тактильной плитки в полном объеме в соответствии с ГОСТ Р 52875—2007.

Для людей с поражением слуха отдельных параметров доступности не выявлено, соответственно для данной категории людей $K_{\text{д}}^{\text{ОП}} = 1$.

При расчете коэффициента непрямолинейности передвижения $\left(K_{\text{н}i}^{\text{МГН}}\right)$ для МГН необходимо учитывать уровень доступности объектов улично-дорожной инфраструктуры на пути следования к местам посадки/высадки, i-го вида транспорта, взаимодействующего в транспортно-пересадочном узле, для каждой категории МГН.

Предлагается следующая формула расчета коэффициента непрямолинейности передвижения для МГН:

$$K_{\text{н}i}^{\text{МГН}} = \frac{K_{\text{н}i}}{K_{\text{д}}^{\text{пер}}},$$

где $K_{\text{д}}^{\text{пер}}$ — коэффициент доступности передвижения для МГН, определяется по следующей формуле:

$$K_{\text{д}}^{\text{пер}} = \sum_{u=1}^{u} m_u K_u,$$

где K_u — u-й параметр доступности улично-дорожной инфраструктуры для МГН; m_u — коэффициент, учитывающий вес u-го параметра (вводится при наличии нескольких параметров доступности), $\sum_{u=1}^{u} = 1$.

Были предложены следующие параметры доступности объектов улично-дорожной инфраструктуры для каждой категории МГН.

Для людей с поражением опорно-двигательного аппарата (включая людей, использующих кресла-коляски):

K_1 — доля пешеходных переходов, оборудованных пониженным бортовым камнем, от общего количества пешеходных переходов;

K_2 — доля внеуличных пешеходных переходов, оборудованных лифтом (либо доступными пандусами) для МГН, от общего количества внеуличных пешеходных переходов;

K_3 — доля светофорных объектов, оборудованных пешеходными светофорами, совмещенными с табло обратного отсчета времени, от общего количества светофорных объектов.

Для людей с поражением зрения:

K_4 — доля светофорных объектов, оборудованных пешеходными светофорами, совмещенными с устройствами звукового сопровождения пешеходов, от общего количества светофорных объектов;

K_5 — доля пешеходных переходов, оборудованных тактильной плиткой, от общего количества пешеходных переходов.

Для людей с поражением слуха отдельных параметров доступности не выявлено, соответственно $K_{\text{д}}^{\text{пер}} = 1$. Коэффициент m_u, учитывающий долю каждого параметра, определяется на основе данных опросов МГН.

Затраты времени на передвижение МГН к месту посадки/высадки для посадки в салон подвижного состава примем равными времени передвижения от мест посадки/высадки до пункта назначения, таким образом:

$$\sum t_{\text{пер}i} = 2 \cdot 60 \frac{I_{\text{пер}i}}{v_{\text{пер}}}.$$

Затраты времени на ожидание подвижного состава i-го вида транспорта j-го маршрута определяются по формуле:

$$t_{\text{ож}ij} = \frac{I_{ij}}{2} + \frac{\sigma_{ij}^2}{2I_{ij}} + P_{\text{отк}ij} I_{ij},$$

где I_j — плановый интервал движения подвижного состава i-го вида транспорта на j-м маршруте, мин, j — среднеквадратичное отклонение от значения планового интервала движения подвижного состава i-го вида транспорта на j-м маршруте; $P_{\text{отк}j}$ — вероятность отказа в посадке вследствие наполнения i-го вида транспорта подвижного состава на j-м маршруте.

$$I_j = \frac{t_{\text{об}} 60}{A},$$

где $t_{\text{об}}$ — нормативное время оборота; A — общее количество работающего подвижного состава i-го вида транспорта на j-м маршруте.

Поскольку МГН (в том числе инвалиды-колясочники) могут использовать только подвижной состав, адаптированный для их перевозки (в том числе низкопольный), то для них расчет интервала движения принимает вид:

$$I_{ij}^{\text{МГН}} = \frac{t_{\text{об}} 60}{A_{i\,\text{МГН}}},$$

где $A_{\text{МГН}}$ — количество низкопольных единиц подвижного состава i-го вида транспорта на j-м маршруте.

Зная плановый интервал движения всего подвижного состава i-го вида транспорта работающего на j-м маршруте можно рассчитать интервал движения низкопольного подвижного состава по следующей формуле:

$$I_{ij}^{\text{МГН}} = \frac{I_{ij}}{K_{\text{п.с}}^{\text{МГН}}},$$

где $K_{\text{п.с}}^{\text{МГН}}$ — доля низкопольного подвижного состава на маршруте в общем количестве подвижного состава, работающего на маршруте.

Затраты времени на следование в подвижном составе определяются по формуле:

$$t_{\text{тр}ij} = 60 \frac{l_{\text{тр}ij}}{v_{\text{с}ij}},$$

где $v_{\text{с}j}$ — скорость сообщения i-го вида транспорта на j-м маршруте, км/ч; $l_{\text{тр}j}$ — протяженность поездки на подвижном составе i-го вида транспорта на j-м маршруте, км, и определяется по следующей формуле:

$$l_{\text{тр}j} = \sum l_{\text{пер}j},$$

где $l_{\text{пер}j}$ — потяженность перегонов, по которым совершается поездка.

Параметр (S_2) предлагается определять как "регулярность движения" подвижного состава, адаптированного для МГН, т. е. свойство подвижного состава прибывать в рассматриваемый пункт через равные (заданные расписанием движения) промежутки времени и определяется отношением количества рейсов, выполненных на подвижном составе, адаптированном для МГН к количеству рейсов, выполняемых на подвижном составе, адаптированном для МГН, предусмотренных расписанием движения.

$$N_{\text{р}}^{\text{н}} = \frac{T_{\text{м}} 60}{t_{\text{р}}},$$

где $T_{\text{м}}$ — время работы на маршруте; $t_{\text{р}}$ — время рейса.

