Грузовик

4
2019

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

Учредитель ООО "Научно-техническое издательство "Инновационное машиностроение"

Главный редактор С.Н. ПЕДЕНКО

Редакционный совет

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

Корпункт:
Я.Е.Карповский (г.Минск)

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

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

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

Подписной индекс:
по объединенному каталогу
"Пресса России" 39799

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

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

За содержание рекламных материалов ответственность несет рекламодатель.

В НОМЕРЕ:

Конструкция

3 *Касьянов В. Е., Косенко Е. Е., Косенко В. В., Котесова А. А.* Влияние объемов генеральных совокупностей на ресурс автомобилей при единичном и серийном производствах

Энергетическое машиностроение

7 *Фасхиев Х. А.* Экономическая эффективность автотранспорта на электрической тяге. Часть 2

17 *Козловский В. Н., Новикова А. П., Шакурский М. В., Петровский С. П.* Комплекс мониторинга работоспособности системы электропитания беспилотного автомобиля

Эксплуатация. Ремонт

24 *Башкирцев Ю. В., Рогачев Д. И.* Оптимизация концентрации клеевого состава с использованием компьютерной программы STATGRAPHICS Plus для восстановления машин и оборудования

27 *Карташова В. В., Баурова Н. И.* Изучение адгезионных свойств покрытий, используемых для внутренних поверхностей рабочих органов дорожных машин

Исследования. Расчет

29 *Кочетков А. В., Федотов П. В.* Механизмы адиабатического нагрева и охлаждения газов (тепловые процессы в двигателях внутреннего сгорания)

Экология

38 *Чернецкая Н. А., Войнаш С. А., Войнаш А. С.* Снижение экологических рисков при обслуживании автомобилей на стационарном заправочном пункте

Безопасность

45 *Крамаренко Б. А.* Особенности анализа и сравнения общих показателей состояния безопасности на дорогах

Пресс-тур

46 *Конкурс в МАДИ*

47 *1300 грузовиков FUSO*

48 *Четра Т11 поможет*

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

Информация на сайте "Autotransportnik.ru"

Truck

4
2019

SCIENTIFIC-TECHNICAL AND INDUSTRIAL MAGAZINE

Founder JSC Scientific and Technical Publishing House "Innovative Engineering"

Editor-in-Chief S.N. PEDENKO

Editorial council

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

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

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

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

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

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

JSC Innovatsionnoye mashinostroyeniye Publishing House, "Truck", 2019

Грузовик

Уважаемые подписчики и читатели журнала "Грузовик"!

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

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

CONTENTS:

Design

3 *Kasyanov V. E., Kosenko E. E., Kosenko V. V., Kotesova A. A.* Determination of the influence the impact of volume variances set of car parts in their life in single and serial production

Power engineering

7 *Faskhiev Kh. A.* Economic efficiency of motor transport on the electric type. Part 2

17 *Kozlovskiy V. N., Novikova A. P. , Shakurskiy M. V., Petrovskiy S. V.* Complex of monitoring the operability of the power supply system of an unmanned vehicle

Exploitation. Renovation

24 *Bashkirtsev Y. V., Rogachev D. I.* Optimization of concentration of glutinous structure with use of computer program STATGRAPHICS Plus for restoration of cars and the equipment

27 *Kartashova V. V., Baurova N. I.* The study of the adhesive properties of coatings used for the internal surfaces of the working bodies of road machines

Research. Calculation

29 *Kochetkov A. V., Fedotov P. V.* Mechanisms of adiabatic heating and cooling of gases (thermal processes in internal combustion engines)

Environment

38 *Chernetskaya N. A., Voynash S. A., Voynash A. S.* Reduction of environmental risks in the process of car service at the stationary filling item

Security

45 *Kramarenko B. A.* Peculiarities of analysis and comparison of general state indicators road safety

Press tour

46 *Competition in MADI*

47 *1300 mrucks FUSO*

48 *Chetra T11*

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

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

УДК 629.018

Касьянов В. Е., д-р техн. наук, професор, **Косенко Е. Е.,** канд. техн. наук, доцент,
Косенко В. В., канд. техн. наук, доцент, **Котесова А. А.,** канд. техн. наук, доцент,
Донской государственный технический университет
E-mail: a123lok@mail.ru

ВЛИЯНИЕ ОБЪЕМОВ ГЕНЕРАЛЬНЫХ СОВОКУПНОСТЕЙ НА РЕСУРС АВТОМОБИЛЕЙ ПРИ ЕДИНИЧНОМ И СЕРИЙНОМ ПРОИЗВОДСТВАХ

Проведены исследования твердости различных марок сталей с целью определения пределов выносливости по корреляционным зависимостям. Результаты полученных исследований использованы для определения ресурса деталей с использованием графического метода перехода от выборки к совокупности. Рассмотрена связь единичного и серийного производства через однородность выборочной статистики.

Ключевые слова: *выборка, усталостный ресурс, генеральная совокупность конечного объема, однородность.*

Researches of hardness of various steel grades for the purpose of definition of limits of endurance on correlation dependences are conducted. Results of the received researches are used for definition of a resource of details with use of a graphic method of transition from selection to set. Communication of single and mass production through uniformity of selective statistics is considered.

Keywords: *sample, fatigue resource, population of final volume, uniformity.*

Определение показателей надежности несущих систем автомобилей в условиях их эксплуатации является актуальной задачей. Интерес представляют исследования вопросов надежности автомобилей при единичном и серийном производстве, а именно факторов, определяющих их главный параметр — ресурс. Исследования, проведенные в этой области, основываются на экспериментах, проводимых с использованием образцов с прямоугольным сечением и с применением моделирования [1—9].

По причине сложности проведения прямых исследований, связанных с вырезанием образцов из эксплуатируемых несущих конструкций автомобилей, образцы изготавливались из марок сталей, подобных эксплуатируемым [10].

В представленной работе значения твердости, полученные экспериментальным путем у марок сталей СТ3, 15Г и 15ХСНД, использовались для определения пределов прочности и выносливости по эмпирическим формулам корреляционной зависимости между твердостью и пределом выносливости стали.

Исследованию данных вопросов посвящены работы следующих отечественных авторов: Марковца М. П., Добровольского И. И., Жукова А. А. и др., а также зарубежных — Хейвуда, Роша, Эйхингера, Крюссара, Корбера, Хемпеля. В результате анализа выбрана формула перехода (формула Марковца) с минимальной погрешностью расчета, составляющей 2,3 %.

В основе дальнейших исследований лежит определение минимальных значений механических характеристик рассматриваемых сталей для последующего определения минимального ресурса.

Для оценки минимальных значений механических характеристик необходимо знать закон их распределения. Как указано в работах [11, 12], в большинстве случаев для элементов, выполненных из стали, наиболее предпочтительным является трехпараметрический закон распределения Вейбулла.

В отличие от конструкторских бюро, которые обычно пользуются в расчетах усталостных ресурсов деталей выборочными значениями твердости и предела выносливости, предлагается перейти от выборок к генеральной совокупности конечного объема. При этом генеральная совокупность — это то количество деталей, узлов и машин,

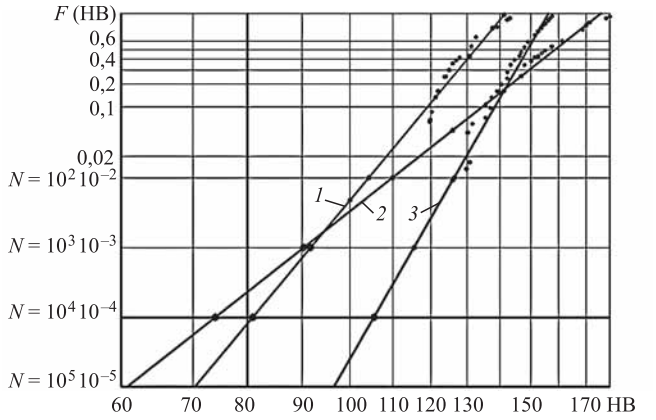


Рис. 1. Графический метод перехода от выборки к совокупности для трех марок сталей:
1 — Ст3; *2* — 15Г; *3* — 15ХСНД

которые обычно выполняются без изменения конструкции и технологии изготовления в течение примерно 8—12 лет и могут составлять несколько тысяч единиц.

В этих целях выполнен переход от выборочных значений твердости (объемом выборок $n = 50$) с использованием графического метода и вероятностных сеток (рис. 1). Выполнена аппроксимация выборочных данных с помощью метода наименьших квадратов линейной функции, а указанная доверительная вероятность для сталей составит: *1* (Ст3) — $P = 0{,}92$; *2* (15Г) — $P = 0{,}968$; *3* (15ХСНД) — $P = 0{,}97$.

Результаты расчетов минимальных значений рассматриваемых сталей приведены в табл. 1.

Таблица 1

Определение минимальных значений твердости для выборки

№ п/п	Стали	n	ω^2	m	HB_{min}	C
1	Ст 3	50	0,13...0,47	20	109,0	108,29
2	15Г	50	0,11...0.71	20	118,0	105,66
3	15ХСНД	50	0,15...0,36	20	129,5	119,53

В табл. 2 включены минимальные значения твердости трех марок сталей для выборок ($q_в$) и совокупностей ($Q_с$).

Для примера рассчитаем ресурс элемента конструкции автомобиля, выполненного из стали Ст3. Опираясь на график, изображенный на рис. 2, определены минимальные значения твердости для выборки $HB_1 = 108$ кгс/мм^2 (выборка), при $N_с = 10^4$, $HB_1 = 81$ кгс/мм^2 (совокупность).

Для оценки величины изменения прочности и ресурса, введены коэффициенты: снижения прочности ($K_{сп}$), снижения ресурса ($K_{ср}$), увеличения ресурса для совокупности ($K_{ур\ с}$), увеличения прочности для совокупности ($K_{уп\ с}$).

Коэффициент снижения прочности (твердости) стали Ст3: $K_{сп} = 108/81 = 1{,}33$.

Предел прочности Ст3 (выборка) [13, 14] рассчитан по формуле (1):

$$\sigma_в = HB_в^{0,989} \cdot 0{,}365 = \\ = 108^{0,989} \cdot 0{,}365 = 37{,}4 \text{ кгс/мм}^2. \quad (1)$$

Таблица 2

Определение минимальной твердости для совокупности

№ п/п		n	$q_в$	$HB_{в.min}$	$N_с$	$Q_с$	$HB_{с.min}$	$K_{уп}$
1	Ст3	50	0,02	109,0	10^3	10^{-3}	92,0	1,18
2		50	—	—	10^4	10^{-4}	81,5	1,34
3		50	-	—	10^5	10^{-5}	71,0	1,54
4	15Г	50	0,02	118,0	10^3	10^{-3}	90,5	1,3
5		50	—	—	10^4	10^{-4}	74,0	1,59
6		50	—	—	10^5	10^{-5}	61,5	1,92
7	15ХСНД	50	0,02	129,5	10^3	10^{-3}	115,5	1,12
8		50	—	—	10^4	10^{-4}	106,0	1,22
9		50	—	—	10^5	10^{-5}	97,5	1,33

* Составлено на основе данных [7].

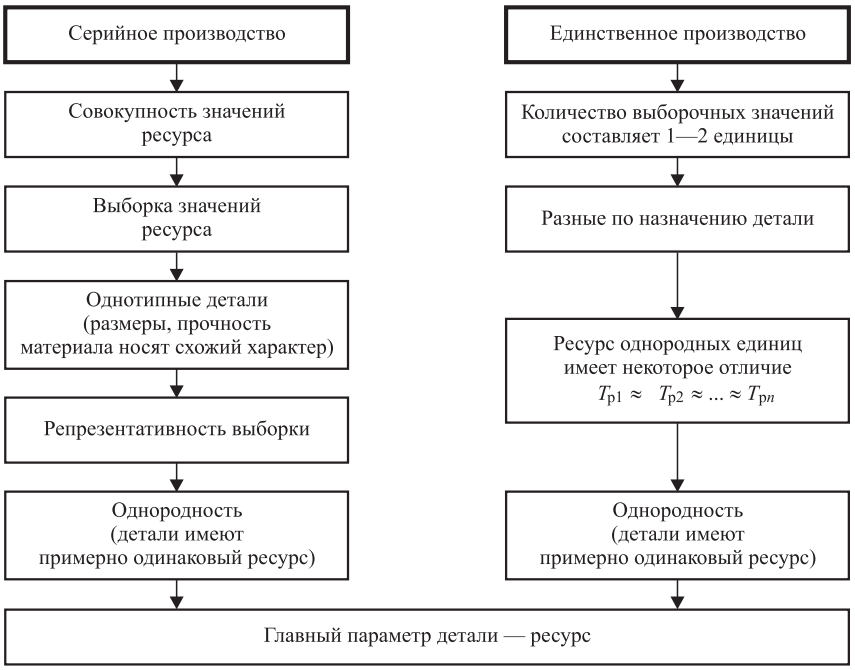


Рис. 2. Связь единичного и серийного производства через однородность выборочной статистики

Предел выносливости Ст3 (выборка) рассчитан по формуле (2):

$$\sigma_{-1в} = 0,432\sigma_в + 2,2 = \\ = 0,432 \cdot 37,4 + 2,2 = 18,4 \text{ кгс/мм}^2. \quad (2)$$

Ресурс элемента металлоконструкции автомобиля по выборке рассчитан по формуле

$$T_{р.выб} = \frac{a_р \sigma_{-1g\,в}^{m_1} N_0}{f \sigma_{св}^{m_1} \cdot 3600} = \\ = \frac{1 \cdot 18,4^6 \cdot 2 \cdot 10^6}{4 \cdot 12^6 \cdot 3600} = 1778 \text{ ч}, \quad (3)$$

где a_p — сумма относительных усталостных повреждений; m_1 — коэффициент угла наклона кривой усталости для многоцикловой области; N_0 — базовое число циклов; f — частота нагружения, Гц; $\sigma_{св}$ — действующее средневзвешенное напряжение, кгс/мм^2.

Для совокупности рассчитаны параметры по формуле (4, 5, 6):

$$\sigma_в = \text{НВ}_в^{0,989} \cdot 0,365 = \\ = 81^{0,989} \cdot 0,365 = 28,17 \text{ кгс/мм}^2; \quad (4)$$

$$\sigma_{-1в} = 0,432\sigma_в + 2,2 = \\ = 0,432 \cdot 28,17 + 2,2 = 14,35 \text{ кгс/мм}^2; \quad (5)$$

$$T_{р.сов} = \frac{a_p \sigma_{-1g}^{m_2} N_0}{f \sigma_{св}^{m_2} \cdot 3600} = \\ = \frac{1 \cdot 14,35^{12} \cdot 2 \cdot 10^6}{4 \cdot 12^{12} \cdot 3600} = 1187 \text{ ч}, \quad (6)$$

где m_2 — коэффициент угла наклона кривой усталости для сверхмногоцикловой области.

Коэффициент снижения ресурса детали:

$$K_{ср} = \frac{1778 \text{ ч}}{1187 \text{ ч}} = 1,5.$$

В итоге снижение ресурса по расчету КБ составит 1,5 раза.

Коэффициент увеличения ресурса

$$K_{урс} = \frac{20\ 000 \text{ ч}}{1187 \text{ ч}} = 16,85.$$

Коэффициент увеличения прочности

$$K_{упс} = \sqrt[12]{16,85} = 1,265.$$

Необходимая твердость (прочность) для совокупности $\text{НВ}_{уп}$ c_c = 81·1,265 = 102,5 кгс/мм^2.

Следовательно, несколько большее увеличение прочности и ресурса будет достигнуто при переходе от Ст3 на сталь 15ХСНД ($K_{уп}$ = 105/81 = 1,3) для совокупности конечного объема $N_c = 10^4$.

Заданный ресурс деталей должен обеспечиваться как в серийном, так и в единичном производстве. При подробном рассмотрении блок-схемы, представленной на рис. 2, можно заключить, что для серийного производства определяющим является совокупность значений. Соответствие полученных выборочных значений данной совокупности определяют размеры деталей, прочность используемого материала и т. д.; в случае серийного производства важно обеспечить репрезентативность выборки, составляющую значительное количество однородных деталей, имеющих примерно одинаковый ресурс.

В случае единичного производства, когда количество выборочных значений составляет 1—2 единицы, рассматриваются агрегаты (например, автоматическая коробка передач), у которых выборку составляют детали, отличающиеся по назначению. Однако ресурс однородных деталей в этом случае также, как и в серийном производстве имеет незначительное отличие.

Ключевым параметром детали для двух рассматриваемых производств является ресурс.

Таким образом, использование конструкторскими бюро усталостного ресурса, полученного по выборочным данным прочности, завышает расчетный ресурс в несколько раз. Применение генеральной совокупности конечного объема, соответствующей реальным объемам эксплуатирующихся машин, узлов и деталей, приводит к заниженному ресурсу и значительному количеству отказов. Поэтому необходимо в расчетах ресурсов использовать только генеральные совокупности конечного объема. При рассмотрении же единичного и серийного производства машин, с учетом наличия большого количества различных статистических показателей, ресурс является главным ключевым параметром при оценке времени безотказной работы машин.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Серенсен С. В., Когаев В. П., Шнейдерович Р. М.** Несущая способность и расчет деталей машин на прочность. — М.: Машиностроение, 1975. — 488 с.
2. **Марковец М. П.** Определение механических свойств металлов по твердости. — М.: Машиностроение, 1979. — 191 с.
3. **Касьянов В. Е., Роговенко Т. Н., Щулькин Л. П.** Основы теории и практики создания надежных машин // Вестник машиностроения. — 2003. — № 10. — С. 3.
4. **Kas'yanov V. E., Rogovenko T. N.** Probabilistic-statistical estimation of the gamma-life of a machine chassis // Russian Engineering Research. — 1999. — Vol. 6. — P. 10.
5. **Касьянов В. Е., Роговенко Т. Н., Зайцева М. М.** Обеспечение заданного усталостного ресурса деталей машин с использованием малых выборок исходных данных // Вестник машиностроения. — 2013. — № 5. — С. 10—15.
6. **Роговенко Т. Н., Зайцева М. М.** Оценка оптимального значения вероятности безотказной работы деталей машин на примере рукояти одноковшового экскаватора // Инженерный вестник Дона. — 2016. — Т. 43. — № 4 (43). — С. 84.
7. **Косенко Е. Е., Косенко В. В., Черпаков А. В.** Моделирование стержней с дефектами, имеющих различные виды закрепления // Инженерный вестник Дона. — 2013. — № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2155.
8. **Беленький Д. М., Косенко Е. Е., Оганезов Л. Р.** Минимальные значения и рассеивание механических характеристик строительных сталей // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2003. — № 6. — С. 102—105.
9. **Косенко Е. Е., Косенко В. В., Черпаков А. В.** Моделирование стержней с дефектами, имеющих различные виды закрепления // Инженерный вестник Дона. — 2013. — Т. 27. — № 4. — С. 272.
10. **Теплякова С. В., Котесова А. А., Косенко Е. Е.** Расчетно-экспериментальное определение максимальной нагруженности стрелы одноковшового экскаватора // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. — 2016. — № 2 (48). — С. 38—43.
11. **Касьянов В. Е.** Метод оценки безотказности для выборки и совокупности конечного объема // Научное обозрение. — 2014. — № 11 (3). — С. 785—788.
12. **Косенко Е. Е., Черпаков А. В., Косенко В. В., Недолужко А. И.** Методы оценки эксплуатационной надежности автомобилей // Инженерный вестник Дона, 2017, № 3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N3y2017/4303.
13. **Касьянов В. Е., Котесова А. А., Теплякова С. В.** Упрощенное определение расхождений между минимальными ресурсами выборок и совокупностей для ответственных деталей машин // Инженерный вестник Дона, 2013, № 2 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1694.
14. **Tepliakova S. V., Kosenko E. E., Kosenko V. V., Cherpakov A. V.** Mathematical Modeling of Ensuring Machine Reliability //Abstracts & Schedule. International Conference on "Physics and Mechanics of New Materials and Their Applications"(PHENMA 2016) Surabaya, Indonesia, July 19—22. — 2016. — P. 269.