Параметр безотказности (S_3) определяется как вероятность выхода из строя подвижного состава, адаптированного для МГН в течение определенного периода времени. Параметр рассчитывается по следующей формуле:

$$S_3 = \frac{\text{Б}_{ij}^{\text{ф}}(\Delta T)}{\text{Б}_{ij}^{\text{ном}}(\Delta T)},$$

где $\text{Б}_{ij}^{\text{ном}}(\Delta T)$ — номинальная безотказность работы i-го вида транспорта, использующего подвижной состав, адаптированный для перевозки МГН, на маршруте j за определенный период времени ΔT и устанавливается с использованием статистической отчетности за предыдущие периоды времени; $\text{Б}_{ij}^{\text{ф}}(\Delta T)$ — фактическая безотказность работы i-го вида транспорта, использующего подвижной состав, адаптированный для перевозки МГН, на маршруте l за определенный период времени ΔT.

Если на маршруте j работает $N_i^{\text{МГН}}$ количество подвижного состава, адаптированного для перевозки МГН, i-го вида транспорта и за период времени ΔT выйдет из строя $m_i^{\text{МГН}}$ единиц, то вероятность появления отказа подвижного состава на этом маршруте будет:

$$P_{il}^{\text{МГН}}(\Delta T) = \frac{m_{ij}^{\text{МГН}}}{N_{ij}^{\text{МГН}}}.$$

Закрепленный за маршрутом подвижной состав может или работать, или находиться в неисправном состоянии. Тогда их сумма будет:

$$P_{il}^{\text{МГН}}(\Delta T) + \text{Б}_{ij}^{\text{МГН}}(\Delta T) = 1.$$

Отсюда вероятность безотказной работы на данном маршруте j:

$$\text{Б}_{ij}^{\text{МГН}}(\Delta T) = 1 - P_{ij}^{\text{МГН}}(\Delta T) =$$

$$= 1 - \frac{m_{ij}^{\text{МГН}}}{N_{ij}^{\text{МГН}}} = \frac{N_{ij}^{\text{МГН}} - m_{ij}^{\text{МГН}}}{N_{ij}^{\text{МГН}}}.$$

Показатель комфортности (S_4) i-го вида транспорта на маршруте определяется отношением фактического к максимально возможному уровню комфортности поездки.

Уровень комфортности поездки определяется по следующей формуле:

$$K_{il} = \sum_{j=1}^{j} m_j \Pi_{il}^{j},$$

где Π_{il}^{j} — j-й параметр комфортности поездки в i-м виде транспорта на маршруте; m_j — коэффициент, учитывающий долю j-го параметра качества поездки (вводится при наличии нескольких параметров доступности) $\sum_{j=1}^{j} = 1$.

В результате анализа данных социологического опроса были предложены следующие параметры обеспечения комфортности поездки для каждой категории МГН.

Для людей с поражением опорно-двигательного аппарата (включая людей, использующих кресла-коляски):

— наличие и функционирование ремней безопасности для крепления инвалидной коляски и кнопки связи с водителем на доступном уровне (0,7—1,2 м);

— подъезд вплотную к платформе остановочной площадки;

— оказание помощи при посадке в салон подвижного состава (откидывание аппарели);

— наличие и исправность системы звукового и визуального информирования об остановке.

Для людей с поражением зрения:

— наличие и исправность системы звукового информирования об остановке;

— удобство расположения сидений;

— наличие поручней контрастных цветов.

Для людей с поражением слуха:

— наличие и исправность электронного табло с названием остановочного пункта;

— удобство расположения сидений.

Количественное значение и вес (при необходимости) каждого параметра устанавливается путем обработки данных социологических опросов.

Показатель информационного сервиса определяется отношением фактического к максимально возможному уровню информационного обеспечения на i-м виде транспорта по маршруту.

Уровень информационного обеспечения на i-м виде транспорта рассчитывается по формуле:

$$Y_{ij} = \sum_{j=1}^{j} m_j \Pi_{il}^{j},$$

где Π_{il}^{j} — j-й параметр информационного сервиса в i-м виде транспорта на маршруте; m_j — коэффициент, учитывающий долю j-го параметра информационного сервиса (вводится при наличии нескольких параметров доступности), $\sum_{j=1}^{j} = 1$.

В результате анализа данных социологического опроса были предложены следующие параметры обеспечения информационного сервиса для каждой категории МГН.

Для людей с поражением опорно-двигательного аппарата (включая людей, использующих кресла-коляски):

— наличие информации в сети Интернет о местах посадки/высадки;

— наличие информации о расписании маршрутов низкопольного подвижного состава в местах посадки/высадки;

— наличие визуальной и звуковой информации о номере и маршруте следования подошедшего подвижного состава и его доступности для людей, использующих кресла-коляски (с помощью пиктограмм).

Для людей с поражением зрения:

— наличие информации в сети Интернет о доступности мест посадки/высадки;

— наличие информации о расписании маршрутов в местах посадки/высадки, выполненной шрифтом Брайля;

— наличие звуковой информации о номере и маршруте следования подошедшего подвижного состава.

Для людей с поражением слуха:

— наличие информации о расписании маршрутов в местах посадки/высадки;

— наличие визуальной информации о номере и маршруте следования подошедшего подвижного состава.