УДК 658.53

Х. А. Фасхиев, д-р техн. наук, профессор кафедры прикладной гидромеханики ФГБОУ ВО "Уфимский государственный авиационный технический университет", профессор кафедры экономики, менеджмента и маркетинга Уфимского филиала Финансового университета при Правительстве Российской Федерации
E-mail: faskhiev@mail.ru

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ АВТОТРАНСПОРТА НА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ТЯГЕ. ЧАСТЬ 2

Приведен анализ тенденции и проблем развития подвижного состава на автотранспортном комплексе. Даны статистические показатели перехода автотранспорта на электрическую тягу, государственные меры поддержки покупки экологичных автомобилей. В роли оценочного критерия экономической эффективности автомобилей предложено использовать показатель "совокупная стоимость владения". Проведена сравнительная оценка и анализ экономической эффективности легковых и грузовых электромобилей с автомобилями того же класса, оснащенными двигателями внутреннего сгорания. Установлено, что по экономичности электромобили, в расчете за весь период эксплуатации не уступают автомобилям, работающим на нефтяном топливе. Проведен сравнительный анализ экономической эффективности электрогрузовика Tesla Semi с дизельным автопоездом.

Ключевые слова: *автомобиль, электромобиль, грузовик, автопоезд, перевозка, аккумулятор, эксплуатационные затраты, цена, экономичность.*

The analysis of the tendency and problems of rolling stock development on the motor transport complex is given. Statistical indicators of the transition of vehicles to electric traction, government measures to support the purchase of green cars are given. In the role of the evaluation criterion of the economic efficiency of cars, it is suggested to use the indicator TCO. A comparative evaluation and analysis of the economic efficiency of passenger and cargo electric vehicles with cars of the same class equipped with internal combustion engines was carried out. It has been established that, for economic reasons, electric vehicles, in the calculation for the whole period of operation, are not inferior to cars operating on oil fuel. A comparative analysis of the economic efficiency of the Tesla Semi electric truck with a diesel road train is carried out.

Keywords: *car, electric car, truck, road train, transportation, battery, operating costs, price, economy.*

В России электромобили пока роскошь

Россия с ее нефтяными запасами и лояльными экологическими требованиями находится вне мирового тренда. Парк электромобилей быстро нарастает в тех странах, где их покупка стимулируется субсидиями, снижением налогов и другими преференциями. Например, в отдельных странах электромобили разрешается парковать в зонах, закрытых для других автомобилей, предоставляется бесплатная парковка, разрешается двигаться по полосе общественного транспорта, создается развитая сеть электрозаправок. Россия не может похвастаться ни одним из этих стимулирующих факторов. Какие-либо меры господдержки экологичного транспорта в стране пока не выработаны, хотя на местном уровне для "зеленых" автомобилей есть отдельные преференции. Так, парковка для электромобилей в Москве и Санкт-Петербурге бесплатна, в Московской области для них отменен транспортный налог. Идея освобождения владельцев электромобилей от транспортного налога с 01.01.18 г. не нашла поддержки в Государственной Думе России.

Рынок электромобилей в России находится в зачаточном состоянии — на 01.01.17 г. зарегистрировано всего 920 автомобилей 7 моделей. За первое полугодие 2017 г. было продано всего

39 электрокар, что на 18 % больше, чем годом ранее. Объем продаж электромобилей в РФ не превышает 0,01 % общемирового уровня. В России в основном продаются автомобили марки Tesla, цена которых колеблется от 1 млн до 10 млн руб., плюс зарядная станция, стоимость которой в среднем стоит 120 тыс. руб. Российскому покупателю электромобиль обходится гораздо дороже, чем покупателям стран — производителей электромобилей. Отечественный автопром пока не освоил производство "зеленых" автомобилей. Российскому покупателю за импортный электрокар кроме его цены приходится платить таможенную пошлину (30 % стоимости), акциз по ставке 15 руб./л.с. (при мощности двигателя от 90 до 150 л.с., 153 руб./л.с. при мощности от 150 л.с.), таможенный сбор (0,15 %), НДС (18 %) и утилизационный сбор (17,2 тыс. руб.). Импортный электромобиль на российском рынке стоит как минимум в 1,5 раза дороже, чем в стране производителя. Так что электромобиль в России пока роскошь, а не средство передвижения. Его покупают обычно состоятельные люди в качестве второго или даже третьего автомобиля и, как правило, заряжают на своих индивидуальных станциях дома. Впрочем, в США 85 % владельцев электромобилей преимущественно пользуются только домашними зарядными станциями и платят за электроэнергию по ночному льготному тарифу.

Доступность электрокар для россиян можно обеспечить, освоив собственное производство. Но вот тут-то у нас начинаются проблемы, как и в других высокотехнологичных гражданских отраслях. Российские инновационные электрокары Marussia и "е-мобиль", которым предрекали большое будущее, на фоне экономической нестабильности в стране развалились. Освоенный в 2012 г. АВТОВАЗом электрический ВАЗ-1817 Ellada на базе "Калины" был продан в количестве всего 93 шт. Автомобиль имел пробег менее 100 км на одной зарядке, при этом его цена была больше 900 тыс. руб., т. е. дороже бензиновых иномарок своего класса. Естественно, он не пользовался спросом, и автозавод был вынужден закрыть проект.

С учетом опыта провала "электро-Калины" АВТОВАЗ разработал другую модель — Lada Vesta EV с электродвигателем мощностью 60 кВт. Литиево-ионный аккумулятор Vesta имеет значительно лучшие характеристики, чем литиево-железо-фосфатный агрегат Эллады. Электрокар способен в летнее время преодолеть 150—200 км без подзарядки. На полную зарядку требуется 8...10 ч, а при наличии доступа к трехфазной сети зарядка займет в 2 раза меньше времени. Цена автомобиля пока не названа, но она однозначно будет дороже ВАЗ-1817 Ellada, так как Vesta комфортабельнее, практичнее и больше по размерам. Предсерийный автомобиль автозаводу обошелся в 40 тыс. долларов. Старт продаж EV автозавод наметил на 2018 г. Если цена EV не будет превышать 1...1,2 млн руб., АВТОВАЗ может создать принципиально новый сегмент не только на российском, но и на мировом рынке. EV может стать экспортным прорывом на европейский рынок. При сегодняшнем низком курсе рубля и наличии инфраструктуры "Vesta" может потеснить сравнительно дешевые электромобили Nissan и Mitsubishi не только на российском, но и на европейском рынке.

В России расстояния большие, автомобили эксплуатируются в суровых климатических условиях. Запас хода продаваемых ныне электромобилей не рассчитан для российских просторов и не превышает 150...200 км. Правда, модели Tesla на одной зарядке имеют пробег 400...450 км, но они дорогие и в российском парке электромобилей их доля всего 19 %. В стране слабо развита инфраструктура обслуживания электромобилей, нет ни одного специализированного автоцентра.

В 2015 г. Правительство РФ приняло постановление, по которому все российские АЗС (их более 60 тыс.) до 1 ноября 2016 г. должны были быть оборудованными зарядными устройствами для электромобилей. По причине отсутствия спроса на услуги по зарядке аккумуляторов АЗС пока не спешат "раскошелиться" на зарядные станции. В России по оценкам экспертов насчитывается около 300 станций зарядки.

Пример стран с активно развивающимся рынком электромобилей демонстрирует соотношение электромобилей и электрозаправок в пропорции 10:1 (США), 5:1 (ЕС). Чем станций зарядки в населенном пункте будет больше, тем популярнее будут там и электромобили. Зарядные станции могут быть созданы довольно быстро. Например, в Японии буквально в течение 5 лет было оборудовано 40 тыс. зарядных станций. Это на 5 тыс. больше, чем число бензиновых автозаправочных станций (35 тыс.). Большое внимание в Японии уделяется развитию скоростных "зарядок", и сейчас страна является лидером по числу "быстрых" зарядных пунктов — 6469 ед. Второе место в данном секторе принадлежит странам ЕС — 3028 станций, третье место — у США — 1686 ед., а всего у них около 9000 зарядных станций.

Еще одним препятствием развитию рынка электромобилей в России является холодный

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

Российское правительство в настоящее время ведет работу по подготовке мер материальной поддержки тех, кто покупает автомобили с электродвигателями, и тех, кто строит для них инфраструктуру. В частности, межведомственной комиссией ведется разработка программы субсидирования, льготного автокредитования и автолизинга. Меры поддержки будут адресованы и производителям электромобилей. Предусматриваются налоговые льготы владельцам торгово-развлекательных центров за оборудование электрозаправок. Предлагается выделить бюджетным организациям квоты на покупку электротранспорта. Планируется упростить порядок установки устройства ЭРА-ГЛОНАСС на электромобили. Перспективы развития электромобильного транспорта в России будут зависеть от того, насколько эти планы будут выгодны для покупателей и как будет развиваться инфраструктура для электрокар.

Есть ли экономическая выгода от электромобиля?

Мнение, что "электромобили всегда будут дороже, чем машины с ДВС", скорее всего миф, чем реальность. Все познается в сравнении. Расчеты экспертов бизнес-школы "Сколково" показывают, что за три года стоимость владения Tesla Model S уже в 2013 г. стала ниже, чем у бензинового Mercedes S — $ 120 и $ 110 тыс. соответственно [6].

Сравним по экономичности два хэтчбека Nissan — самый распространенный в России электромобиль Leaf (мощность 84 кВт, цена €23 тыс.) и бензиновую Tiida (90 кВт, €18 тыс.) в смешанном цикле движения, при которой измерение ведется в условиях, когда используются и резкий "городской", и спокойный "загородный" стили вождения. Электромобиль Leaf расходует в среднем 15 кВт·ч/100 км, а у Tiida расход бензина АИ-95 составляет 6,4 л/100 км. При тарифе на электроэнергию, например в Уфе, 4,5 руб./кВт·ч стоимость 1 километра пробега Leaf составит 68 копеек. Пробег же 1 км Tiida при цене бензина 41 руб./л составит 2,62 руб., т. е. в 3,85 раза дороже. Достаточна ли данная экономия для возврата переплаты при покупке электромобиля? Разница в цене в 5 тыс. евро при курсе 69,6 руб./евро благодаря экономии топлива может быть компенсирована при пробеге 180 тыс. км. При годовом пробеге в 30 тыс. км на это потребуется 6 лет.

Расчеты показывают, что от покупки электромобиля экономической выгоды практически не имеет. Правда, при расчетах не был учтен тот факт, что техническое обслуживание электромобиля дешевле бензинового, так как у него нет сложного двигателя, да и трансмиссия существенно проще. Электромобилю не нужно периодически менять масло, фильтры. Кроме того, рекуперация при торможениях позволяет экономить до 20 % энергии аккумуляторов, свести к минимуму износ тормозных колодок.

Как предрекают эксперты, если нормы на выбросы вредных веществ продолжат ужесточаться, то к 2020 г. автомобили с бензиновыми и дизельными двигателями по цене "догонят" электромобили. В то же время вследствие снижения цен на самый дорогой компонент электромобиля — аккумуляторы, будет снижаться и стоимость автомобиля. Кстати, у упомянутого выше Nissan Leaf тяговая батарея стоит 5000 евро, т. е. 22 % цены автомобиля.

Применение разного рода субсидий, льгот существенно могут повысить привлекательность электромобилей. Например, во Франции, если сдать автомобиль с дизельным двигателем старше 14 лет и купить электромобиль, то можно получить скидку 10 тыс. евро. Например, в Китае при покупке того же самого Nissan Leaf можно получить субсидию до 7700 долларов, и тогда он будет не дороже бензинового аналога. При больших пробегах, дорогом бензине и дешевой электроэнергии электромобили уже сегодня вполне достойно конкурируют с бензиновыми аналогами.

Электрогрузовик на автопилоте

Долгое время ответ на этот вопрос был отрицательным, так как коммерческий транспорт в отличие от легковых автомобилей гораздо тяжелее, имеет большие суточные пробеги до 700 км, двигается с большой скоростью с использованием мощностей, близких к номинальным. Магистральным тягачам с полной массой 36—40 т, большая часть жизни которых проходит на крейсерских скоростях (70...90 км/ч), переход на аккумуляторы считается нерациональным, поскольку электрический автопоезд будет на 150...200 тыс. долларов дороже дизельного, а запас хода 40-тонника при нынешних технологиях будет менее 100 км. Вплоть до 2017 г. не было технических решений, прежде всего аккумуляторов, обеспечивающих непрерывное движение магистральных автомобилей в течение рабочей смены. Оснащение аккумуляторами с большой емкостью, обеспечивающей пробег без зарядки в течение смены, приводит к чрезмерному увеличению снаряженной массы грузовика, в результате резко снижается эффективность перевозки.

Перевести коммерческий транспорт на электротягу технически осуществимо. Например, Scania разработала гибрид автопоезда и троллейбуса, смонтировав позади кабины пантограф, через который транспортное средство получало электричество от сети для тяговых электродвигателей и аккумуляторов. За пределами сети автопоезд мог двигаться, используя энергию аккумуляторов, или вовсе переключаясь на дизельный мотор.

Мобильность такого транспортного средства весьма ограничена, а конструкцию удорожают три источника энергии, ухудшая эксплуатационные характеристики. Данное техническое решение коммерчески неэффективно и может быть использовано только в пределах предприятия на маршруте с постоянным большим грузопотоком.

В рамках автосалона в Токио-2017 японская "дочка" Daimler AG компания Mitsubishi Fuso Truck представила концепт электрогрузовика E-FUSO Vision One с полной массой 23 т, грузоподъемностью 11 т. Это всего на 2 т меньше аналогичного дизельного грузовика. Емкость блока аккумуляторных батарей — 300 кВт·ч, что обеспечивает пробег до 350 км без подзарядки. Этот электрогрузовик с успехом может заменить традиционные транспортные средства при перемещении грузов в черте города. Для коммерческого транспорта его простой может обходиться в большие суммы. "Быстрая" зарядка FUSO Vision One занимает около 1,5 ч, что хватает на пробег до 100 км. В Daimler планируют к 2021 г. освоить технологию быстрой зарядки в течение 5 мин. Серийное производство электрогрузовика планируется начать в 2022 г.

В декабре 2016 г. Nikola Motor Company представила рабочий концепт грузовика на топливных водородных элементах, который предназначен для дальних перевозок различных товаров с прицепами разных типов. Снаряженная масса тягача 9,5 т, полная масса автопоезда 40 т. Тягач имеет колесную формулу 6 × 6, все колеса которого оснащены тяговыми электромоторами. Суммарная мощность электромоторов грузовика составляет 1000 л.с., крутящий момент — 2700 Н·м. Электромоторы питаются от аккумулятора емкостью 320 кВт·ч, который заряжается от топливных элементов. Расход водородного топлива у автопоезда 23,5 л/100 км.

Загруженный фургон способен разогнаться до 100 км/ч за 30 с и преодолевать подъем до 6 % без снижения скорости. При торможении на спусках электромоторы работают в режиме генератора, т. е. идет рекуперативное торможение и зарядка аккумулятора. Конструкция грузовика обеспечивает ему запас хода без подзарядки водородом 1931 км [11].

Nikola Motor Company в 2018 г. начала создавать сеть водородных заправочных станций в Северной Америке. К 2019 г. должно быть введено в эксплуатацию 364 заправок. Разработчики заверяют, что стоимость перевозки груза на одно и то же расстояние у автопоезда Nikola One будет в 2 раза меньше по сравнению с дизелем.

Основным недостатком водородных двигателей является низкая энергетическая эффективность. Кроме того, в них применяется самый дорогой вид моторного топлива — водород. По данным НП "Национальная газомоторная ассоциация", цена водорода составляет 9,01 евро/л, что в 15 раз дороже бензина (0,6 евро/л).

Электрохимический генератор дорог и имеет существенный недостаток — он не сразу выходит на рабочий режим. На прогрев до рабочей температуры требуется от 15 мин до часа в зависимости от окружающей температуры. Водородные баллоны тяжелые, что снижает грузоподъемность автомобиля. Все эти факторы отражаются на цене грузовика. Nikola One стоит $375 тыс., что в 3 раза дороже аналогичного дизельного тягача. Водородных заправок в мире пока очень мало, поэтому спрос на данный тягач сомнителен.

Во всем мире идет бурный переход на чисто аккумуляторные автомобили, поэтому у водородно-

го тягача перспективы весьма туманны. Водородные автомобили были задуманы чтобы компенсировать малые пробеги электромобилей на одной зарядке. С появлением технологий, обеспечивающих пробег электромобиля до 800...1000 км на одной зарядке, инвесторы будут вкладывать в развитие сети электрических зарядных станций, а не в водородные заправки под несуществующие автомобили.

Заметное событие в мире электромобилей произошло 17 ноября 2017 г. В этот день в Хоторне (Калифорния) глава Tesla Илон Маск провел презентацию широкой публике электрического седельного автопоезда Tesla Semi. Обнародованные технические характеристики автопоезда оказались фантастическими. Фургон Tesla с полной массой 36,287 т на одном заряде при скорости 100 км/ч прошел 806 км, что в 2,3 раза больше, чем у более легкого E-FUSO [5]. Можно утверждать, что с этого дня многие перспективные разработки гигантов автопрома устарели, так и не дойдя до конвейера.

Для магистральных электромобилей очень важен пробег без зарядки. Суточный пробег магистральных автопоездов в среднем составляет 600...700 км. Он законодательно ограничивается режимом труда и отдыха водителей. Так, "Европейское соглашение, касающееся работы экипажей транспортных средств, производящих международные автомобильные перевозки", ограничивает время вождения 9 часами в сутки. За это время практически невозможно проехать более 800 км. Магистральный автопоезд в ЕС, США проезжает не более 160 тыс. км в год или примерно 500 км в сутки. По дальности пробега Tesla Semi не уступает дизельному автопоезду. Если даже фактический пробег будет больше заявленных 800 км — не страшно. По словам И. Маска, устройство сверхбыстрой зарядки мегачарджер Tesla позволяет за 30 мин накопить энергию, достаточную для пробега до 400 миль. Быструю зарядку из бытовой сети осуществить не удастся, так как для столь быстрой зарядки даже при параллельном подключении блоков потребуется обеспечить мощность сети до 1,6 МВт. В Европейском соглашении о режиме труда и отдыха водителей предусмотрены перерывы 45 мин через каждые 4,5 часа езды, и 11-часовой ежедневный отдых, что вполне будет достаточно для зарядки аккумуляторов. По "дальнобойности" Tesla Semi полностью соответствует условиям эксплуатации автопоездов на дальних маршрутах.

В конструкции Tesla изюминка заключается в охлаждаемых аккумуляторных батареях, емкость которых составляет рекордные 1000 кВт·ч. Расход энергии у автопоезда около 125 кВт·ч на 100 км пути при скорости 100 км/ч. Тягач с колесной формулой 6×4 оснащен четырьмя асинхронными трехфазными электромоторами (по одному на каждое ведущее колесо) и механическим приводом такого же типа, как на легковом Tesla Model 3. Эти бесщеточные, 4-полюсные, трехфазные двигатели переменного тока с жидкостным охлаждением имеют мощность в 759 кВт. Двигатель выдает 100 % крутящего момента (600 Н·м) на любой скорости, обладает возможностью рекуперации энергии при торможении. Четыре электромотора вместе легче силового агрегата однотипного дизельного тягача. Высокая энерговооруженность наряду со скоростно-силовой характеристикой асинхронных двигателей позволяет 36-тонному автопоезду разгоняться до 60 миль/ч всего за 20 с, т. е. в 3 раза быстрее, чем автопоезд с дизельным тягачом. Semi без груза до 100 км/ч разгоняется вообще за 5 с, т. е. как легковая Audi. На 5-процентный подъем загруженный электрогрузовик способен подняться со скоростью 100 км/ч, тогда как дизельные автопоезда способны поддержать скорость не более 72 км/ч.

За счет чего же достигаются такие выдающиеся показатели у Tesla Semi? У тягача Tesla простейший привод колес, частота вращения вала электромотора легко управляется инвертором путем изменения частоты и амплитуды переменного тока, подводимого к электромотору. Кабина выполнена из углепластика, что намного легче обычной. Блок аккумуляторных батарей встроен в несущую систему тягача, что придает ей дополнительную прочность и жесткость. Лобовое стекло тягача небьющееся, выполнено по технологиям, по которым компанией была изготовлена черепица со встроенными солнечными батареями.

Несмотря на все технические новшества, аккумуляторы тягача делают его тяжелее конкурентов. Однако благодаря большому крутящему моменту асинхронных электродвигателей, скоростные характеристики Semi существенно лучше, чем у дизельного тягача.

Сверхбыстрая зарядка аккумуляторов достигается применением запатентованного Tesla зарядного устройства с жидкостным охлаждением, которое позволяет поддерживать необходимую температуру батареи при ускоренной подзарядке.

В электромобиле при торможении тяговые двигатели работают в режиме генератора и заряжают аккумуляторы. В результате рекуперативного торможения сберегается до 20 % емкости батарей,

меньше изнашиваются тормозные колодки и диски, так как они используются только при экстренных торможениях и для полной остановки. Заявленный пробег до списания Tesla Semi равен 1,6 млн км.

Экономный расход электроэнергии на трассе способствует рекордно низкому для грузовиков аэродинамическому сопротивлению: его коэффициент равен 0,36, тогда как у современных тягачей с полуприцепом он в 2 раза больше — 0,65—0,70. При скорости автопоезда выше 80 км/ч около 50 % энергии расходуется на преодоление сопротивления воздуха. Разработчикам Semi удалось достичь такого выдающегося результата путем размещения водительского сиденья по центру салона и придания кабине полукруглой обтекаемой формы, закрытия днища, колесных ниш с боков и пространства между кабиной и тягачом, отсутствия каких-либо выступающих частей. Водитель за окружающей обстановкой и состоянием автопоезда следит по двум сенсорным экранам, расположенным слева и справа от рулевого колеса.

И. Маск на презентации заявил, что эксплуатационные затраты электрофургона составят 0,78 долл./км. У аналогичного дизельного автопоезда они выше — 0,94 долл./км (на 20 % больше). При годовом пробеге 160 тыс. км эта разница составит $ 25 600.

Цена Semi И. Маском не была названа. Через неделю после презентации компания Tesla анонсировала прайс-лист на свой электрический грузовик Semi [12]. Цена машины оказалась несколько ниже, чем предполагалось ранее. Электротягач Tesla Semi будет продаваться в двух модификациях с максимальным запасом хода в 482 и 805 км по цене $ 150 тыс. и $ 180 тыс. соответственно. Кроме того, покупатели получат возможность обзавестись электрическим фургоном специальной серии Founders Edition. За такой автопоезд придется заплатить не менее $ 200 тыс. Переплата при покупке электрофургона при годовом пробеге 160 тыс. км будет окупаться за 8 лет эксплуатации автопоезда благодаря экономии топлива.

Новые технические решения, реализованные в Tesla Semi, направлены на достижение экономической эффективности, конкурентного преимущества над дизельными тягачами. Грузовой автомобиль должен быть экономически выгодным потребителю, превосходить конкурентов. Тогда он будет пользоваться большим спросом. Конкурентоспособность особенно актуальна для новых моделей, иначе затраты на создание новой модели могут не окупиться. Конкурентоспособной можно считать ту модель, эксплуатация которой будет приносить бóльшую выгоду, чем ее конкуренты.

Сравнение конкурентных моделей должно проводиться в одних тех же условиях эксплуатации. Объективность сравнительной оценки экономической эффективности подвижного состава может быть обеспечена при соблюдении следующих требований:

— оценка должна вестись за весь период эксплуатации;

— должны учитываться все доходы и расходы от покупки и эксплуатации конкретной модели транспортного средства;

— оценка должна вестись для одних и тех же условий эксплуатации сравниваемых моделей;

— критерий оценки должен быть ориентирован на максимальный эффект или на минимальные затраты за период эксплуатации;

— интегральные денежные показатели должны рассчитываться по дисконтированным денежным потокам;

— интересы производителей и потребителей подвижного состава должны учитываться индивидуально;

— при расчетах следует учесть снижение показателей качества транспортных средств по мере износа;

— в денежных потоках должны быть учтены налоги и другие неналоговые платежи, инфляция, риски, остаточная стоимость подвижного состава при списании, изменения оборотных средств в период эксплуатации [8].

Экономическая эффективность грузового автомобиля за период эксплуатации может быть оценена как разность между полученными доходами и инвестиционными затратами по критерию чистый дисконтированный доход, вычисляемый по формуле [9]:

$$\text{ЧДД} = \sum_{t=0}^{T_{\text{сл}}} \text{ДДП}_t - \sum_{t=0}^{T_I} \text{Д}I_t, \qquad (1)$$

где ДДП_t — дисконтированный денежный поток t-го периода; $\text{Д}I_t$ — дисконтированные инвестиции; $T_{\text{сл}}$ — срок службы автомобиля; T_I — период инвестирования; t — текущий год эксплуатации.

При сравнительной оценке экономической эффективности предпочтительной является та модель, у которой ЧДД больше, чем у аналогов. Он показывает прирост капитала покупателя грузовика за весь период его эксплуатации. Преимущество данного критерия в том, что ЧДД разных грузовиков может быть суммирован. Тем самым

будет оценена экономическая эффективность всего парка. Недостатком ЧДД является то, что на практике сложно прогнозировать выручку от эксплуатации подвижного состава. Иногда она может вообще отсутствовать. Например, при перевозках ведомственным транспортом собственных грузов. Кроме того, ЧДД непригоден для оценки эффективности легковых автомобилей.

Для оценки экономической эффективности как легковых, так и грузовых автомобилей предлагается универсальный критерий — совокупная стоимость владения (ССВ) за период эксплуатации:

$$ССВ = \sum_{t=0}^{T_{сл}} \frac{ЭЗ_t}{(1+r)^t} + Ц + К_{вл}, \qquad (2)$$

где $ЭЗ_t$ — суммарные эксплуатационные затраты автомобиля в t-м периоде; r — ставка дисконтирования, равная стоимости капитала привлеченного для покупки автомобиля; Ц — цена автомобиля; $К_{вл}$ — сопутствующие капитальные вложения, связанные с приобретением данной модели.

В составе $ЭЗ_t$ учитываются текущие эксплуатационные затраты, определяемые технико-эксплуатационными показателями автомобиля (табл. 4) [10]. ССВ есть сумма единовременных и эксплуатационных затрат за срок службы грузовика, приведенный на момент его покупки. Она позволяет оценить экономическую эффективность как инвестиционных, так и потребительских товаров. ССВ сравниваемых моделей должна быть определена на один и тот же объем работ. Производительность транспортных средств одного и того же назначения обычно различается, поэтому для приведения ССВ разных моделей к сопоставимому виду рассчитывают удельную совокупную стоимость владения *(УССВ)*. Расчет данного критерия грузового автомобиля осуществляется по формуле:

$$УССВ = \left(\sum_{t=0}^{T_{сл}} \frac{ЭЗ_t}{(1+r)^t} + Ц + К_{вл} \right) \Bigg/ \sum_{t=0}^{T_{сл}} L_t, \qquad (3)$$

где L_t — пробег автомобиля в t-м году.

Описанная методика была применена для сравнительной оценки электротягача Tesla Semi и аналогичного импортного дизельного тягача DAF XF105 с колесной формулой 4 × 2 (табл. 5). По условию, оба тягача эксплуатируются на между-

Таблица 4

Расчет эксплуатационных затрат и ССВ грузового автомобиля

Показатель	0	1	...	$T^*_{сл}$
1. ИНВЕСТИЦИИ 1.1. Цена грузового автомобиля 1.2. Сопутствующие капитальные вложения	 Ц $К_{вл}$			
Итого инвестиций	(Ц + $К_{вл}$)			
2. Эксплуатационные затраты и налоги 2.1. Топливо, смазочно-охлаждающие жидкости 2.2. Затраты на шины 2.3. Техническое обслуживание и ремонт 2.4. Заработная плата водителя 2.5. Отчисления на социальные нужды 2.6. Амортизация 2.7. Накладные расходы 2.8. Налоги и неналоговые выплаты 2.9. Лизинговые платежи 2.10. Прочие эксплуатационные затраты (страхование, ОСАГО, "Зеленая карта", дорожные сборы, технический осмотр, мойка, стоянка и др.)				
Итого эксплуатационные затраты		$ЭЗ_1$	...	$ЭЗ_{Т_{сл}}$
Коэффициент дисконтирования, КД=1/(1+r)^t	$КД_0$	$КД_1$	...	$КД_{Т_{сл}}$
Дисконтированные единовременные и эксплуатационные затраты	Ц + $К_{вл}$	$ЭЗ_1 \cdot КД_1$	...	$ЭЗ_{Т_{сл}} \cdot КД_{Т_{сл}}$

* $Т_{сл}$ — срок службы грузового автомобиля.

Таблица 5

Исходные данные и результаты сравнительной оценки автопоездов

Показатель	DAF XF105 + Krone	Tesla Semi + Krone
1. Цена тягача с учетом растаможки, тыс. руб. (1$ = 59,33 руб.)	6098	14 510
2. Цена полуприцепа с растаможкой, тыс. руб.	2226	2226
3. Цена автопоезда, тыс. руб.	8314	16 736
4. Средний годовой пробег, км	160 000	160 000
5. Полная масса, кг	36 287	36 287
6. Номинальная мощность двигателя/электромоторов, кВт	338	758,8
7. Емкость тяговых аккумуляторов, кВт·ч	—	1000
8. Контрольный расход топлива, л/100 км	30	—
9. Потребление электроэнергии, кВт·ч/100 км	—	125
10. Коэффициент аэродинамического сопротивления	0,65	0,36
11. Стоимость топлива, руб./л	39	—
12. Средняя стоимость электроэнергии, руб./кВт·ч	—	4,56
13. Затраты на топливо/электроэнергию за 10 лет, тыс. руб.	18 720	9120
14. Затраты на AdBlue за 10 лет в расчете 1,8 л/100 км, тыс. руб.	1240	0
15. Затраты на смазочно-охлаждающие жидкости за 10 лет, тыс. руб.	360	120
16. Число шин автопоезда	12	16
17. Затраты на шины за 10 лет, тыс. руб.	1810	2410
18. Затраты на техобслуживание и ремонт за 10 лет, тыс. руб.	2970	1480
19. Затраты на капитальный ремонт, тыс. руб.	4157	2078
20. Заработная плата водителя за 10 лет, тыс. руб.	9000	9000
21. Отчисления во внебюджетные фонды за 10 лет, тыс. руб.	2700	2700
22. Амортизация за 10 лет, тыс. руб.*	8314	16 736
23. Транспортный налог за 10 лет, тыс. руб.	391	640
24. Полис ОСАГО за 10 лет, тыс. руб.	190	190
25. Плата за дороги "Платон" за 10 лет, тыс. руб.	2850	2850
Суммарные эксплуатационные затраты, тыс. руб.	44 387	30 588
Удельные эксплуатационные затраты, 1 руб./км	27,74	19,12
Совокупная стоимость владения, тыс. руб.	52 701	47 324
Удельная совокупная стоимость владения, 1 руб./км	32,94	29,57
Средний тариф на перевозку, руб./км	35	35

* Амортизация при расчетах суммарных затрат не учитывается.

городных перевозках в России со шторно-бортовым полуприцепом Krone Profiliner. Годовой пробег автопоездов был принят 160 тыс. км, срок эксплуатации 10 лет. Для обеспечения сопоставимости расчетов полная масса автопоездов была принята одинаковой — 36,28 т. После 1 млн км пробега предусматривался капитальный ремонт тягачей. Затраты на капитальный ремонт дизельного автопоезда принимались в размере 50 % стоимости тягача, а электротягача — вдвое меньше (50 % затрат на капремонт дизельного тягача), так как его самые дорогие компоненты — аккумулятор, электромоторы, инверторы не подвергаются капитальному ремонту и служат до списания грузовика.

Эксплуатационные затраты автопоездов были рассчитаны по алгоритму, приведенному в табл. 4. В роли критерия оценки экономической эффективности электромобилей была принята ССВ за период эксплуатации. Также были рассчитаны удельная совокупная стоимость владения на 1 км пробега (см. табл. 5). Стоит отметить, что эти расчеты не обладают абсолютной точностью, поскольку еще не все технические характеристики Tesla Semi раскрыты, а эксплуатационные затраты автопоездов индивидуальны и зависят как от условий эксплуатации, так и от стиля езды водителя.

Расчеты показывают, что совокупная стоимость владения электрогрузовиком на 5377 тыс. руб. меньше, чем дизельного тягача. При этом суммарные эксплуатационные расходы за 10 лет эксплуатации дизельного тягача составили 44 387 тыс. руб., а Tesla Semi — 30 588 тыс. руб., т. е. на 13 799 тыс. руб. меньше. Удельные эксплуатационные затраты электрофургона на 1 км пробега меньше на 45 %. Данная экономия получена, прежде всего, за счет того, что электрогрузовик на 1 км пробега расходует электроэнергию на 5,7 руб., тогда как дизельный автопоезд на 11,70 руб., т. е. в 2 раза больше. Затраты на топливо для дизельного тягача за 10 лет эксплуатации на 9600 тыс. руб. больше, чем у Tesla Semi. Кроме того, затраты на техническое обслуживание, текущий и капитальный ремонт электрогрузовика за 10 лет эксплуатации на 3569 тыс. руб. меньше, чем у конкурента.

С учетом того, что Tesla Semi дороже дизельного автопоезда на 8422 тыс. руб. получается, что экономическая выгода от эксплуатации электрокара в 1,63 = (13 799/8422) раза больше, чем переплата при покупке. Ежегодно получаемая выгода от эксплуатации электромобиля составляет в среднем 1380 тыс. руб. ($ 23 260), что позволяет компенсировать "переплату" при покупке за 6 лет эксплуатации.

Необходимо отметить, что удельные эксплуатационные затраты обоих автопоездов меньше сложившегося на рынке России среднего тарифа на междугородных перевозках. При среднем тарифе 35 руб./км эксплуатация дизельного тягача приносит прибыль 7,26 руб., а электрогрузовик — 15,88 руб., т. е. в 2 раза больше. Результаты проведенных расчетов для усредненных условий эксплуатации показывают, что, во-первых, автопоезд на электрической тяге экономически выгоднее дизельного автопоезда (у него ССВ меньше, а зарабатываемая прибыль больше, чем у конкурента), во-вторых, полученные результаты практически совпали с данными, приведенными И. Маском при презентации Tesla Semi.

В электрофуре Tesla реализовано еще одно революционное решение — полуавтономная система вождения. Автопоезд умеет держать полосу движения, перестраиваться, а также изменять траекторию движения без вмешательства водителя. В кабине магистрального тягача не предусмотрено спальное место. Это намек на то, что в момент освоения электрофургон будет иметь возможность отправиться в рейс без водителя. К 2020 г. компания планирует сделать его полностью автономным, что вполне реально. Электромобили более приспособлены к оснащению автопилотом. Для этого достаточно дополнительно установить пару камер для распознавания разметки, фронтальный радар, лидар и GPS-модуль. В этом деле уже есть положительный опыт.