Результаты социологического опроса МГН о параметрах качества транспортного обслуживания

По результатам обработки данных опроса была определена значимость показателей качества для МГН. Полученные значения показывают процент характеристик, заявленных значимыми.

Надежность перемещения (время поездки с учетом доступности объектов улично-дорожной сети и транспортной инфраструктуры для МГН) — 42,3 %.

Регулярность движения (частота движения транспорта общего пользования, адаптированного для МГН) — 10,2 %.

Безопасность (вероятность безотказной работы транспорта общего пользования, адаптированного для МГН) — 9,1 %.

Комфортность (качество поездки для МГН) — 16,8 %.

Показатель информационного сервиса (уровень информационного обеспечения для МГН) — 21,6 %.

В части доступности улично-дорожной сети были установлены параметры для каждой категории МГН и определена их значимость.

Для людей с поражением опорно-двигательного аппарата (включая людей, использующих кресла-коляски):

— наличие пониженного бортового камня на пешеходных переходах — 50,4 %;

— наличие лифта, либо доступного пандуса на внеуличных пешеходных переходах — 39,5 %;

— наличие табло обратного отсчета времени на светофорных объектах, оборудованных пешеходными светофорами —10,1 %.

Для людей с поражением зрения:

— наличие устройства звукового сопровождения пешеходов на светофорных объектах, оборудованных пешеходными светофорами —56,2 %;

— наличие тактильной плитки на пешеходных переходах и остановочных пунктах —43,8 %;

В части доступности остановочных пунктов были установлены параметры для каждой категории МГН и их определена их значимость.

Для людей с поражением опорно-двигательного аппарата (включая людей, использующих кресла-коляски):

— наличие пандусов на входе/выходе, приемлемая высота для посадки в транспорт — 85,9 %;

— наличие места для размещения инвалидной коляски — 14,1 %.

Для людей с поражением зрения:

— наличие тактильной плитки.

В области обеспечения комфортности поездки были установлены параметры для каждой категории МГН и определена их значимость.

Для людей с поражением опорно-двигательного аппарата (включая людей, использующих кресла-коляски):

— наличие и функционирование ремней безопасности для крепления инвалидной коляски и кнопки связи с водителем на доступном уровне (0,9—1,2 м) — 16,1 %;

— подъезд вплотную к платформе остановочной площадки — 45,2 %;

— оказание помощи водителем при посадке в подвижной состав — 33,4 %;

— наличие и исправность системы звукового и визуального информирования об остановке — 5,3 %.

Для людей с поражением зрения:

— наличие и исправность системы звукового информирования об остановке — 58,1 %;

— удобство расположения сидений — 17,4 %;

— наличие и удобство поручней контрастных цветов — 24,5 %.

Для людей с поражением слуха:

— наличие и исправность электронного табло с названием остановочного пункта — 62,5 %;

— удобство расположения сидений — 37,5 %.

В области обеспечения информационного сервиса были установлены параметры для каждой категории МГН и определена их значимость.

Для людей с поражением опорно-двигательного аппарата (включая людей, использующих кресла-коляски):

— наличие информации в сети Интернет о доступности остановочных пунктов — 33,4 %;

— наличие информации о расписании маршрутов низкопольного подвижного состава на остановочных пунктах — 46,3 %;

— наличие визуальной и звуковой информации о номере подошедшего подвижного состава и его доступности для людей, использующих кресла-коляски (с помощью пиктограмм) — 20,3 %.

Для людей с поражением зрения:

— наличие информации в сети Интернет о доступности остановочных пунктов — 28,6 %;

— наличие информации о расписании маршрутов на остановочных пунктах, выполненной шрифтом Брайля — 22,9 %;

— наличие звуковой информации о номере подошедшего подвижного состава — 48,5 %.

Для людей с поражением слуха:

— наличие информации о расписании маршрутов на остановочных пунктах —32,2 %;

— наличие визуальной информации о номере подошедшего подвижного состава —67,8 %.

Выводы

Предлагаемая методика позволяет учесть параметры транспортного обслуживания в комплексе и с учетом весомости каждого из них для МГН. Полученные показатели уровня качества транспортного обслуживания позволят оценить эффективность принимаемых нормативно-правовых актов, а также проводимых мероприятий, направленных на улучшение транспортного обслуживания МГН. Адаптация предложенной методики возможна применительно к отдельному виду транспорта и маршруту следования МГН с использованием полученных данных в ходе опроса.

Следует отметить, что авторы сделали акцент на качестве транспортного обслуживания при использовании наземного городского пассажирского транспортом общего пользования (НГПТ) на маршруте следования и при пересадке на другие виды транспорта в связи с отсутствием отдельной службы, в задачи которой входит сопровождение и организация помощи в перемещении на маршруте следования и при пересадке с одного транспортного средства на другое.

В настоящее время инспекторы Центра обеспечения мобильности пассажиров ГУП "Московский метрополитен" оказывают услуги МГН при входе в метрополитен и сопровождают по всему маршруту следования до выхода из метрополитена, на пути следования Аэроэкспресса до терминала аэропорта, автовокзалов и по территории ж/д вокзалов до посадки в поезда дальнего и пригородного сообщения. При подготовке запуска пассажирского движения на МЦК (МКЖД) был утвержден Регламент взаимодействия и организации обслуживания МГН между ГУП "Московский метрополитен" и ОАО "Российские железные дороги".

Авторы считают целесообразным разработку и утверждение Регламента обеспечения мобильности МГН между ГУП "Московский метрополитен", ОАО "Российские железные дороги" и ГУП "Мосгортранс". Утверждение соответствующего регламента во многом позволит повысить мобильность МГН при следовании с пересадкой, что повысит качество транспортного обслуживания на всем маршруте следования.