Так, в 2016 г. автономный седельный автопоезд Volvo стартапа Otto компании Uber в своем первом коммерческом беспилотном рейсе перевез 45 тыс. банок пива и заработал $ 470. Автопоезд, двигаясь со скоростью около 88 км/ч, преодолел расстояние почти в 200 км от города Ловланд (штат Колорадо) до Колорадо Спрингс. Водитель управлял грузовиком только в городской черте. После выезда на шоссе он переместился в заднюю часть кабины и большую часть пути не садился в кресло водителя. За автопоездом двигался автомобиль полиции, но дорожная обстановка была обычной: для эксперимента не стали создавать облегченные условия и перекрывать движение транспорта. Изначально беспилотные технологии планируется применять лишь при движении по автомагистралям. В населенных пунктах водителю придется брать управление на себя. Автономные грузовые автомобили могут войти в широкий обиход раньше, чем легковые, поскольку у них условия движения на магистрали более простые, чем у легковых на городских улицах.

В настоящее время практически все крупные производители автомобильной техники создают, испытывают, доводят свои беспилотные модели. Создатели Otto считают, что беспилотные технологии перевозок через 10 лет станут обычной практикой на автомагистралях, но для локальных дорог и городских улиц ее возможности пока недостаточны. Недалек тот день, когда водители коммерческого транспорта переквалифицируются в бортовые логистические операторы, сосредоточенные на рациональном планировании и управлении перевозочной деятельностью, а водители легковых автомобилей поездки посвятят отдыху или какой-либо полезной деятельности.

Таким образом, можно утверждать, что эра электромобилей наступает не только на легковом, но и на коммерческом автотранспорте. По аналогии с другими инновационными технологиями, по мере совершенствования конструкций, технологий производства и обслуживания в эксплуатации, переход на электрические транспортные средства будет постепенно нарастать, пока не приобретет лавинообразный характер. Электромобили, несмотря на их относительную дороговизну, недостаточную развитость инфраструктуры, по экономичности уже догнали автомобили, оснащенные двигателями внутреннего сгорания.

У электрогрузовика Tesla Semi совокупная стоимость владения, удельные эксплуатационные затраты меньше, чем у аналогичного дизельного автопоезда. По мере роста объемов выпуска, снижения цен на аккумуляторы, создания сети зарядных и сервисных станций электромобили по всем существенным характеристикам превзойдут классические автомобили, работающие на нефтяном топливе. Страны, озабоченные экологической обстановкой, на переходном этапе будут всячески стимулировать как производителей, так и покупателей электрокаров, что ускорит наступление эры "зеленого" транспорта. Очевидно, что тесно интегрируя науку, технологии, экологию и экономику, электромобили, оснащенные автопилотом, становятся локомотивом прогресса на планете.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Европейское соглашение,** касающееся работы экипажей транспортных средств, производящих международные автомобильные перевозки (ЕСТР) (Женева, 1 июля 1970 г.). — http://base.garant.ru/2560634/#block_6#ixzz4zLJykWeI (дата обращения 25.11.17 г.).
2. **Общее количество** электромобилей в мире превысило отметку 2 млн экземпляров. — https://itc.ua/blogs/obshhee-kolichestvo-elektromobiley-v-mire-prevyisilo-otmetku-2-mln-ekzemplyarov-iz-kotoryih-1-2-mln-chistyih-elektromobiley-i-0-8-mln-podklyuchaemyih-gibridov (дата обращения 25.11.17 г.).
3. **Ян Цзянь.** Должен ли будет Пекин доплачивать упрямым потребителям, чтобы они покупали электромобили? // Automotive News, 12.05.2017. (дата обращения 02.12.17 г.).
4. **В Европе** запретят двигатели внутреннего сгорания: все подробности. http://o-doroge.com/news/4207-v-evrope-zapretyat-dvigateli-vnutrennego-sgoraniya-vse-podrobnosti.html (дата обращения 01.12.17 г.).
5. **Как настоящий.** Может ли грузовик Tesla Semi соревноваться с дизельными конкурентами. — http://www.forbes.ru/tehnologii/352909-kak-nastoyashchiy-mozhet-li-gruzovik-tesla-semi-sorevnovatsya-s-dizelnymi. (дата обращения 30.11.17 г.).
6. **Четыре мифа** об электромобилях и веке бензина. — https://republic.ru/biz/1106503/ (дата обращения 28.11.17 г.).
7. **Tesla Model** S & Nissan LEAF Clocked As World's Best-Selling Electric Cars In 2016. https://cleantechnica.com/2017/02/04/tesla-model-s-clocked-as-worlds-best-selling-electric-car-in-2016/ (дата обращения 03.12.17 г.).
8. **Фасхиев Х. А.** Конкуретный потенциал предприятия: оценка и управление // Экономическое возрождение России. — 2008. — № 3. — С. 56—62.
9. **Фасхиев Х. А., Крахмалева А. В.** Оценка экономической эффективности производства и эксплуатации грузовых АТС // Автомобильная промышленность. — 2004. — № 12; 2005. — № 1. — С. 2—9.
10. **Костин И. М., Фасхиев Х. А.** Технико-экономическая оценка грузовых автомобилей при разработке. — Набережные Челны: Изд-во Камского политехнического института, 2002. — 479 с.
11. **Nikola One:** первый в мире водородный грузовик из США. https://geektimes.ru/post/283306. (дата обращения 5.12.17 г.).
12. **Объявлены цены** на электрический грузовик Tesla Semi. — http://www.avtovzglyad.ru/avto/avtoprom/2017-11-23-objavleny-tseny-na-elektricheskij-gruzovik-tesla-semi/ (дата обращения 09.12.17 г.).

УДК 629.113

В. Н. Козловский, д-р техн. наук, **А. П. Новикова,** канд. техн. наук,
М. В. Шакурский, канд. техн. наук, **С. П. Петровский,** канд. техн. наук, СамГТУ, г. Самара
E-mail: Kozlovskiy-76@mail.ru

КОМПЛЕКС МОНИТОРИНГА РАБОТОСПОСОБНОСТИ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ БЕСПИЛОТНОГО АВТОМОБИЛЯ

В статье представлены основные результаты научного исследования по разработке электротехнического и электронного бортового комплексов мониторинга работоспособности системы электропитания беспилотного автомобиля.

Ключевые слова: *автомобилестроение, беспилотный автомобиль, мониторинг работоспособности, система электропитания.*

The article presents the main results of scientific research on the development of an electrical and electronic on-board complex for monitoring the operability of an unmanned vehicle power supply system.

Keywords: *automotive, unmanned vehicle, performance monitoring, power supply system.*

Одним из важнейших и перспективных направлений развития современного, да и будущего автомобилестроения нужно считать проектирование и создание беспилотных автомобилей, над созданием которых трудятся все мировые автогиганты.

Технологический скачок в науке, произошедший в последние годы, дал возможность автомобильной промышленности применить все его достижения, результатом которого стало появление электромобилей и автомобилей с комбинированной установкой, все больше и больше завоевывающие мировой рынок (рис. 1).

В последние годы применение на автомобильном транспорте солнечных батарей имеет массовый характер.

Рис. 1. Тенденции развития современной автомобильной промышленности

Электротехнические и электронные системы управления становятся одной из доминант в вопросах обеспечения эксплуатационной эффективности современных автомобилей. В этом плане в последние годы существенно развиваются технологии нечеткой логики программирования и инструменты интеллектуальных систем.

Современные электронные системы и электротехническое оборудование являются одним из основных факторов, направленные на повышение надежности и эффективности современных транспортных средств. Это стало возможным благодаря созданию современных наукоемких технологий перспективного производства.

Новые, более требовательные нормы по экологическим выбросам, экономии топлива ведут к новым разработкам электронных систем и электротехнического оборудования (рис. 2).

В соответствии с вышесказанным выходит, что бортовые системы электроснабжения на базе электронных схем становятся одним из важнейших узлов автомобильной системы, тем самым требования по качеству и надежности функционирования данных систем становятся все более категоричными.

По причине разного подхода к питанию различных систем электромобилей (ЭМБ), автомобилей с комбинированной установкой (АКЭУ) и автономного транспортного объекта (АТО) разными уровнями напряжения, одним из самых главных необходимо считать обеспечение надежности и определение работоспособности электротехнического комплекса электропитания (ЭКЭП) по критерию сопротивления изоляции. Нарушение сопротивления изоляции чаще всего возникает по причине воздействия на нее агрессивной среды, в которой она эксплуатируется, также актуальна

Рис. 2. Классификация и сегментация выбросов CO_2 от транспортного сектора по данным IEA с 2011—2015 гг.

проблема ее старения по мере длительного использования транспортного средства. Эти и многие другие показатели становятся важнейшими факторами, влияющими на количество отказов рассматриваемых АТС, а впоследствии на работоспособность автомобиля в целом.

Данная проблема весьма актуальна в космических и авиационных летательных аппаратах, к решению которой привлекают научные институты. В автомобилестроении же она не решена.

Значимость проблемы мониторинга работоспособности АТО подтверждается Федеральной программой "Долгосрочные приоритеты в прикладной науке России от 2013 г.", а также формируемой в настоящее время в ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ Минобрнауки РФ программой "Новые приоритеты и направления развития", подраздела "Транспортные и космические системы".

В связи с тем что мировые автопроизводители, такие как Fiat, Audi, Volkswagen, при изготовлении современных автомобилей сталкиваются с подобной проблемой, их "научные отделы" активно разрабатывают различные системы мониторинга систем АТО.

Проведенный анализ научно-технической литературы и патентов (за последние 20 лет) по вопросам теории, прикладным аспектам разработки и внедрения электротехнических систем мониторинга работоспособности транспортных объектов показал, что данная область теоретически и практически проработана не в полном объеме.

Анализ передового опыта решения научно-технических задач по разработке и реализации электротехнических систем мониторинга в разветвленных цепях постоянного тока на транспортных объектах и в промышленности, показывает, что существует ряд подходов в вопросах организации систем мониторинга работоспособности электротехнических комплексов, которые базируются на мостовых, динамических и непосредственных методах мониторинга. Каждая из этих групп имеет достоинства и недостатки. Однако функциональные возможности перечисленных методов не решают задачи оценки критического состояния АТО.

На основе анализа существующих методов и подходов установлено, что наиболее предпочтительным из них в решении задачи по созданию системы мониторинга работоспособности ЭКЭП АТО по критерию сопротивления изоляции шин электропитания является метод эталонного делителя. Проведено имитационное моделирование ЭКЭП, с помощью программной среды Electronic

Таблица 1

Анализ методов мониторинга работоспособности ЭКЭП АТО по критерию сопротивления изоляции

Наименование параметра	МЭД, $R_д$ = 100 кОм	МЭД, $R_д$ = 640 кОм	ММСКРД
Оценка погрешности измерений	–	+	–
Продолжительность цикла измерения сопротивлений изоляции	–	–	–
Наличие перечня критических требований к аппаратуре и комплектующим элементам для реализации	+	+	–
Возможность работы в эксплуатационном режиме с подключенным АФ	+	+	+
Возможность работы в эксплуатационном режиме с отключенным АФ	+	+	+
Возможность работы в отладочном режиме	+	+	+

Workbench, с учетом реализации различных методов мониторинга. Анализ результатов моделирования ЭКЭП позволил сформировать табл. 1, где представлены достоинства и недостатки исследуемых методов: эталонного делителя (МЭД); мостовой схемы с коммутируемым делителем в диагонали (ММСКРД). Полученные результаты показывают, что наиболее эффективное научно-техническое решение задачи по разработке и реализации электротехнической системы мониторинга работоспособности АТО находится в области интеграции, в рамках одного технического решения, группы динамических методов.

Однако для повышения эффективности процесса мониторинга требуется дополнительно решить задачи по обеспечению быстродействия процесса мониторинга, а также комплексного учета оценки критического состояния АТО. Поэтому можно сделать вывод, заключающийся в необходимости интеграции известных методов и подходов в рамках разрабатываемой научно-технической концепции создания электротехнической системы мониторинга работоспособности ЭКЭП АТО, по критерию сопротивления изоляции шин электропитания.

Предлагаемая концепция создания электротехнической системы мониторинга ЭКЭП АТО (рис. 3) основана на динамическом методе мониторинга сопротивления изоляции с использованием двух измерительных вольтметров, а также коммутационных герконовых ключей, которые замыкают цепь на низкоомный шунт. При этом появляется возможность для решения задач, связанных с повышением быстродействия перспективной системы, а также комплексного учета оценки критического состояния АТО по критерию сопротивления изоляции.

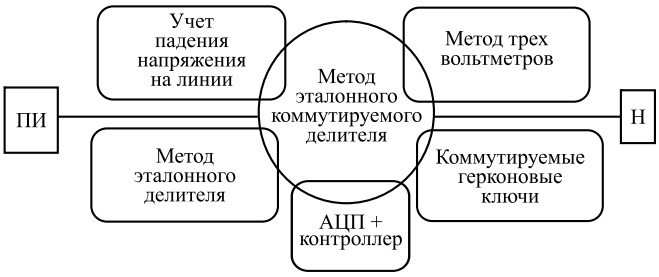


Рис. 3. Концепция метода мониторинга сопротивления ЭКЭП АТО

Проведя анализ обобщенной структуры перспективного АТС, мы видим, что существующие взаимосвязи в автомобиле не учитывают необходимость решения задачи по мониторингу работоспособности шин электропитания, хотя, как было показано ранее, данная задача является одной из важных.

Исследование функциональной электрической схемы перспективного АТС показывает конкретные возможности для интеграции электротехнических и электронных систем мониторинга работоспособности ЭКЭП в бортовую сеть автомобиля.

В соответствии с предложенной концепцией создания электротехнической системы мониторинга работоспособности ЭКЭП [1] по критерию сопротивления изоляции, предлагаемый к реализации подход заключается в контроле напряжения между шинами питания и корпусом, при различном состоянии ключей S (рис. 4). Контроль напряжений U_1, U_2 производится одновременно, и здесь возможны четыре различных состояния схемы, из которых практический интерес в рамках решаемой задачи имеют два: S_1 замкнут, S_2 разомкнут; S_1 разомкнут, S_2 замкнут. В случае 1 ($S_1 = 1$, $S_2 = 0$) U_{11} — напряжение между "+" шиной и корпусом, а U_{21} — напряжение между "–" шиной и корпусом при $r_E \ll R_{из}$, $r_E \ll R_д$ имеют следующие значения:

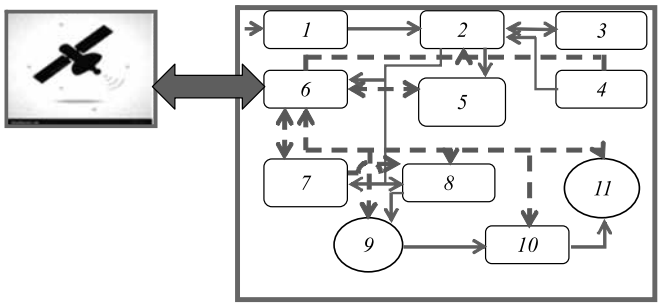


Рис. 4. Обобщенная структура перспективного АТС:

1 — зарядное устройство; *2* — устройство защиты; *3* — тяговая аккумуляторная батарея; *4* — солнечная батарея; *5* — бортовые вспомогательные системы контроля; *6* — бортовой компьютер, имеющий связь со спутниковыми системами; *7* — водительские органы управления электромобилем; *8* — электронный контроллер электродвигателя; *9* — электродвигатель; *10* — механическая трансмиссия; *11* — колеса электродвигателя

$$U_{11} = \frac{R_{из1} \parallel R_{д1}}{R_{из2} + R_{из1} \parallel R_{д1}} E,$$
$$U_{21} = \frac{R_{из2}}{R_{из2} + R_{из1} \parallel R_{д1}} E. \quad (1)$$

Здесь и далее символ ‖ обозначает параллельность ветвей.

В случае 2 ($S_1 = 0$, $S_2 = 1$) U_{12}-напряжение между "+" шиной и корпусом, а U_{22} — напряжение между "–" шиной и корпусом при $r_E \ll R_{из}$, $r_E \ll R_д$ имеют следующие значения:

$$U_{12} = \frac{R_{из1}}{R_{из1} + R_{из2} \parallel R_{д2}} E,$$
$$U_{22} = \frac{R_{из2} \parallel R_{д2}}{R_{из1} + R_{из2} \parallel R_{д2}} E. \quad (2)$$

Обозначая отношения

$$U_{11}/U_{21} = K_1 \text{ (1 случай)};$$
$$U_{12}/U_{22} = K_2 \text{ (2 случай)}, \quad (3)$$
$$R_{ш1} = R_{ш2} = r.$$

Тогда значения $R_{из1}$, $R_{из2}$ имеют следующий вид:

$$R_{из1} = \frac{K_2 - K_1}{1 + K_1} r, \quad R_{из2} = \frac{K_2 - K_1}{K_1 (1 + K_2)} r. \quad (4)$$

Обобщенная структура перспективного АТС показана на рис. 4.

Упрощенная расчетная схема (рис. 5) показывает, что искомое сопротивление изоляции будет

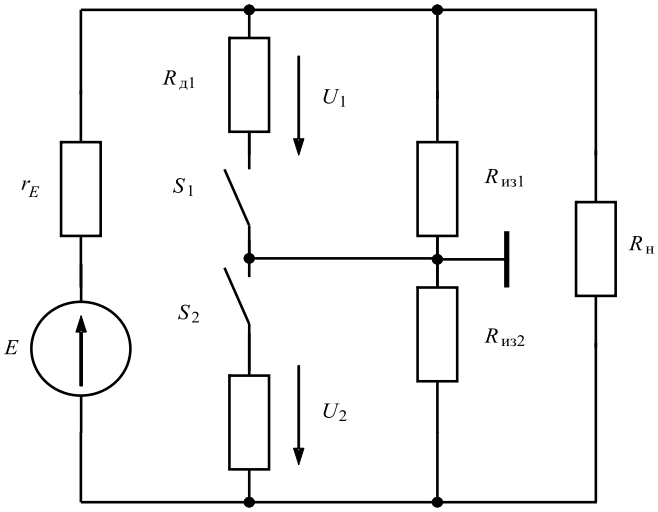


Рис. 5. Упрощенная расчетная схема ЭКЭП с эталонным коммутируемым делителем:

E — аккумуляторная батарея; r_E — внутреннее сопротивление источника; $R_н$ — нагрузка; $R_{д1}$, $R_{д2}$ — сопротивление делителя; $R_{из1}$, $R_{из2}$ — сопротивления изоляции межу шинами

зависеть от измеренных напряжений в плечах делителя, а также от величины шунта.

Установлено, что сложный электротехнический комплекс АТО, состоящий из двухполюсников (модулей), может быть представлен множеством обобщенных ветвей с зависимыми источниками ЭДС и тока [3].

Однако для полноценного решения задачи расчета сопротивления изоляции между шинами, необходимо обеспечить учет сопротивления линии $r_л$ ЭКЭП, которое существенно влияет на конечное значение сопротивления изоляции. Распределенный характер сопротивления шин и их изоляции относительно корпуса учтено коэффициентами α и $\beta = 1 - \alpha$. Именно с этой целью в работе проводится расчет падения напряжения на линиях питания ЭКЭП АТО.

Значение напряжения $U_{\alpha 01}$ (падение напряжения на линии) для идеального случая шин без потерь и при пренебрежимо малом значении сопротивления источника составляет:

$$U_{\alpha 01} = \frac{R_{из1}}{R_{из2} + R_{из1}} E. \quad (5)$$

Конечное значение напряжения $U_{\alpha 01}$ составляет:

$$U_{\alpha 01} = \left[\alpha r_{л1} + \frac{R_{из1}}{R_{из2} + R_{из1}} \left(R_н - \left(\alpha r_{л1} + \beta r_{л2} \right) \right) \right] \times$$
$$\times \frac{E}{R_н + r_{л1} + r_{л2}}. \quad (6)$$

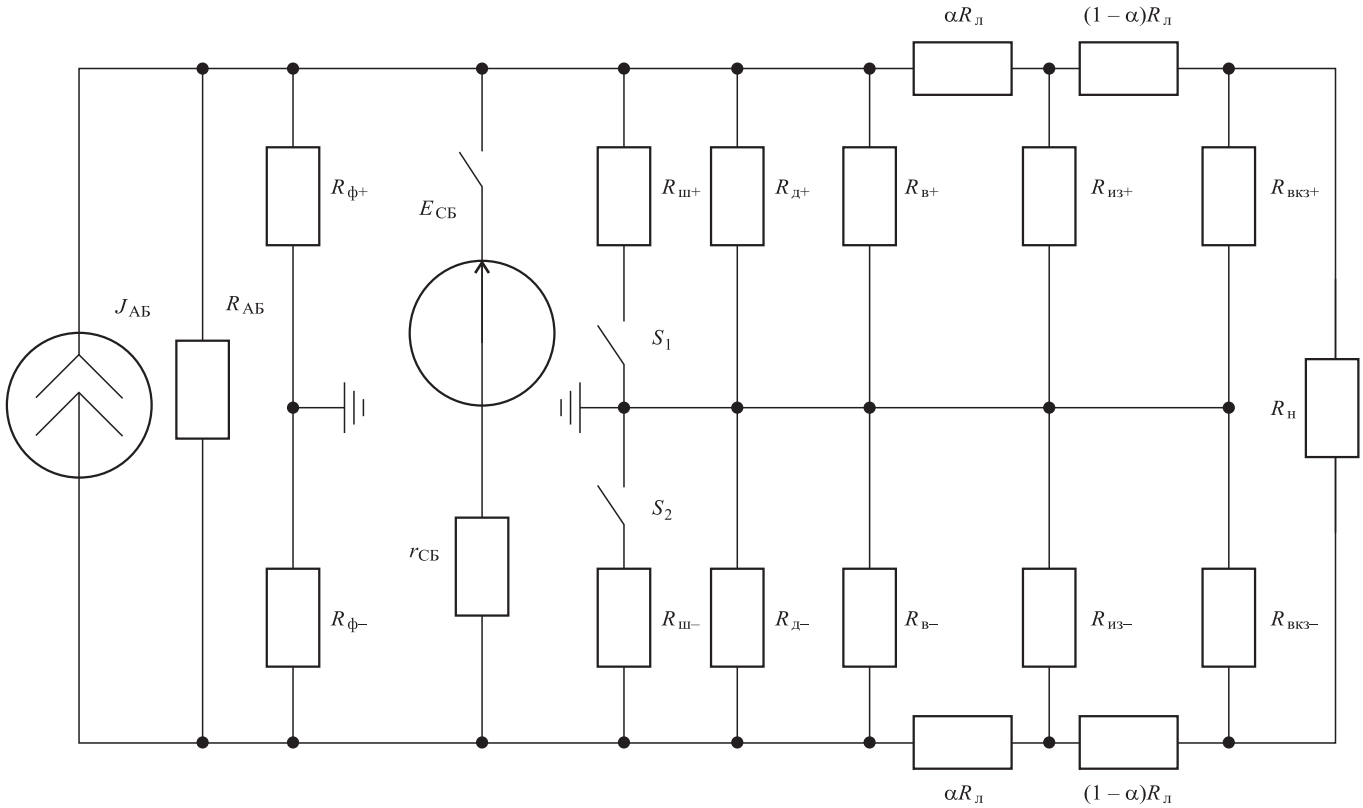


Рис. 6. Схема замещения ЭКЭП АТО с интеграцией электротехнической системы мониторинга сопротивления изоляции:

$E_{сб}$ — напряжение СБ; $J_{аб}$ — источника тока; $R_{аб}$ — сопротивление АБ; $R_{сб}$ — внутреннее сопротивление E; $R_{Ф+}$ и $R_{Ф-}$ — сопротивления цепей АФ (100 кОм); $J_{АБ}$ — аккумуляторная батарея; $R_{из+}$ и $R_{из-}$ — сопротивления изоляции АТО; $R_{в+}$, $R_{в-}$, $R_{вкз-}$, $R_{вкз+}$ — сопротивление вольтметров (830 кОм); $R_{д+}$ и $R_{д-}$ — сопротивления делителя напряжения (640 кОм); $R_{ш+}$ и $R_{ш-}$ — сопротивления цепей шунта КШП (10 кОм); $R_н$ — сопротивление нагрузки СЭП; S_1, S_2 — ключи коммутации, $R_л$ — сопротивления линии, α — коэффициент, учитывающий распределительный характер в пределах от 0 до 1

Примем допущения:

$$r_{л1}/R_н = r_{л2}/R_н = 0{,}05;$$

и обозначим:

$$\frac{R_{из2}}{R_{из1}} = \lambda, \quad \frac{R_{из1}}{R_{из2} + R_{из1}} = \frac{1}{1+\lambda}.$$

Тогда выражение (6) для напряжения $U_{\alpha 01}$ принимает вид:

$$U_{\alpha 01} = \left[0{,}05\alpha + \frac{1}{1+\lambda}\left(1 - (0{,}05\alpha + 0{,}05\beta)\right)\right]\frac{E}{1{,}1}. \quad (7)$$

На рис. 6 показана схема замещения ЭКЭП АТО с интеграцией электротехнической системы мониторинга сопротивления изоляции.

Проведенные исследования [4] позволяют провести синтез функциональной схемы электротехнической системы мониторинга сопротивления ЭКЭП АТО (рис. 7). Схема состоит из элементов, описанных в схеме замещения, а также быстродействующего 10-разрядного АЦП и контроллера. Прибор АЦП соединяется с исследуемой цепью тремя щупами, между которыми включены фильтры-ограничители помех. Напряжения с шунтов являются входными сигналами быстродействующих АЦП, расположенных в контроллере.

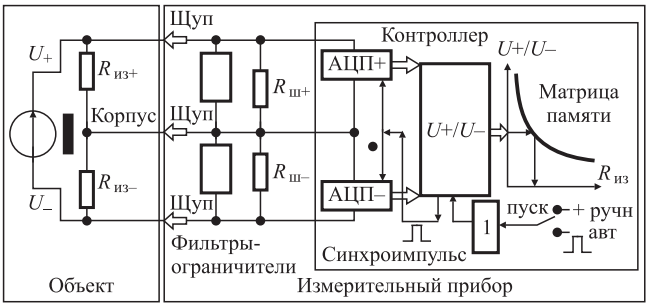


Рис. 7. Функциональная схема электротехнической системы мониторинга сопротивления изоляции шин электропитания ЭКЭП АТО с быстродействующим 10-разрядным АЦП

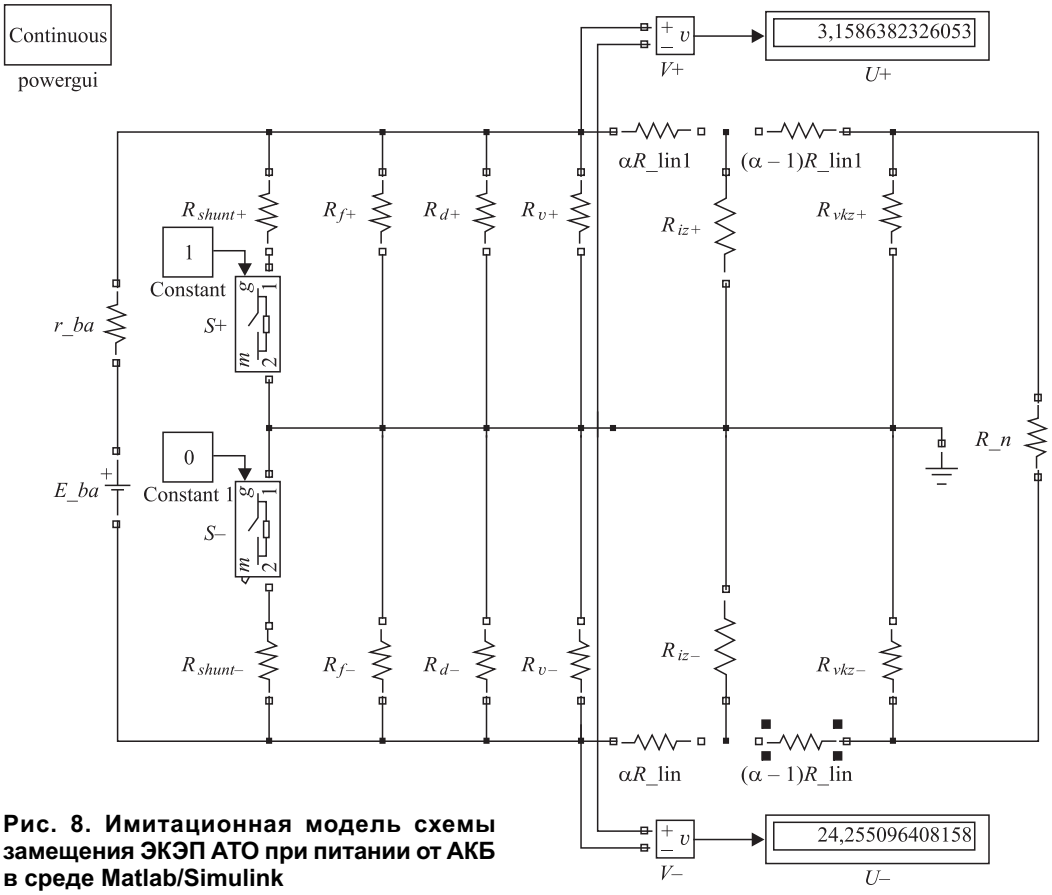


Рис. 8. Имитационная модель схемы замещения ЭКЭП АТО при питании от АКБ в среде Matlab/Simulink

Идентичность помех, действующих на обе шины питания, достигается пуском АЦП одним синхроимпульсом, поэтому измерения двух напряжений между шинами питания и корпусом производятся одновременно. По результатам измерений контроллер подсчитывает отношение U_+/U_- и определяет неисправную шину питания, а затем и эквивалентное сопротивление шины $R_{экв}$ относительно корпуса, как функцию $f(U_-/U_+)$, при необходимости используя два соседних (реперных) значения для линейной, либо круговой интерполяции. При резком снижении сопротивления изоляции хотя бы одной из шин, контроллером обеспечивается сигнал о неисправности.

Таким образом, проводимость шунта будет зависеть только от отношений K_1 и K_2. Расчетная модель схемы электропитания АТО только от АКБ для всех режимов эксплуатации:

$$G_{из+} = \frac{1+K_1}{K_2-K_1}G_ш - G_+,$$
$$G_{из-} = \frac{1+K_2}{K_2-K_1}K_1G_ш - G_-, \quad (8)$$

где $G_ш$ — проводимость шунта, $G = G_ф + G_д + G_{вкз} + G_в$; $G_ф$ — проводимость антистатического фильтра (АФ); $G_д$ — проводимость делителя, $G_{вкз}$ — проводимость вольтметров, фиксирующих короткое замыкание; $G_в$ — проводимость измерительных вольтметров по разным шинам питания.

Однако для оценки адекватности упрощенной модели (8), которая не учитывает падение напряжения на линии, необходимо провести более сложные исследования. Для этого на рис. 7 представлена модель, учитывающая сопротивление линии шин питания. Расчет сопротивления изоляции был проведен на основе матричных методов расчета, составленных по МКТ и решенных в табличном процессоре MS Excel. Результаты расчетов представлены в табл. 2.

Анализ представленной таблицы показывает, что значения сопротивления изоляции, найденные различными методами, с помощью различных моделей, имеют значительные расхождения. Поэтому можно сделать вывод о необходимости

Таблица 2

Сравнительная таблица полученных значений сопротивления изоляции

Заданные в модели значения сопротивления изоляции, кОм		Полученные значения без учета сопротивления линии, кОм		Погрешность, %		Полученные значения с учетом сопротивления линии, кОм		Погрешность, %	
$R_{из+}$	$R_{из-}$	$R_{из+}$	$R_{из-}$	δ+	δ −	$R_{из+}$	$R_{из-}$	δ +	δ −
1000	1000	998,688	998,688	0,13	0,13	1000	1000	0	0
1000	100	886,128	101,278	11,39	1,28	951,526	100,512	4,85	0,51
1000	10	416,299	10,142	58,37	1,42	640,871	10,056	58,51	1,43

применения более сложной модели, учитывающей падение напряжения в шинах питания.

Выводы математической модели имеют следующий вид:

$$G_{из+} - G_{из-}\frac{U_{21}}{U_{11}} = \left(G_ф + G_-\right)\frac{U_{21}}{U_{11}} - G_ф\frac{U_{11}+U_{ст}}{U_{11}} - \left(G_ш + G_-\right),$$

$$G_{из+} - G_{из-}\frac{U_{22}}{U_{12}} = \left(G_ш + G_ф + G_+\right)\frac{U_{22}}{U_{12}} - G_ф\frac{U_{12}+U_{ст}}{U_{12}} - G_+. \quad (10)$$

Расчетные схемы содержат минимум исходных допущений, что не усложняет, а наоборот упрощает анализ, поскольку нет необходимости их преобразовывать.

При выводе расчетных формул значений сопротивлений изоляции и оценки возможности их практического использования был принят следующий подход:

— собственно расчетные формулы получены по результатам анализа идеализированных расчетных схем, в которых не учитывались неконтролируемые значения параметров схемы (сопротивление линии до места утечки, внутренние сопротивления источников энергии);

— проведена проверка расчетных формул на моделях, соответствующих различным конфигурациям ЭКЭП АТО.

Однако для определения времени запроса АЦП на проведение измерений требуется учет времени переходного процесса системы мониторинга ЭКЭП. Характеристическое уравнение, составленное по выражению входного сопротивления со стороны зажимов источника:

$$Z(j\omega) = \frac{\left(\dfrac{R_+\dfrac{1}{j\omega C_{фа+}}}{R_+ + \dfrac{1}{j\omega C_{фа+}}} + \dfrac{R_-\dfrac{1}{j\omega C_{фа-}}}{R_- + \dfrac{1}{j\omega C_{фа-}}}\right)\left[\dfrac{r_{АБ}\left(r_{лин}+R_н\right)}{r_{АБ}+r_{лин}+R_н}\right]}{\dfrac{R_+\dfrac{1}{j\omega C_{фа+}}}{R_+ + \dfrac{1}{j\omega C_{фа+}}} + \dfrac{R_-\dfrac{1}{j\omega C_{фа-}}}{R_- + \dfrac{1}{j\omega C_{фа-}}} + \dfrac{r_{АБ}\left(r_{лин}+R_н\right)}{r_{АБ}+r_{лин}+R_н}}. \quad (11)$$

В результате расчета постоянной времени цепи при коммутациях получено значение $\tau = 25\cdot10^3\cdot70\cdot10^{-6} \approx$ $\approx 1{,}8$ с. Рекомендуемое время задержки не менее $(5—7)\tau = 9—14$ с.

При достижении критического значения сопротивления изоляции (300 кОм) система выдает соответствующий сигнал. При прохождении второго критического значения сопротивления изоляции (20 кОм) поступает сигнал на табло "Стоп" — дальнейшее движение невозможно. Процесс измерений циклический и происходит постоянно.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Новикова А. П., Козловский В. Н., Высоцкий В. Е.** Методика определения сопротивления изоляции транспортных средств // Электроника и электрооборудование транспорта. — № 4. — 2016. — С. 17—23.
2. **Новикова А. П., Козловский В. Н., Петровский С. В.** Интеллектуальная информационная система диагностики состояния автономных транспортных объектов // Фундаментальные исследования. — 2016. — № 6 (часть 1). — 2016. — С. 73—77.
3. **Новикова А. П., Козловский В. Н.** Особенности перспективной системы контроля сопротивления изоляции автономного транспортного средства // Грузовик. — 2016. — № 9. — С. 36—48.
4. **Высоцкий В. Е., Новикова А. П.** Способ измерения контроля сопротивления изоляции автономных объектов с двухпроводной системой питания // ЭЛЕКТРО. Электротехника, электроэнергетика, электротехническая промышленность. — 2015. — № 3. — С. 17—20.

УДК 62-77

Ю. В. Башкирцев, канд. техн. наук, доцент, e-mail: 4022550@mail.ru, **Д. И. Рогачев,** студент, e-mail: d2345@live.ru, Мытищинский филиал МГТУ им. Н. Э. Баумана

ОПТИМИЗАЦИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ КЛЕЕВОГО СОСТАВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЬЮТЕРНОЙ ПРОГРАММЫ STATGRAPHICS PLUS ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ

Данная статья посвящена разработке клеевого состава для ремонта выхлопных систем транспортных средств. Приведена компьютерная программа, которая позволяет оптимизировать концентрацию компонентов клеевого состава.

Ключевые слова: *ремонт глушителя, клеевой состав, система выпуска отработанных газов, оптимизация компонентов клеевого состава.*

Given article is devoted workings out of glutinous structure for repair of exhaust systems of vehicles. The computer program which allows to optimize concentration of components of glutinous structure is resulted.