Направлением дальнейших исследований может служить определение параметров транспортного обслуживания в комплексе и с учетом весомости каждого из них для МГН на других видах транспорта и в случае необходимости уточнение предложенной методики.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Кудряшов М. А., Шаталова А. В.** Анализ нормативно-правового регулирования перевозок отдельных групп населения автомобильным транспортом // Грузовик. — 2017. — № 9. — С. 25—30.
2. **Гайдаев В. С.** Оценка логистической системы транспортного обеспечения маломобильных групп населения: дис. канд. экон. наук: 08.00.05. [Место защиты: Рост. гос. строит. ун-т]. 2012.— 192 с.
3. **Оценка доступности** маршрутов городского пассажирского транспорта для маломобильных групп населения / Ю. А. Эртман, С. А. Эртман, О. Н. Перепелкина, А. Н. Логунова, В. Н. Карнаухов // Научно-технический вестник Поволжья. — 2014. — № 3. — С. 254—257.
4. **Перепелкина О. Н., Эртман С. А., Эртман Ю. А.** Оценка доступности услуг общественного пассажирского транспорта для маломобильных групп населения // статья в сборнике трудов конференции // Сб. трудов Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых "Проблемы функционирования систем транспорта". В 2 т. — 2015. — С. 100—104.
5. **Сафронов К. Э., Мочалин С. М.** Оценка программных мероприятий по повышению доступности городской транспортной системы для маломобильных групп населения // Вестник сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. — 2015. — № 4. — С. 30—38.
6. **Спирин И. В.** Научные основы комплексной реструктуризации городского автобусного транспорта: дисс.д-р атехн. наук: 05.22.10. [Место защиты: МАДИ]. — М., 2007. — 421 с.
7. **Сафронов К. Э., Молчалин С. М.** Обеспечение доступности различных видов пассажирского транспорта для инвалидов // Вестник сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. — 2015. — С. 45—52.
8. **Блудян Н. О., Пасынский А. А., Михайлов Е. Ф.** Обоснование и разработка комплексной системы качества транспортного обслуживания населения в московской агломерации // В мире научных открытий. — 2015. — С. 251—260.
9. **Блудян Н. О., Рощин А. И., Антонов М. Н.** К вопросу минимальных социальных стандартов транспортного обслуживания населения // Депонированная рукопись ВИНИТИ РАН. — М., 2009. — № 754-В2009. — 9 с.
10. **Блудян Н. О., Рощин А. И., Антонов М. Н.** Оценка критериев и нормативов обеспеченности регулярными пассажирскими перевозками на автомобильном транспорте // Депонированная рукопись ВИНИТИ РАН. — М., 2009. — № 753-В2009. — 14 с.
11. **Блудян Н. О., Антонов М. Н.** Критериальная оценка обеспеченности населения региона транспортным обслуживанием // Вестник МАДИ. — 2009. — № 3. — С. 110—113.
12. **Шабанов А. В.** Региональные логистические системы общественного транспорта: методология формирования и механизм управления. — Ростов-н/Д: Изд-во СКНЦ ВШ, 2001. — 205 с.

УДК 656.1:62-192+004.942

А. Н. Якубович, д-р техн. наук, **И. А. Якубович,** д-р техн. наук, МАДИ
E-mail: yakubovich_irina@mail.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВРЕМЕНИ ЭКСПЛУАТАЦИИ НА НАДЕЖНОСТЬ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ И ИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Для формализованного описания динамики изменения надежности объекта в течение периода его эксплуатации предложено использовать случайный процесс. Снижение функциональности объекта отображается как изменение во времени параметров этого процесса. Методами статистического моделирования получены количественные оценки надежности объекта для различных периодов его эксплуатации. Показано, что для объектов с высоким уровнем начальной надежности ее снижение, при неблагоприятных изменениях вероятностных параметров функциональности, идет более быстрыми темпами. Другим фактором, значимо влияющим на темпы снижения надежности со временем, является вариативность критерия работоспособности; его влияние также количественно оценено.

Ключевые слова: *надежность, автотранспортные системы, эксплуатационный период, статистическое моделирование.*

For a formalized description of the dynamics of changes of the reliability of the object during the period of its operation it is proposed to use a random process. Reduction in the functionality of the object is displayed as changing in time parameters of this process. Methods of statistical modelling of quantitative evaluation of the reliability of the object for different periods of operation. It is shown that for objects with high initial reliability, under adverse changes in probabilistic settings functionality goes faster. Another factor significantly affecting the rate of decline in reliability over time, is the variability of health criteria; the effect is also quantified.

Keywords: *reliability, transport systems, operating period, statistical simulation.*

Надежность элемента технической системы, в том числе автотранспортной, представляет собой его способность сохранять работоспособное состояние в течение срока эксплуатации. Полная или частичная утрата функциональности в определенный момент эксплуатационного периода означает наступление отказа. Проявление отказов объективно носит стохастический характер, поскольку они определяются одновременным сочетанием множества очень плохо прогнозируемых факторов: пиковых значений нагрузок, текущих прочностей материалов, интенсивности и адекватности управляющих воздействий. Этим обусловлено широкое использование методов теории вероятностей и математической статистики при решении задач прогнозирования надежности, в частности, использование основанных на вероятностном подходе критериев (статистик) для количественной оценки надежности. Одновременно с этим весьма обширный математический аппарат, имеющийся в распоряжении современного исследователя, зачастую дает возможность, используя разные методы, получать для одного и того же объекта существенно различающиеся результаты. Это делает особенно актуальным вопрос об адекватности гипотез, изначально выдвигаемых в отношении исследуемого объекта, и необходимости их предварительного тщательного и всестороннего обоснования до начала формальной процедуры вероятностного анализа [1].

Для количественной оценки надежности элемента или объекта часто используется вероятность его отказа P, определяемая на основе функции работоспособности [2]. Параметром, формализуемым в структуре функции работоспособности и характеризующим функциональность объекта, является критерий работоспособности k, для которого фиксируется граничное значение между зонами пригодности к эксплуатации и зоной отказов. Обычно критерий k конструируется таким образом, чтобы его граничное значение $[k]$ было равно 0 или 1 [3].

С учетом своего вероятностного характера, функция работоспособности может быть пред-

ставлена как случайная величина $\tilde{k}$ или случайный процесс $\tilde{k}(t)$. Использование случайной величины подразумевает исключение фактора времени из формальной модели работоспособности объекта. Поскольку корректно игнорировать данный фактор, как правило, невозможно, он учитывается косвенно, путем сопоставления случайной величины $\tilde{k}$ с определенным фиксированным периодом T — месяцем, годом, или всем сроком эксплуатации. Соответственно, и количественные результаты оценки надежности соответствуют принятому периоду, и при рассмотрении иных интервалов времени эти результаты должны быть скорректированы. Вероятность отказа в течение периода T определяется как:

$$P = \int_{-\infty}^{[k]} p(k)\,dk, \qquad (1)$$

где $p(k)$ — функция плотности вероятности случайной величины $\tilde{k}$, определяемая законом распределения и количественными значениями его параметров.

Переход к более продолжительному интервалу времени может осуществляться на основе предположения о взаимной независимости событий (отказов) в течение соседних периодов. Если данное предположение оправдано, то вероятность отказа в течение периода $T_n = nT$ будет равна:

$$P_n = 1 - (1 - P)^n. \qquad (2)$$

В то же время, с увеличением продолжительности эксплуатации объекта его физико-механические свойства закономерно изменяются, что приводит к постепенному изменению параметров распределения $p(k)$, или даже к изменению самого закона распределения. Например, принятое в [4] предположение о нормальном характере закона распределения в течение всего срока эксплуатации оказалось необоснованным, а получаемые количественные оценки надежности — значительно завышенными [5].

Использование случайного процесса для описания функции работоспособности является, в содержательном отношении, намного более предпочтительным, но приводит к значительным вычислительным трудностям. В каждый момент времени случайный процесс $\tilde{k}(t)$ представляет собой случайную величину $\tilde{k}_t$ (сечение процесса), характеризуемую функцией плотности вероятности $p(t,k)$. Соответственно, вероятность отказа за период T будет определяться как:

$$P(T) = \frac{1}{T}\int_0^T \int_{-\infty}^{[k]} p(t,\ k)\,dk\,dt. \qquad (3)$$

Поскольку сечения случайного процесса, в общем случае, различаются законами и параметрами распределения, это приводит к сложностям идентификации величин в (3). Для этой цели могут использоваться методы, основанные на правдоподобных гипотезах об особенностях данных величин; эмпирические методы [6, 7] являются, несомненно, предпочтительными, но не всегда могут обеспечить достаточные объемы статистических данных. Даже при полностью идентифицированных параметрах получение аналитического решения аналогично [8], как правило, невозможно, что приводит к необходимости использования численных методов.

Одним из наиболее эффективных методов численного определения вероятности (3) является имитационное моделирование [9] (если параметры случайного процесса известны только для отдельных моментов времени), либо вероятностно-статистическое моделирование (когда известен закон изменения этих параметров во времени). В целях выявления тенденций изменения надежности в связи со старением объекта и соответствующим ухудшением его физико-механических характеристик был рассмотрен случайный процесс, все сечения которого описывались нормальным законом распределения, а параметры этого закона, среднее значение m и стандартное отклонение σ изменялись со временем. Таким образом, функция плотности вероятности в (3) имела вид:

$$p(t,\ k) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma(t)} e^{-\frac{(m(t)-k)^2}{2\sigma(t)^2}}. \qquad (4)$$

Ухудшение физико-механических характеристик объекта учитывалось линейным снижением среднего значения критерия работоспособности, от значения m_0 в начальный момент времени до величины m_T в конце рассматриваемого периода продолжительностью T. Соответственно, изменение параметра m в выражении (4) описывалось зависимостью:

$$m(t) = \frac{m_0(T - t) + m_T t}{T}. \qquad (5)$$

Качественная картина снижения надежности объекта со временем, соответствующая приня-

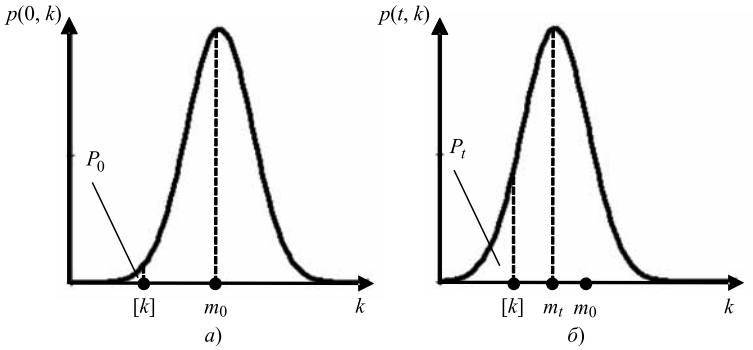

Рис. 1. Сечения случайного процесса, описывающего надежность объекта, в моменты времени:

а — $t_0 = 0$ (начальный момент); *б* — $t>t_0$; [*k*] — граница области отказов; P_t — вероятность отказа в момент *t*

той модели (3) — (5), показана на рис. 1. В начальный момент времени, когда среднее значение критерия работоспособности максимально, вероятность отказа P_0 определяется площадью под графиком функции плотности вероятности $p(0,k)$, расположенной левее граничного значения [*k*] (рис. 1, *а*). В момент времени $t > 0$ среднее значение критерия работоспособности снижается до величины m_t, что приводит к смещению графика $p(t,k)$ влево на расстояние $m_0—m_t$ (рис. 1, *б*). Поскольку граничное значение [*k*] остается неизменным в течение всего рассматриваемого периода *T*, площадь левее этого значения, графически представляющая собой вероятность отказа в момент *t*, увеличивается до уровня P_t. Такое возрастание вероятности отказа и снижение надежности объекта будет иметь место на протяжении всего периода *T*.