Keywords: *repair of the muffler, glutinous structure, system of release of the fulfilled gases, optimization of components of glutinous structure.*

Рыночные отношения искоренили такое понятие, как "дефицит запасных частей", что делает экономически нецелесообразным восстановление простых в изготовлении деталей. Необходимо уделять внимание разработке технологий ремонта сложных в изготовлении объектов, одним из которых является система выпуска отработавших газов.

В связи с тем что до настоящего время не существует общепринятой теории адгезии [1], клеевое соединение было представлено как кибернетический объект исследования в виде так называемого "черного ящика" (рис. 1). Варьируемые компоненты клеевого состава обозначены стрелками, направленными к объекту. Стрелка, направленная от объекта исследования, характеризует параметр исследования.

Для оценки клеевых составов используются различные показатели: разрушающее напряжение при сжатии, при отрыве, при сдвиге и др. В каждом конкретном случае вырабатывается одно или несколько основных требований. В качестве параметра оптимизации принят один параметр — величина разрушающего касательного напряжения (функция отклика).

Рис. 1. Схема математической модели для оптимизации концентрации клеевого состава

По величине коэффициентов регрессии будем судить о степени влияния изменения массовой доли компонентов клея на величину разрушающего касательного напряжения.

Научным подходом к планированию экспериментальных исследований является теория планирования эксперимента, которой является раздел математической статистики, изучающий рациональную организацию измерений и наблюдений. Использование теории планирования эксперимента позволяет экспериментатору лучше разобраться в происходящих процессах, определить взаимосвязи между входными и выходными параметрами и сделать надежные выводы [2].

Компьютерная система планирования эксперимента такая, как STATGRAPHICS Plus, разработанная американской корпорацией Manugistics, по признанию многих авторитетных журналов (Infoworld, Software Digest и др.) является на сегодняшний день одной из наиболее эффективных систем статистического анализа данных. Такую высокую оценку STATGRAPHICS Plus заслужил благодаря удачному соединению научных методов обработки разнотипных данных с современной интерактивной графикой. Доступный интер-

фейс и тщательно отшлифованная документация существенно изменили представления об этой предметной области. Если раньше она считалась уделом высококвалифицированных профессионалов в математической статистике, владеющих в достаточно полном объеме ее тонкостями, то теперь планирование эксперимента стало доступно широкому кругу специалистов в других областях. В STATGRAPHICS включен весь спектр графических процедур, которые позволяют подбирать, а также ясно и точно "видеть" особенности анализируемого материала, в том числе и трехмерные поверхности отклика разного вида. При этом все графические отображения являются интерактивными. Можно (как в автоматическом, так и в ручном режимах) подбирать наиболее иллюстративные рисунки и графики экспериментальных планов.

Использование STATGRAPHICS Plus предусматривает, разработку экспериментального плана рис. 2, задание имени и сохранение плана эксперимента, ввод экспериментальных данных рис. 3, анализ экспериментальных данных с одновременным графическим отображением исследуемых зависимостей.

Компьютерная программа позволяет не только аппроксимировать экспериментальные данные, но и определить оптимальную концентрацию компонентов клеевого состава.

С помощью этой программы нами был разработан клеевой состав для ремонта системы выпуска отработавших газов. В качестве основы состава было взято калиевое жидкое стекло, в качестве наполнителей — глинозем, графит и карбонильное железо Р10.

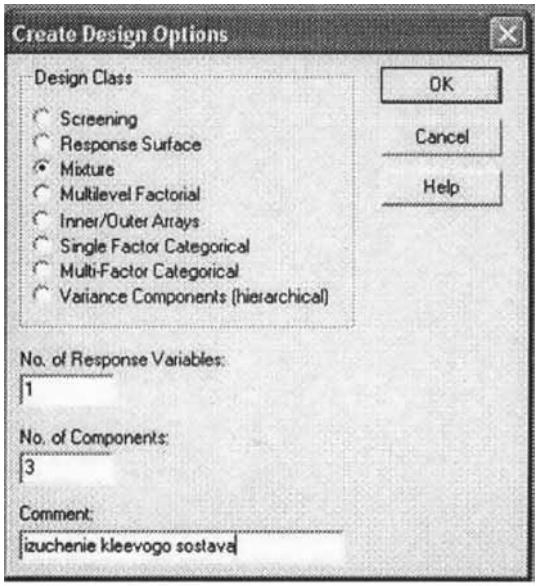


Рис. 2. Окно для разработки экспериментального плана

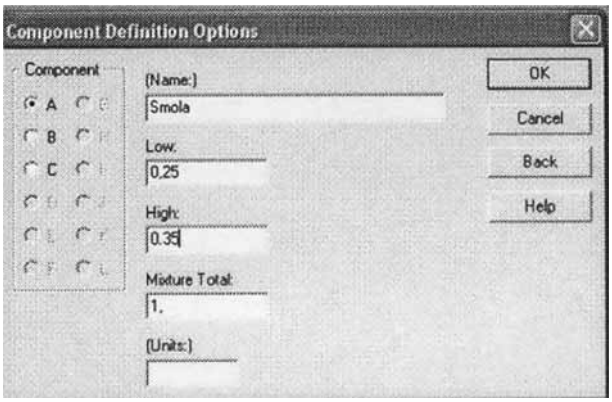


Рис. 3. Окно для описания компонентов клеевого состава

При разработке состава в качестве параметра оптимизации было взято разрушающее касательное напряжение, которое характеризует адгезионные свойства клеевого состава. Испытания показали, что адгезионные характеристики увеличиваются при наполнении состава карбонильным железом в пределах 10...20 % [3].

Результаты оптимизации концентрации клеевого состава с помощью программы представлены на рис. 4—6. На рис. 4 представлен график поверхности отклика, на рис. 5 — контурный график. По этим графикам можно оценить влияние каждого компонента на параметр оптимизации. Оптимальную концентрацию компонентов позволяет определить наложенный график (рис. 6), где в месте пересечения показана оптимальная концентрация компонентов.

После получения составов были проведены эксплуатационные испытания, которые представлены на рис. 7—9.

Результаты эксплуатационных испытаний представлены на рис. 10, на котором видно, что

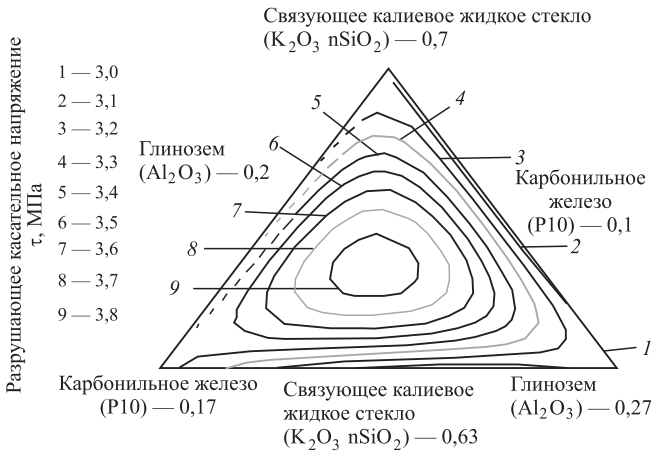


Рис. 4. График поверхности отклика

разработанный состав не уступает импортным аналогам.

На состав были разработаны технические условия, упаковка и получено СЭЗ, после чего клеевой состав был запущен в продажу.

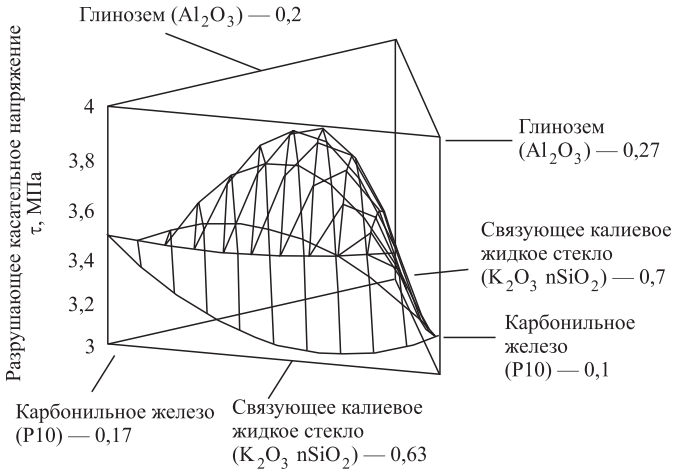


Рис. 5. Контурный график

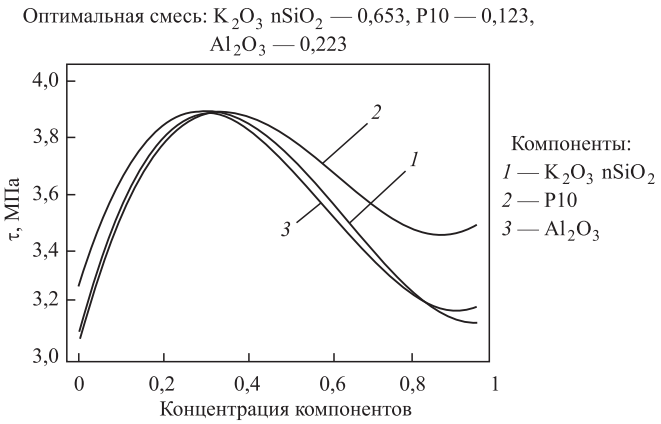


Рис. 6. Наложенный график для оптимизации компонентов клеевого состава

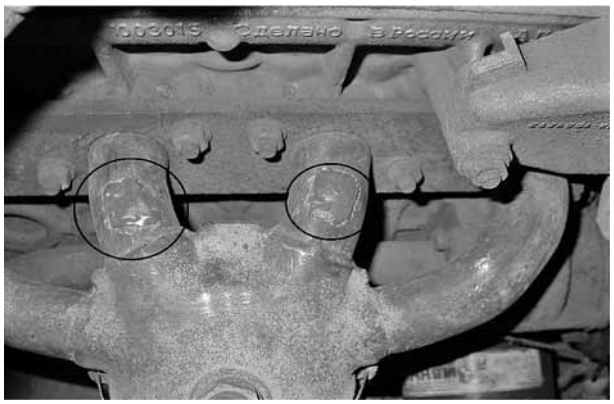


Рис. 7. Нанесение клеевого состава на поврежденный коллектор

Рис. 8. Нанесение клеевого состава на значительные повреждения выхлопной системы (используется армированная сетка)

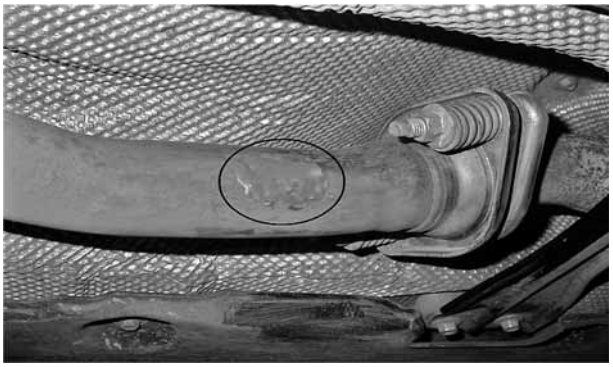


Рис. 9. Нанесение клеевого состава на глушитель

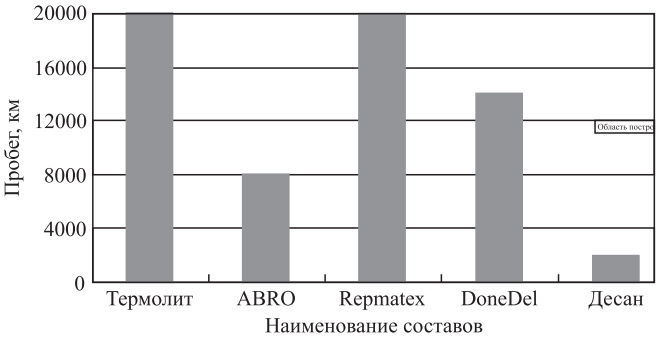


Рис. 10. Результаты эксплуатационных испытаний клеевых составов

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Клеящие материалы**. Герметики: Справ. / А. П. Петрова, А. А. Донской, А. Е. Чехлых, А. А. Щербина; Под ред. А. П. Петрова. — СПб.: НПО "Профессионал", 2008. — 592 с.
2. **Башкирцев Ю. В.** Восстановление работоспособности радиаторов системы охлаждения двигателей внутреннего сгорания формообразующим клеевым составом: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.03: защищена 09.11.09: утв. 05.02.10. — М., 2010. — 144 с.
3. **Панин А. А.** "Термолиты" работоспособны при 1000 °С // Сельский механизатор. — 2007. — № 6.

УДК 629

В. В. Карташова, инженер, **Н. И. Баурова**, д-р техн. наук, профессор, МАДИ
E-mail: nbaurova@mail.ru

ИЗУЧЕНИЕ АДГЕЗИОННЫХ СВОЙСТВ ПОКРЫТИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ ВНУТРЕННИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ДОРОЖНЫХ МАШИН

Рассмотрены основные свойства полимерных покрытий для рабочих органов дорожных машин. Дана характеристика оптимальных видов наполнителей для полимерных материалов. Приведены результаты экспериментальных исследований адгезионных свойств полимерных покрытий с использованием различных наполнителей.

Ключевые слова: *адгезия, антиадгезионные свойства, дорожные машины, полимерные покрытия, рабочие органы.*

The basic properties of polymer coatings for working bodies of road machines are considered. The characteristic of optimal types of fillers for polymeric materials is given. The results of experimental studies of the adhesive properties of polymer coatings using different fillers are presented.

Keywords: *adhesion, anti-adhesive properties, road machines, polymer coatings, working bodies.*

(Рисунки и табл. 2 на 2—4 полосах обложки)

При постоянном взаимодействии со строительными материалами, влагой, агрессивными средами и грязью рабочие органы дорожных машин (ДМ) (ковши бульдозеров, лопасти и щетки снегоуборочной техники и др.) постоянно подвергаются негативным воздействиям окружающей среды. Наиболее острая необходимость в обеспечении защитных и антиадгезионных свойств поверхностей рабочих органов дорожных машин стоит в зимний период, так как избыточное налипание снега, грязи и противогололедных реагентов может привести к несвоевременным отказам, поломкам, трещинам и коррозионным разрушениям рабочих органов.

Покрытия для рабочих органов ДМ должны обладать комплексом свойств [1—3]:

— иметь хорошую адгезию к материалу рабочих органов;

— обладать антиадгезионными свойствами к обрабатываемым средам (песок, грунт, снег, антигололедные реагенты и др.);

— обрабатываемые материалы должны хорошо удаляться с поверхности рабочих органов.

Данные покрытия представляют собой кремний-органическую основу с различными наполнителями, обеспечивающие сочетание заданных свойств.

Целью данного исследования является определение адгезионных свойств различных типов покрытий, которые могут быть использованы для внутренней поверхности рабочих органов ДМ.

На основании проведенного обзора литературы [4—7] в качестве наполнителей, способных обеспечить покрытиям комплекс антиадгезионных свойств к обрабатываемым грунтам, были выбраны следующие наполнители:

— тальк (позволяет создавать полимерные структуры повышенной плотности, препятствует деформации поверхностей, эффективно упрочняет и улучшает технические характеристики полимерных материалов);

— слюда (увеличивает влаго-, тепло- и химическую стойкость, жесткость, твердость);

— графит (придает составу низкий коэффициент трения и высокую износостойкость);

— волластонит (придает составу высокую водостойкость, теплостойкость, морозостойкость);

— кварцевая мука (повышает физико-химические свойства наполненных им полимеров).

Образцы для проведения экспериментальных исследований представляли собой пластины, изготовленные из рессорной стали марки 60С2, размером 7 × 10 см, на которые наносили различные типы полимерных покрытий. В качестве основы полимерного покрытия использовался нейтральный силиконовый герметик марки "Силагерм 1041" с различными типами наполнителей. В эксперименте принимали участие шесть серий образцов с различным составом полимерного покрытия. В табл. 1 приведены общие характеристики серий образцов.

Стандартизованных методов оценки адгезионных свойств полимерных покрытий в настоящее время нет. Поэтому в данной работе при исследова-

Таблица 1

Общие характеристики образцов для проведения испытаний

№ серии образца	Масса, г	Толщина слоя, мм	Состав покрытия		
			Основа	Наполнитель	Содержание наполнителя, %
1	363,2	0,5	Нейтральный силиконовый герметик "Силагерм 1041"	Тальк	5
2	345,2			Слюда	
3	321,6			Графит	
4	326,1			Волластонит	
5	363,4			Кварцевая мука	
6	369,3			—	—

нии адгезионных свойств покрытий использовался метод решетчатых надрезов, широко применяемый для оценки свойств лакокрасочных покрытий (ГОСТ 31149—2014 (ISO 2409:2013)). Данный метод используется для определения адгезии (устойчивости к отслаиванию) однослойного и/или многослойного покрытия или системы покрытий [8—10].

Суть метода решетчатых надрезов состоит в том, что на отвержденное полимерное покрытие при равномерном давлении на режущий инструмент, используя подходящий шаблон или металлическую линейку, наносят шесть надрезов при равномерной скорости резания в направлении от оператора длиной не менее 20 мм. Затем повторяют указанную операцию под углом 90° к первоначальным надрезам для получения решетки с четко выраженными точками пересечения [8].

Далее визуально или с использованием микроскопа, при хорошем освещении исследуют внешний вид поверхности надрезов испытуемого покрытия. При осмотре поверхностей надрезов поворачивают пластинку таким образом, чтобы углы зрения и падающего света не ограничивались одним направлением. Поверхность испытуемого покрытия классифицируют в соответствии с ГОСТ 31149—2014 (табл. 2) [8].

На рис. 1—6, *а* представлена поверхность образцов сразу после отверждения полимерного покрытия, а на рис. 1—6, *б* — аналогичная поверхность после истечения 24 ч после нанесения надрезов.

На рисунках видно, что поврежденная поверхность не вступила в реакцию с окружающей средой, следов разрушения материалов не выявлено (всем образцам присваивается 0 баллов). Исходя из полученных результатов, отметим, что благодаря обработке композиционными полимерными материалами можно обеспечить снижение разрушения поверхности металла от механических повреждений и влияния окружающей среды, тем самым создав эффект "барьера" между металлом и агрессивными средами.

Таким образом, на основании проведенных исследований можно сделать вывод, что все используемые наполнители не снижают адгезионных свойств используемого полимера и могут быть использованы для создания антиадгезионных покрытий рабочих органов дорожных машин.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Зорин В. А., Косенко Е. А.** Критерии оптимизации состава комплекта машин для строительства и ремонта асфальтобетонных покрытий // Наука и техника в дорожной отрасли. — 2017. — № 3 (81). — С. 37—39.
2. **Баурова Н. И., Зорин В. А., Приходько В. М.** Учет факторов технологической наследственности методами технологической механики // Все материалы. Энциклопедический справочник. — 2016. — № 6. — С. 2—8.
3. **Баловнев В. И., Данилов Р. Г.** Продолжительность рабочего процесса — важный показатель эффективности технологической машины // Механизация строительства. — 2016. — Т. 77. — № 3. — С. 34—38.
4. **Карташова В. В., Баурова Н. И.** Методы обеспечения антиадгезионных свойств внутренних поверхностей рабочих органов дорожных машин // Ремонт. Восстановление. Модернизация. — 2018. — № 9. — С. 17—19.
5. **Лапина Н. В., Баурова Н. И.** Определение адгезионной прочности термопластичных полимерных материалов, используемых для ремонта дорожно-строительных машин // Механизация строительства. — 2017. — Т. 78. — № 8. — С. 50—54.
6. **Петрова Л. Г., Александров В. Д., Демин П. Е., Косачев А. В.** Коррозионная стойкость сталей, применяемых для металлоконструкций мостовых сооружений, и возможность ее повышения путем нанесения цинк-наполненных покрытий // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). — 2016. — № 4 (47). — С. 49—56.
7. **Бондалетова Л. И., Бондалетов В. Г.** Полимерные композиционные материалы: учебное пособие. — Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. — 118 с.
8. **ГОСТ 31149—2014 (ISO 2409:2013)** Межгосударственный стандарт "Определение адгезии методом решетчатого надреза", дата введения 2015.09.01.
9. **Баурова Н. И., Коноплин А. Ю.** Оптимизация параметров качества при ремонте дорожно-строительных машин по клеесварной технологии // Ремонт. Восстановление. Модернизация. — 2016. — № 2. — С. 37—41.
10. **Петрова Л. Г., Лихачева Т. Е., Малахов А. Ю.** Исследовательский комплекс для мониторинга структурного состояния конструкционных материалов и его применение при анализе разрушений стальных деталей автомобилей // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). — 2013. — № 2 (33). С. 11—17.

УДК 533.7

А. В. Кочетков, д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВПО "Пермский национальный исследовательский политехнический университет", ФАУ "РОСДОРНИИ",
П. В. Федотов, эксперт МОО "Профессиональный инженер"

МЕХАНИЗМЫ АДИАБАТИЧЕСКОГО НАГРЕВА И ОХЛАЖДЕНИЯ ГАЗОВ (ТЕПЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ В ДВИГАТЕЛЯХ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ)

Показано, что современные теории газов, в частности, теория Ван-дер-Ваальса, не могут адекватно и без умолчаний объяснить имеющиеся факты о поведении газов при адиабатических процессах. Это важно при описании тепловых процессов в двигателях внутреннего сгорания. Например, известны силы Ван-дер-Ваальса, но теоретически объясняются только вандерваальсовы силы притяжения (дипольные и квадрупольные), в то же время факты говорят, что кроме сил притяжения между молекулами газа существуют и силы отталкивания. Более того, силы отталкивания не только близкодействующие, которые можно объяснить конечными размерами молекул, но и дальнодействующие. Так называемые постоянные Ван-дер-Ваальса на самом деле являются не постоянными, а параметрами, которые зависят не только от температуры, но и от давления. Факты излучения нагретых газов никак не комментируются в современной литературе. Излучение нагретых газов известно, но в молекулярной теории газов не упоминаются, а приводятся только в теории излучения, для обоснования квантового характера излучения. При этом без объяснения механизмов, а только постулируются в виде законов Стефана-Больцмана, закона Вина и Планка. Все перечисленные и другие факты, следующие из многочисленных экспериментов, легко объясняются молекулярно-фотонной теорией, предлагаемой авторами. Работы в данной области актуальны для поршневых механизмов, так как именно в поршневых механизмах, как правило, происходят адиабатические процессы сжатия и расширения, сопровождаемые адиабатическими нагревом и охлаждением газовых смесей.

Ключевые слова: *теория Ван-дер-Ваальса, потенциал Леннард-Джонса, эффект Джоуля—Томпсона, инверсия коэффициента Джоуля—Томпсона, дросселирование газов, тепловое равновесие излучения, законы теплового излучения, эффект Милликена, молекулярно-фотонная теория (МФТ).*

It is shown that modern theories of gases, in particular, van der Waals theory, cannot adequately and without default explain the available facts about the behavior of gases in adiabatic processes. This is important when describing thermal processes in internal combustion engines. For example, the van der Waals forces are known, but only the vandervaals forces of attraction (dipole and quadrupole) are theoretically explained, at the same time, the facts say that in addition to the attractive forces between the gas molecules, there are also repulsive forces. Moreover, the repulsion forces are not only short-range, which can be explained by the final size of the molecules, but also long-range. The so-called van der Waals constants are actually not constant, but parameters that depend not only on temperature but also on pressure. The facts of radiation of heated gases are not commented in the modern literature. The radiation of heated gases is known, but in the molecular theory of gases are not mentioned, but are given only in the theory of radiation, to justify the quantum nature of radiation. In this case, without explaining the mechanisms, but only postulated in the form of Stefan-Boltzmann's laws, the law of Wine and Planck. All of these and other facts, following from numerous experiments, are easily explained by the molecular photon theory proposed by the authors. Works in this area are relevant for piston mechanisms, because it is in the piston mechanisms, as a rule, there are adiabatic processes of compression and expansion, accompanied by adiabatic heating and cooling of gas mixtures.

Keywords: *the theory of van der Waals forces, the potential of Lennard-Jones, the effect of Joule—Thompson inversion coefficient Joule—Thompson throttling of gases, thermal equilibrium of radiation, laws of thermal radiation, the effect Millikan, molecular photonic theory (MFT).*

Введение

В современной теории газов есть одно темное пятно. Это объяснения механизмов, происходящих в газах при адиабатическом нагреве и охлаждении без теплообмена с окружающей средой. Это важно при описании тепловых процессов в двигателях внутреннего сгорания (ДВС).

Изменение температуры при прочих процессах не вызывает сомнений, так как при прочих процессах происходит передача тепла от внешних источников. Но при адиабатических процессах при полной тепловой изоляции происходит нагрев при сжатии и охлаждение при расширении.

Объяснения существуют, но на наш взгляд, недостаточные.

Проблемой нагрева и охлаждения газов занимаются, в принципе, два раздела науки: термодинамика и теория газов. Но термодинамика, как феноменологическая теория не рассматривает механизмы реализации тех законов, которые в термодинамике "предлагаются как постулаты, основанные на экспериментальных доказательствах, и выводы из них делаются без рассмотрения механизма явлений" [16, с. 7].

В молекулярной физике ситуация несколько лучше, но не обходится без существенных недостатков, в частности это касается и объяснения причин отталкивания молекул газа, а также обоснования законов взаимодействия молекул в газе, например в [2] на с. 151, написано: "Из этих результатов можно сделать единственное заключение, что если сведения о межмолекулярных силах получены из измерений различных физических величин, то необходимо выбирать потенциальную функцию, более реалистическую, чем потенциал Леннард-Джонса".

В [6] на с. 221 сказано, что "Степень в отталкиваемом члене варьировалась в разных задачах в пределах от $n = 12$ до $n = 25$". Естественно объяснения причин такого разброса показателя степени сил отталкивания нигде не приводится. Все обосновывается согласием с экспериментальными данными в различных опытах. Цянь Сюэ-сень уточняет: "в соответствии с формой дисперсионной энергии, обусловленные диполь-дипольными силами Ван-дер-Ваальса (прим. авт.), для членов притяжения примем $m = 6$; практика показывает, что каждое из значений n между 9 и 14 может дать результаты, соответствующие экспериментальным. Для удобства вычислений возьмем $n = 12$" [17, с. 314]. Недостатки потенциала Леннард-Джонса привели к появлению других формул потенциалов взаимодействия молекул: потенциал Букингема, потенциал Кихары, потенциал Морзе, потенциал Ридберга и т. д. Более полный список различных формул потенциалов приведен в литературе, например в [Каплан] (прим. авт.)

Имеется еще одно противоречие в молекулярной физике. Это касается так называемого "эффективного размера молекул". В уравнении Ван-дер-Ваальса — это коэффициент b, в потенциале Леннард-Джонса — это коэффициент σ. Противоречие в том, что в теории Ван-дер-Ваальса коэффициенты постоянные, а эксперименты утверждают, что эффективные размеры молекул переменные и зависят от внешних условий, от температуры и давления. Причем зависимость эффективных размеров от температуры признается: "Прежде всего, константы a и b, входящие в уравнение Ван-дер-Ваальса, оказываются вовсе не константами. Как показывают опыты, a и b зависят от температуры. Между тем по смыслу уравнения Ван-дер-Ваальса a и b должны быть постоянными, характерными для данного вещества величинами" [7, с. 234]. При этом анализ кривой инверсии коэффициента Джоуля—Томпсона показывает, что эффективный размер молекул зависит также от давления.

Постановка задачи исследования

С точки зрения механических молекулярных теорий объяснить такое поведение очень сложно. Например, как объяснить, что размеры молекул зависят от скорости молекул?

Во-первых, заметим сразу, что в рамках МКТ объяснения такому поведению газов быть не может. Дело в том, что согласно постулатам МКТ молекулы газа взаимодействуют исключительно за счет упругих ударов. А по законам упругих ударов энергия молекул до и после соударения остается неизменной, согласно законам упругого удара. Количество же ударов, которое повышается при сжатии газов и понижается при разряжении, никак не влияют на энергию соударяющихся молекул.

Объяснений обычно приводится два. Первое, это столкновения молекул с движущимся поршнем [13, с. 212]. Второе объяснение состоит в том, что нагрев и охлаждение происходит за счет работы, совершаемой поршнем при расширении—сжатии. Но увеличение или уменьшение скорости молекул, ударяющихся о движущийся поршень очень мизерно. Сравним имеющиеся данные. Согласно современным представлениям скорость молекул газа приведена в таблице.

В ДВС согласно источникам, например [5], максимальная скорость поршня равна 23 м/с. В реальности скорости поршня в ДВС меньше. А если брать обычные скорости в экспериментах по адиабатическому сжатию—расширению, то скорости поршня намного меньше.

Газ	Среднеквадратичная скорость молекул (м/с)
Водород	1930
Гелий	1365
Метан	680
Аммиак	660
Азот	515
Кислород	480
Углекислый газ	410

Сравнивая скорости движения поршня в реальных механизмах и скорости молекул в газе, можно утверждать, что движение поршня очень мало влияет на скорости молекул в газе. Даже максимальная скорость поршня в ДВС почти в 20 раз меньше скоростей самых медленных молекул в углекислом газе.

Главное возражение состоит не в том, что скорость поршня в действительности слишком мала по сравнению со скоростями молекул, а в том, что прирост скорости молекул от движения поршня будет зависеть от скорости поршня. Если V_1 и V_2 — это начальный и конечный объем газа, то в зависимости от того, с какой скоростью перемещался поршень, будут зависеть конечная скорость молекул газа и температура газа в конечном состоянии. Надо учитывать, что современное понимание температуры газа состоит в том, что под температурой понимается кинетическая энергия молекул газа (прим. авт.).

Второе объяснение состоит в том, что при изменении объема изменяется потенциальная энергия молекул. Но в рамках МКТ потенциальной энергии молекул не существует, так что подобное объяснение не может быть признано.

В рамках МКТ нет сил, которые могут совершать противодействие движению поршня. Подобное объяснение легитимно только в рамках молекулярно-механической теории или теории Ван-дер-Ваальса, где изменение температуры объясняется изменением потенциальной энергии молекул. А работа поршня производится против вандерваальсовых сил. Такое объяснение не работает, так как все вандерваальсовы силы — это силы притяжения между молекулами газа, имеющими электростатическую природу [2]. Соответственно, при сжатии газа работа идет не против вандерваальсовых сил, а попутно производится отрицательная работа, т. е. температура должна снижаться, а не наоборот, как это происходит в действительности.

Во-первых, потому, что если бы уравнение Ван-дер-Ваальса было бы полностью легитимно, то не было бы необходимости в других уравнениях. Тем не менее, на сегодняшний день придумано несколько десятков уравнений взамен уравнения Ван-дер-Ваальса. Уравнения Дитеричи и вириальное уравнение Камерлинг-Оннеса широко применяются в отдельных случаях, когда они дают более точные результаты, чем уравнение Ван-дер-Ваальса. Единственный недостаток других уравнений в том, что уравнение Ван-дер-Ваальса единственное, кроме уравнения Клайперона—Менделеева, которое теоретически обосновано. Все остальные уравнения состояния газов являются эмпирическими.

Второе замечание состоит в том, что взаимодействие молекул, в виде потенциала Леннард-Джонса (потенциал 6-12):

$$V(r) = \frac{\lambda_n}{r^{12}} - \frac{\lambda_m}{r^6},$$

где $V(r)$ — потенциал взаимодействия молекул, λ_n и λ_m — некие коэффициенты, r — расстояние между молекулами.

Чаще потенциал Леннард-Джонса записывается в виде:

$$V(r) = 4\varepsilon\left[\left(\frac{\sigma}{r}\right)^{12} - \left(\frac{\sigma}{r}\right)^{6}\right],$$

где ε — глубина потенциальной ямы, σ — значение r, при котором $V(r) = 0$ (рис. 1).

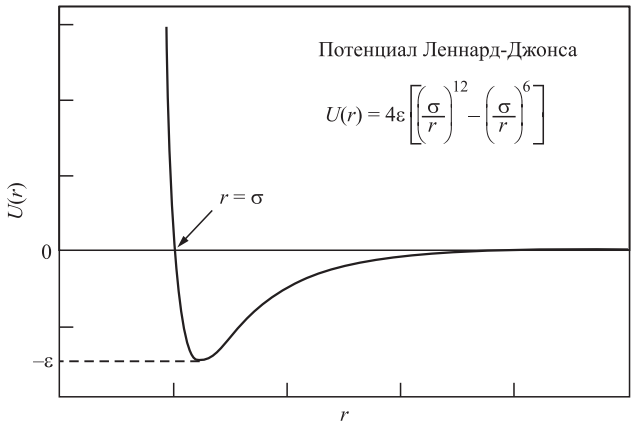


Рис. 1. Типичный вид потенциала Леннард-Джонса [3]

Решение проблемы

В уравнении потенциала Леннард-Джонса второй член со знаком минус характеризует притяжение молекул за счет диполь-дипольного взаимодействия, которое и обеспечивает вандерваальсовы силы. А первый член — характеризует отталкивание молекул.

Существует другое уравнение взаимодействия молекул, в виде потенциала Букингема:

$$V(r) = Ae^{-Br} - \frac{\lambda}{r^6}.$$

В этом уравнении член с притяжением аналогичен члену в потенциале Леннарда-Джонса, а член с отталкиванием аппроксимируется экспонентой.

Проблема в том, что все известные вандерваальсовы силы (ориентационные, дисперсионные (лондоновские) и индукционные) — это силы, обусловленные электрическим взаимодействием между молекулами, которые представляют собой не просто незаряженные тела, а состоят из диполей положительно заряженных ядер и отрицательных электронов.

При этом все вандерваальсовы силы притягивающие. Иными словами, дальнодействующих отталкивающих сил в рамках теории Ван-дер-Ваальса не существует. Этот факт обходится в современной литературе следующим образом: взаимодействие на больших расстояниях описывается как вандерваальсово притяжение, а силы отталкивания якобы включаются только на малых расстояниях и объясняются отталкиванием молекул, имеющих конечные размеры.

Такое объяснение не совсем верно, так как, во-первых, согласно расчетам σ для инертных газов превышает размеры атомов, полученных из экспериментов [6, с. 221], так для гелия σ = 2,556 Å, а радиус r = 0,49 Å. Отталкивание атомов достигает значительной величины задолго до того, как атомы придут в непосредственное соприкосновение. Для остальных атомов и молекул ситуация аналогичная.

Другой подвох при объяснении взаимодействия молекул в рамках теории Ван-дер-Ваальса в том, что объяснение отталкивания непосредственным столкновением молекул не может объяснить дальнодействующих сил отталкивания, хотя опыты подтверждают, что они существуют. Для этого достаточно рассмотреть эффект Джоуля—Томпсона. Для всех газов существуют положительный и отрицательный эффект Джоуля—Томпсона. Положительный эффект состоит в том, что при расширении газ охлаждается, а отрицательный — если нагревается. При положительном эффекте Джоуля—Томпсона при расширении газа потенциальная энергия молекул уменьшается, что и вызывает охлаждение газа.

При отрицательном эффекте при расширении потенциальная энергия увеличивается, что не может быть объяснено наличием сил притяжения, а только наличием сил отталкивания. Причем силы, обусловливающие отрицательный эффект Джоуля—Томпсона, явно дальнодействующие. Примечательно, что для всех газов эффект Джоуля—Томпсона имеет и положительный, и отрицательный знак, а изменение знака происходит в точке инверсии, которая зависит от температуры и давления. Типичный вид кривой инверсии эффекта Джоуля—Томпсона приведен на рис. 2.

Так, для гелия максимальная температура инверсии $(T_и)_{max}$ = 40 К, для водорода — 202 К, для азота — 621 К, для кислорода — 764 К, для CO_2 — 1900 К. При комнатной температуре водород и гелий ведут себя совершенно "ненормально", они нагреваются при расширении. Такое поведение обусловливает аварии при наличии щелей трещин в баллонах или трубопроводах со сжатым водородом. Водород, проходя через щели или трещины в атмосферу, расширяется, а при расширении нагревается до температуры воспламенения.