Численное значение (3) определялось с помощью статистического моделирования. Каждое сечение случайного процесса моделировалось N_t значениями случайной величины (реализациями $\tilde{k}_t$); при этом площадь под соответствующим графиком $p(t,k)$ делилась на одинаковые участки площадью N_t^{-1} каждый. В пределах каждого участка определялась одна реализация; таким образом, вероятности появления всех реализаций были одинаковы, что позволяло максимально точно отразить в формируемой выборке моделируемый закон распределения случайной величины. Как показано в [10], наиболее эффективно размещение реализации в точке, которая делит соответствующий участок на две равные по площади части:

$$k_n = \left(k_{b,\,n} - k_{b,\,n-1}\right)\times \times \frac{\sqrt{0,5\left[p\left(k_{b,\,n}\right)^2 + p\left(k_{b,\,n-1}\right)^2\right]} - p\left(k_{b,\,n-1}\right)}{p\left(k_{b,\,n}\right) - p\left(k_{b,\,n-1}\right)}, \quad (6)$$

где $p(k)$ — функция плотности вероятности при фиксированном значении *t*; $k_{b,\,n}$ и $k_{b,\,n-1}$ — граничные точки участка, в пределах которого расположена реализация k_n. Необходимое для достижения требуемой точности моделирования количество реализаций N_t определялось отдельно для каждого сечения. С этой целью по сформированной выборке определялись параметры закона распределения; при их несовпадении с исходными значениями (5) количество реализаций увеличивалось. Использование эффективного алгоритма формирования выборки позволило ограничиться объемами, не превышающими 100 реализаций в каждой выборке.

Результаты моделирования в пределах 10 %-ного снижения со временем среднего значения коэффициента работоспособности, при неизменном стандартном отклонении $\sigma(t) = \text{const}$ в (4), показаны на рис. 2. Таким образом, продолжительность рассматриваемого периода *T* определялась временем, за которое среднее значение m_0 снижалось до величины $m_T = 0,9m_0$, и в явном виде параметр *t* в численной модели не присутствовал. При необходимости полученные результаты однозначно сопоставляются с продолжительностью периода (моментом времени *t*), соответствующему определенной величине:

$$\Delta m = m_0 - m(t).$$

На рис. 2 прослеживается снижение надежности объекта со временем, причем наиболее быстрыми темпами это происходит в случае малых коэффициентов вариации и высокой начальной надежности. Рис. 2, *а* показывает результаты моделирования при начальной вероятности отказа $P_0 = 0,135$ %, которая соответствует часто используемой в ответственных технических системах надежности 0,99865; в этом случае граничное значение [*k*] на рис. 1 располагается на расстоянии 3σ от среднего значения m_0. При такой высокой начальной надежности снижение среднего значения *m* на 1 % приводит, при начальном коэффициенте вариации $\nu = 5$ %, к возрастанию вероятности отказа на 38 %, до величины 0,187 %. Такое сочетание высокой начальной надежности и малой вариативности характерно, в том числе, для прочности стали [11], а значит, и для объектов, работоспособность которых определяется прочностью данного конструкционного материала. Даже при достаточно большом значении начального коэф-

фициента вариации ν = 15 % снижение *m* на 1 % вызывает увеличение вероятности отказа на 10 %, до уровня 0,148 %. По мере дальнейшего снижения *m* снижение надежности изначально высоконадежной системы падает все более быстрыми темпами. Предельное, в рамках выполненного моделирования, значение Δ*m* = 10 % приводит к повышению вероятности отказа в 3,2 раза при ν = 15 % и более чем в 30 раз, когда ν = 5 %. В последнем случае итоговая надежность за рассматриваемый период составляет всего 0,95876.

Начальная надежность 0,95 достаточно типична для случаев, когда отказ объекта не сопряжен с тяжелыми последствиями. В ряде случаев при наступлении подобного отказа допускается даже продолжение эксплуатации объекта в течение ограниченного времени — например, при превышении экологических нормативов. При такой начальной надежности граница между областью допустимых состояний и областью отказов располагается на расстоянии 1,64σ от m_0. Результаты моделирования для такого объекта показаны на рис. 2, *б*. Падение надежности по мере снижения *m* также идет ускоряющимися темпами, которые, однако, заметно ниже, чем у высоконадежных объектов. Для Δ*m* = 1 % вероятность отказа, в рассмотренном диапазоне коэффициентов вариации, выросла от 7 % до 24 % при ν = 15 % и ν = 5 % соответственно. При Δ*m* = 10 % вероятность отказа увеличилась от 1,8 до 5,8 раз (ν = 15 % и ν = 5 %), и итоговая надежность в последнем случае снизилась до уровня 0,70969.

Сформулированное изначально предположение о неизменности дисперсии и функционально связанного с ней стандартного отклонения σ в течение всего рассматриваемого периода, имеет своим следствием возрастание со временем коэффициента вариации ν(*t*) = σ/*m*(*t*). Если зафиксировать *ν* на постоянном уровне, то изменение во времени стандартного отклонения σ(*t*) должно иметь вид, аналогичный (5), с заменой соответствующих обозначений. Результаты моделирования для случая ν = const показаны на рис. 3.

На рис. 3 можно видеть, что при неизменном коэффициенте вариации снижение надежности со временем идет несколько более медленными темпами при любой начальной надежности. Однако количественные отличия от результатов моделирования, показанные на рис. 2, не очень значительны: при Δ*m* = 10 % итоговая надежность при ν = 5 % снижается от 0,99865 до 0,96342, и от 0,95 до 0,71682.

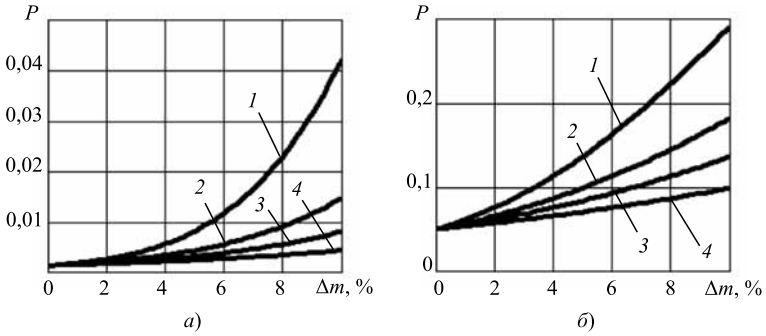

Рис. 2. Изменение вероятности отказа *P* в течение эксплуатации объекта:

а — начальная надежность 99,865 % (3σ); *б* — 95 % (1,64σ); *1* — коэффициент вариации в начальный момент времени 5 %; *2* — 7,5 %, *3* — 10 %, *4* — 15 %

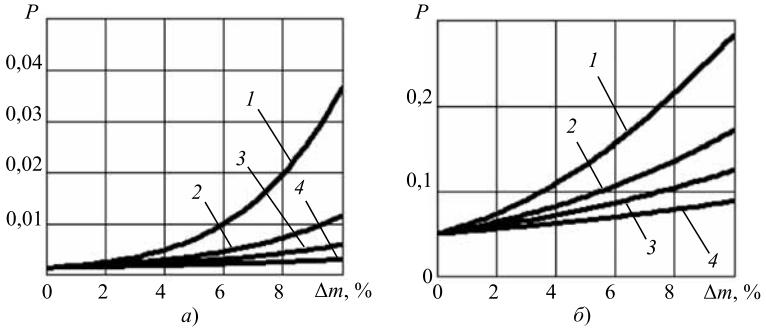

Рис. 3. Изменение вероятности отказа *P* при неизменном коэффициенте вариации:

а — начальная надежность 99,865 % (3σ); *б* — 95 % (1,64σ); *1* — коэффициент вариации в начальный момент времени 5 %; *2* — 7,5 %, *3* — 10 %, *4* — 15 %

Выводы

Снижение функциональности объектов и элементов автотранспортных систем, наблюдаемое в течение периода их эксплуатации, формализовано представляется как изменение параметров характеризующего работоспособность случайного процесса. В случае, когда сечения этого процесса описываются нормальным законом распределения, уменьшение со временем среднего значения этого распределения приводит к падению надежности системы или объекта ускоряющимися темпами. Темпы снижения надежности больше в случае малых коэффициентов вариации, а также при высокой начальной надежности. По результатам численного моделирования получены

количественные оценки для изменения со временем вероятности отказа; максимальное возрастание вероятности отказа (в 32 раза) получено при снижении среднего значения критерия работоспособности на 10 % для начальной надежности объекта 0,99865 и коэффициента вариации 5 %.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Стрельников В. П., Егоров С. В.** Исследование свойств статистики, применяемой для оценки вероятности безотказной работы // Математические машины и системы. — 2008. — № 3. — Т. 1. — С. 147—152.
2. **Якубович А. Н., Якубович И. А.** Определение надежности автотранспортных систем и их элементов методами математического моделирования // Грузовик. — 2016. — № 7. — С. 39—44.
3. **Якубович А. Н., Якубович И. А.** Надежность элементов АТС, описываемых двухфакторной моделью // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). — 2016. — № 1 (44). — С. 7—14.
4. **Кузнецов Е. С.** Управление техническими системами. — М.: Изд-во МАДИ (ТУ), 2003. — 247 с.
5. **Якубович А. Н., Якубович И. А.** Оценка обеспеченности ведущей функции потока отказов // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). — 2011. — № 1. — С. 16а—21.
6. **Комаров В. В.** Управление рисками и надежностью автотранспортных систем на основе мониторинга свойств автомобильной техники в эксплуатации // Известия Московского государственного технического университета МАМИ. — 2008. — № 2. — С. 42—49.
7. **Якубович А. Н.** Применение цифрового виртуального анализатора звуковых сигналов в целях диагностики неисправностей агрегатов АТС // Грузовик. — 2015. — № 1. — С. 22—23.
8. **Апполонов И. В., Хариев Н. И.** Методы оценки надежности технических устройств на этапе проектирования (практические примеры расчета показателей надежности) // Оборонный комплекс — научно-техническому прогрессу России. — 2006. — № 4. — С. 87—104.
9. **Скрыпников А. В., Кондрашова Е. В., Дорохин С. В., Бурмистров В. А.** Повышение качества и эффективности технической эксплуатации автотранспортных средств по результатам исследований их эксплуатационной надежности с применением методов имитационного моделирования // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. — 2014. — № 6. — С. 125—126.
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.
11. **Багмутов В. П., Савкин А. Н.** Прогнозирование надежности и долговечности углеродистых сталей при статистическом моделировании случайного внешнего нагружения // Известия Волгоградского государственного технического университета. — 2007. — № 1. — Т. 1. — С. 14—18.

Специальные цены на оригинальные запчасти

Компания "ЧЕТРА-Промышленные машины" совместно с компанией "Сервис промышленных машин", занимающейся гарантийным и постгарантийным сервисным обслуживанием спецтехники ЧЕТРА, вводят специальные цены на оригинальные комплектующие для всего модельного ряда оборудования российского бренда.

Предложение действительно для клиентов компаний в городах Чебоксары, Курган, Чита, Свободный, Белово, Нерюнгри, Новый Уренгой, Красноярск и Хабаровск.

Запчасти для спецтехники ЧЕТРА производятся на предприятиях концерна "Тракторные заводы" в соответствии с конструкторской документацией на том же самом оборудовании, что и сама техника ЧЕТРА. Эти предприятия — одни из немногих в мире, имеющие полный цикл производства: от литья до финальной обработки. Полная технологическая цепочка, включающая заготовительное, термическое, сварочное, механосборочное и инструментальное производства, а также научно-исследовательские, конструкторские и испытательные центры, является гарантией надежности работы как самих комплектующих, так и узлов техники.

Между тем в связи с многочисленными случаями недобросовестной конкуренции и поставок контрафактных комплектующих "ЧЕТРА-ПМ" предупреждает, что применение запчастей, приобретенных у недобросовестных поставщиков, существенно снижает производительность машины и приводит к поломкам техники и дорогостоящему ремонту. В связи с этим компания призывает всех потребителей техники бренда ЧЕТРА использовать только оригинальные запасные части, которые изготавливаются на предприятиях — производителях техники и реализуются официальными поставщиками комплектующих.

Пресс-служба компании ЧЕТРА

ПРЕСС-ТУР
ВЫСТАВКИ • КОНФЕРЕНЦИИ • ПРЕЗЕНТАЦИИ

НОВЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ОБУЧЕНИЯ В МЦПК

Многофункциональный центр прикладных квалификаций машиностроения — совместный проект КАМАЗа и Министерства образования и науки России — открыл новые направления в обучении.

Уже в мае 2017 г. в МЦПК стартовало востребованное в Республике Татарстан обучение промышленному альпинизму. Полигон для этих целей расположился в подвале учебного центра, высота которого 5,5 м. С сентября совместно с Техническим колледжем им. В. Д. Поташова началось обучение по направлению "Промышленная робототехника". Это актуальная для КАМАЗа программа, поскольку сейчас компания рассматривает варианты переоснащения производства с использованием роботизированных комплексов. На некоторых заводах они уже используются.

Среди оборудования центра — учебные стенды по сборке, электротехнике и электрике. Покрасочная камера — уникальный штучный товар, изготовленный по индивидуальным размерам под мастерскую "Покраска, герметизация и восстановление геометрии".

НОВЫЙ СЕРВИСНЫЙ ЦЕНТР

В г. Котельниково Волгоградской области состоялось открытие нового сервисного центра ПАО "КАМАЗ", предлагающего клиентам услуги по техническому обслуживанию автомобилей и продаже автозапчастей.

В церемонии открытия приняли участие председатель комитета транспорта и дорожного хозяйства Волгоградской области Анатолий Васильев, глава администрации Котельниковского муниципального района Сергей Понкратов, генеральный директор ГБУ "Волгоградавтодор" Игорь Подгорный и другие руководители. Кроме того, мероприятие посетили главы фермерских хозяйств Котельниковского и других районов Волгоградской и Ростовской областей. На выставке автотехники КАМАЗ, приуроченной к открытию комплекса, были представлены автомобили нового модельного ряда — самосвалы КАМАЗ-6580, КАМАЗ-65201 Люкс, а также зерновоз на базе КАМАЗ-65207.

Сервисный центр "КАМАЗ" в Котельниково предлагает клиентам полный спектр услуг по техническому обслуживанию автомобилей и спецтехники, также реализуется возможность приобретения оригинальных запасных частей. На территории общей площадью около 11 тыс. кв. м расположены офисные помещения, здание розничного магазина, склад автозапчастей, сервисный центр с линией диагностики, шиномонтажом и постом мойки грузовых машин.

Сервисная зона нового центра может принять в ремонт до 15 автомобилей одновременно. Особое место в составе комплекса занимает станция технического осмотра с пропускной способностью до 50 машин в смену. Также при сервисном центре функционирует служба эвакуации легковой и грузовой техники.

"Новый центр не только открывает широкие возможности по качественному и оперативному обслуживанию автотехники КАМАЗ и продаже оригинальных запчастей, но и внесет положительный вклад в экономику региона, создаст новые рабочие места", — отметил генеральный директор ООО "АвтоТехЦентр" Антон Кривонос, поблагодарив всех, кто принимал участие в реализации проекта.

Пресс-служба ПАО "КАМАЗ"

Художественный редактор *Д. С. Рыбакова*. Технический редактор *Е. М. Патрушева*. Корректор *И. Е. Назарова*
Сдано в набор 01.06.2017. Подписано в печать 22.08.2017. Формат 60 × 88 1/8. Усл. печ. л. 5,88.
Отпечатано в ООО "Канцлер", 150008, г. Ярославль, ул. Клубная, д. 4, кв. 49.
Оригинал-макет: ООО "Адвансед солюшнз". 119071, г. Москва, Ленинский пр-т, д. 19, стр. 1. Сайт: **www.aov.ru**