Остальные газы при комнатной температуре ведут себя нормально, т. е. при расширении охлаждаются, однако при высоких температурах

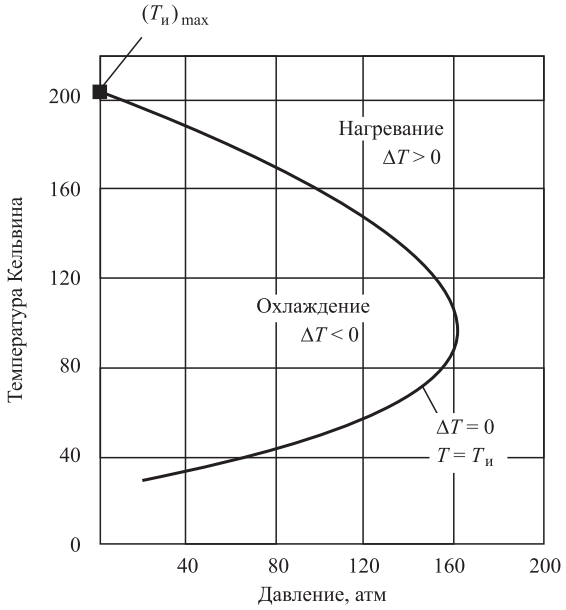


Рис. 2. Инверсия эффекта Джоуля—Томпсона для водорода [4]

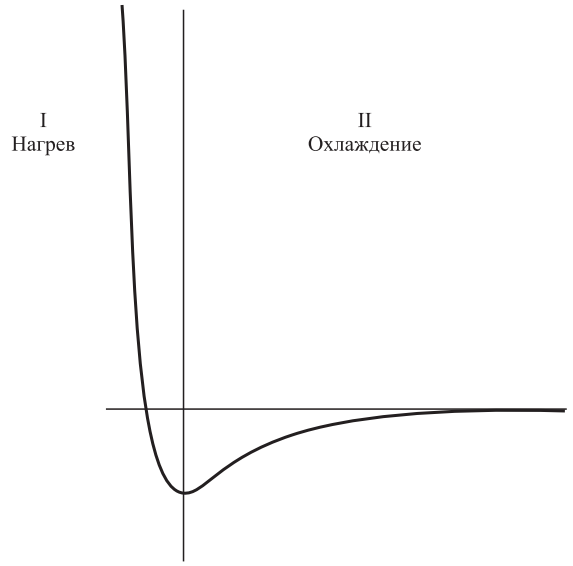


Рис. 3. Эффект Джоуля—Томпсона как результат потенциального взаимодействия молекул [4]

когда $T > (T_и)_{max}$, также ведут себя аномально. Для любого газа наблюдаются положительный, отрицательный или нулевой эффекты Джоуля—Томпсона при соответствующих условиях.

Используя график потенциальной энергии молекул (см. рис. 1), рассмотрим эффект Джоуля—Томпсона в графическом виде (рис. 3).

В области I преобладают силы отталкивания, поэтому расширение газа в этой области приводит к увеличению потенциальной энергии, т. е. газ при расширении нагревается. В области II преобладают силы притяжения, газ при расширении охлаждается. Говорить про то, что молекулы находятся слишком плотно, настолько, что соприкасаются друг с другом, не приходится.

Но есть еще одно замечание, которое никак не комментируется в современной литературе. Это наличие минимального давления инверсии, $(P_и)_{min}$. Это крайне правая точка линии инверсии на рис. 2. Это давление, выше которого инверсии эффекта Джоуля—Томпсона не наблюдаются при любой температуре. Если давление ниже $(P_и)_{min}$, то явление инверсии наблюдается и газы при расширении либо охлаждаются либо нагреваются в зависимости от знака коэффициента Джоуля—Томпсона, а если давление выше $(P_и)_{min}$, то при расширении газы только нагреваются. Такое поведение газов механическая модель Ван-дер-Ваальса объяснить не в состоянии.

Последнее, что не могут объяснить механические модели газов (под механическими моделями газов мы понимаем и молекулярно-кинетическую теорию Клайперона и молекулярно механическую (потенциально-кинетическую) теорию Ван-дер-Ваальса (прим. авт.) — это поведение излучения газов. Известно, что любое нагретое вещество, в том числе и газы, излучает фотоны, не очень нагретое вещество излучает тепло (тепловые фотоны), сильно нагретое — излучает свет (световые фотоны), нагрев еще сильнее приводит к излучению ультрафиолета и даже рентгеновских лучей. Но всегда излучаемые фотоны соответствуют температуре нагрева вещества.

Существует закон смещения Вина:

$$\lambda_{max} = b/T,$$

здесь λ_{max} — длина волны максимального излучения, b — постоянная Вина, T — абсолютная температура, К.

Энергия фотонов связана с длиной волны уравнением:

$$E_ф = h\nu = \frac{hc}{\lambda},$$

где $E_ф$ — энергия фотона; h — постоянная Планка; ν — частота; λ — длина волны фотона; c — скорость света.

Отсюда следует, что при любой температуре газ излучает максимум фотонов определенной длины волны (частоты), а замкнутая система молекул газа находится в равновесии температуры газа и энергии излучаемых фотонов.

Это легко объяснимо, если фотоны поступают извне при теплопередаче с внешним миром. Но авторы специально ограничиваются адиабатическими процессами, когда газ теплоизолирован от внешней среды. Поэтому необходимо описать механизм приведения к равновесию между молекулами и фотонами. Точнее между температурой газа и энергией фотонов.

Указанных недостатков не имеет предложенная авторами молекулярно-фотонная теория [9].

Во-первых, фотоны всегда отталкивают молекулы, на которые они падают, независимо от того, поглощаются они или отражаются. Поэтому нет проблемы с обоснованием сил отталкивания в потенциале Леннард-Джонса. О том, что свет действует механически на молекулы, предсказал еще Кеплер. Максвелл предсказал, что существует давление электромагнитного поля [12, с. 342]. Эйнштейн ввел в науку понятие фотона как частицы, для которой существование закона передачи импульса следует по определению [19]. Существование давления света экспериментально

доказал П. Н. Лебедев [11] (открытие П. Н. Лебедева радиационного давления света не стоит путать с радиометрическим эффектом, открытым Круксом чуть ранее. Это два разных эффекта, которые протекают при разных условиях. Вертушка Крукса крутится при низком вакууме и чем выше вакуум, тем слабее крутится крыльчатка, а радиационный эффект работает при высоком вакууме, причем радиационное давление намного слабее, чем при радиометрическом эффекте. Более того, в опытах по радиометрическому эффекту Крукса (при низком вакууме) и экспериментах по радиационному эффекту (в высоком вакууме) крыльчатки крутятся в разные стороны. В МФТ важны оба эффекта, но путать их все же не стоит (прим. авт.).

Во-вторых, действие фотонов не ограничивают никакие расстояния, т. е. воздействие фотонов дальнодействующее. То, что в модели Ван-дер-Ваальса с трудом объясняется только при больших плотностях газов, когда молекулы вплотную приближаются друг к другу, и невозможно объяснить при неплотной упаковке, что легко объясняется действием фотонов.

В-третьих, поведение газов в эффекте Джоуля—Томпсона также легко объяснимо в рамках МФТ. Наличие температуры инверсии объясняется тем, что отталкивание молекул фотонами является противодействующим притяжению молекул силами Ван-дер-Ваальса. При температуре ниже $(T_и)_{max}$ энергия фотонов слишком мала, чтобы оказать ощутимое влияние, и превалируют вандерваальсовы силы притяжения.

При расширении газа потенциальная энергия молекул падает, газ охлаждается. При повышении температуры энергия фотонов, соответственно, и давление их на молекулы возрастает. При температуре выше $(T_и)_{max}$ превалирует отталкивание фотонов.

Соответственно при расширении газов отталкивание фотонов падает, потенциальная энергия молекул возрастает. Нужно учитывать, что потенциальная энергия притяжения входит в потенциал со знаком минус, а энергия отталкивания со знаком плюс. По закону сохранения механической энергии, чем отрицательнее потенциальная энергия, тем выше кинетическая энергия при преобразовании энергии. Поэтому, когда потенциальная энергия сдвигается в минус, говорят "потенциальная энергия возрастает" и наоборот (прим. авт.).

Правда, это происходит при условии, что с увеличением расстояния отталкивающая сила фотонов падает быстрее, чем снижается притягивающие вандерваальсовы силы. В потенциале Леннард-Джонса это отражается тем, что силы отталкивания убывают в двенадцатой степени от расстояния, а притягивающие силы только в шестой степени.

Рассмотрим наличие точки минимального давления $(P_и)_{min}$, которая никак не комментируется в современной литературе. Это такое давление, выше которого эффект Джоуля—Томпсона всегда отрицательный, газ при расширении всегда нагревается в нарушение законов Клайперона—Менделеева. Это также легко объясняется в рамках МФТ.

В [9] сказано, что для взаимодействия молекул с фотонами важно не давление в газе, а плотность (концентрация). При малой концентрации молекул большинство фотонов пролетает мимо молекул, акты взаимодействия молекул и фотонов редкие, т. е. давление фотонов на молекулы малое. Чем выше концентрация молекул, что наблюдается при повышении давления, тем чаще фотоны наталкиваются на молекулы, соответственно растет и давление фотонов на молекулы газа. При $(P_и)_{min}$ наступает момент, когда давление фотонов становится выше, чем притяжение вандерваальсовых сил, и при дальнейшем повышении давления решающую роль играет отталкивание фотонами. Коэффициент Джоуля—Томпсона меняет знак.

Чтобы объяснить, как система молекул газа приходит в тепловое равновесие с фотонами, необходимо прояснить механизмы рождения и поглощения фотонов молекулами.

Во-первых, разберем механизмы рождения (излучения) фотонов. В [9] высказана гипотеза, что атомы (молекулы) могут излучать фотоны любой частоты. Это прямо противоречит постулатам атомной физики, в полуклассической теории Бора существуют постулаты Бора, что атом может излучать фотоны только строго определенной частоты, при переходах от одной стационарной орбиты на более низкую стационарную орбиту [18, с. 339]. В квантовой механике есть аналогичные принципы [14, с. 222].

Хоть в полуклассической теории Бора, хоть в квантовой механике электрон может существовать в атоме в строго определенных энергетических состояниях, которое определяет либо орбиты (у Бора), либо орбитали (в КМ). Но такая ситуация противоречит известным фактам.

Поскольку ситуации в теории Бора и в квантовой механике аналогичны, различаются только разъяснения, то сосредоточимся на объяснениях в рамках теории Бора, как более наглядной.

В процессе нагрева согласно теории Бора сначала атом может излучить первую линию спектра, т. е. под воздействием нагрева электрон должен перейти на первую возбужденную орбиту, сойти с нее и вернуться на нулевую орбиту, излучив при этом первую спектральную линию. И только при последующем нагреве электрон будет последовательно переходить на орбиты более высоких энергий, атом при этом будет излучать все последующие спектральные линии.

Парадокс в том, что первые линии всех атомов лежат в области фиолетового конца видимого света, а для водорода и гелия даже в области ультрафиолета. Если бы постулаты Бора и соответствующие законы КМ выполнялись бы строго, то горячие тела в процессе нагрева излучали бы сначала фиолетовый и ультрафиолетовый свет и только при более высоком нагреве в излучении появлялись бы тепловые ИК-лучи. Линии ИК появляются в спектре атомов при переходах между близкими орбитами второго и третьего десятка главного квантового числа *n* (прим. авт.).

Второе возражение против механизма рождения фотонов, принятых в атомной физике, состоит в том, что согласно законам атомной физики фотоны могут рождаться только за счет поглощения фотонов. Механизм такой: атом поглотил фотон, электрон перешел на высокую орбиту. При переходе электрона с высокой орбиты на низкую фотон излучается.

Не отрицая механизм, принятый в атомной физике, авторы предлагают другой механизм. Кроме поглощения фотонов электрон может переходить на высокую орбиту за счет возбуждения от механических ударов. А удары следуют от других атомов в процессе теплового движения. Чем выше скорости теплового движения, тем сильнее удары (возбуждения электронов), тем более энергичные фотоны излучает атом, переходя в стационарное состояние.

Электрону все равно от чего он возбудился, от поглощения фотона или от механического удара другого атома. Результат одинаковый, электрон переходит на более высокую орбиту, а, возвращаясь обратно, излучает фотон, энергия которого соответствует полученной энергии при возбуждении. Поэтому назовем данную гипотезу как "гипотеза равноправности энергии возбуждения".

Причем нет никакого противоречия с законами атомной физики. Как указано в [9], стационарные орбиты — это орбиты, на которых электрон может находиться неопределенно долго, именно про них и указано в атомной физике. Нестационарные орбиты, о которых говорится здесь, это те, на которых электрон может находиться очень короткое время.

Фактически авторы говорят о том, что атом буквально сразу излучает фотон, как только получил возбуждение. В данном случае надо говорить не о том, что электрон "находится" на нестационарной орбите, а о том, что электрон, получив возбуждение, поднимается и тут же опускается, излучая фотон. На стационарной (резонансной) орбите он может находиться долго, пока в соответствии с гипотезой [10] не будет излучен атомом.

Именно поэтому отдельные атомы излучают линейные спектры, а плотные тела и плотные газы излучают непрерывный спектр.

Таким образом, объясняется излучение газов при постепенном нагреве. При повышении температуры молекулы газа сталкиваются энергичнее, возбуждение электронов при столкновениях возрастает и по мере возрастания электронов возрастает энергия излучаемых фотонов.

Но данный механизм объясняет поведение излучения только при нагреве. Да и то не без замечаний. Неизвестно, куда деваются фотоны, не соответствующие новой температуре. Допустим, газ первоначально находился при температуре T_1, максимальное количество фотонов в газе согласно закону смещения Вина (прим. авт.) имели энергию ε_1, затем тем или иным способом температура газа изменилась и стала T_2. Соответственно, максимум излучения газа сместится согласно закону смещения Вина и максимум фотонов приобрели энергию ε_2.

Понятно откуда появились новые фотоны с новой энергией, но остается вопрос, а куда девались фотоны со старой энергией?

Атомная физика на этот вопрос никак не отвечает, в ней по умолчанию принято, что какой фотон атом поглотил, такой фотон он и излучит.

Если бы это было в действительности так, то при любом положении равновесия на кривой распределения излучения наблюдался бы шлейф от предыдущего состояния.

Например, предположим, что одно и то же состояние (P, V и T) для двух разных объемов газа достигается двумя путями. Первый объем нагревается от температуры T_1 ($T > T_1$). Другой, наоборот, охлаждается с температуры T_2 ($T < T_2$) до температуры T. В первом случае было больше низкоэнергетических фотонов, соответствующих более низкой температуре T_1. Во втором случае было больше более энергичных фотонов, соответствующих более высокой температуре T_2. Ничего подобного не происходит. Кривая распределения излучения всегда одинакова и

соответствует именно достигнутому равновесию, независимо от того, каким образом оно достигнуто.

В связи с этим предлагается следующая гипотеза. Назовем ее гипотезой о "старении" фотонов.

Суть ее можно выразить следующими словами: при столкновении фотонов с молекулами фотон может не только полностью, но и частично передать энергию, при этом энергия и частота фотона снижаются пропорционально переданной энергии молекуле. Можно сказать, что удар фотона по молекуле неупругий. При многократных встречах фотонов и молекул газа фотон постепенно теряет свою энергию и "краснеет". Можно назвать этот процесс "старением" фотона.

Указанный процесс совершенно аналогичен эффекту Комптона (Артур Комптон. Рассеивание рентгеновских лучей как частиц // Эйнштейновский сборник 1986—1990. — М.: Наука. — 1990. — 496 с.) для рентгеновских лучей.

Данная гипотеза позволяет не только объяснить принцип достижения равновесия излучения, но позволяет объяснить такой эффект, как "красный шлейф" на диаграмме излучения черного тела (рис. 4). Напомним, что в качестве модели абсолютно черного тела используется емкость, заполненная газом и нагретая до температуры испытания (прим. авт.).

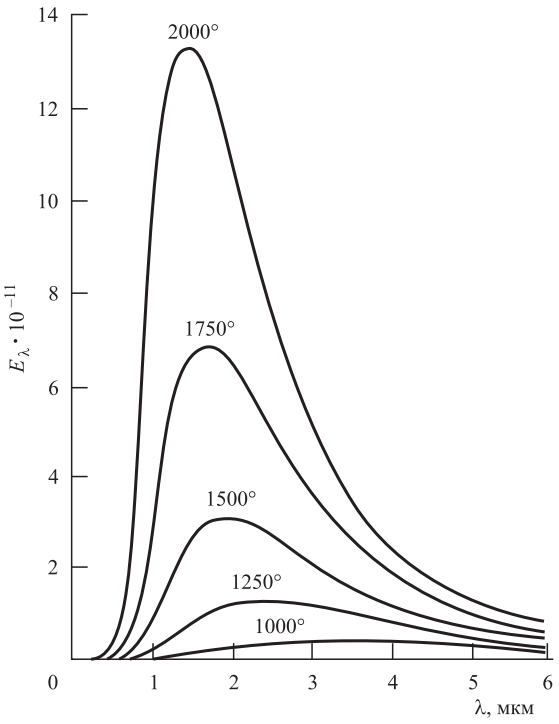


Рис. 4. Кривые распределения спектра излучения абсолютно черного тела [18]

Обсуждение полученных результатов

На рис. 4 видно, что если в сторону коротких волн график быстро спадает до нуля, то в область длинных волн шлейф графика снижается, но не опускается до нуля. Авторы предполагают, что это некоторое количество рассеянных фотонов, которые постепенно теряют энергию.

По поводу достоверности гипотезы "старения" фотонов при многократном отражении от молекул газа можно сказать следующее. Во-первых, данный механизм обязательно существует. Поскольку без привлечения постулата, что существуют механизмы (возможно не один, а несколько), в процессе которых энергетика фотонов меняется, невозможно объяснить, почему достижимо состояние теплового равновесия излучения газов.

В принципе можно предложить несколько механизмов рассеяния энергии фотонов, но объяснение с привлечением неупругих ударов фотонов в эффекте Комптона является экспериментально подтвержденным эффектом. Было бы крайне странно, если бы рассеяние фотонов на атомах (Необходимо пояснить, что, обычно, следуя традиции, которую ввел А. Комптон, эффект Комптона называют рассеянием на свободных электронах. Но в действительности опыты по рассеянию проводят при отражении от кристаллов. То есть электроны, с которыми взаимодействуют рентгеновские лучи в опытах Комптона, можно считать "свободными" чисто условно. В действительности необходимо говорить, что рентгеновские лучи рассеиваются на атомах, которые содержат электроны (прим. авт.)) было присуще только для рентгеновских фотонов и полностью отсутствовало для всех остальных видов фотонов (видимого света, тепловых и т. д.).

Именно потому, что эффект Комптона экспериментально подтвержден, по крайней мере для рентгеновских фотонов, нет никаких причин и тем более доказательств, что эффект неупругих столкновений фотонов с молекулами, в том числе и в газах, не действует для других видов фотонов (тепловых, световых и т. д.), авторы и высказывают гипотезу, что эффект Комптона актуален для любых видов фотонов всего спектра электромагнитных излучений. Хотя возможны и другие механизмы рассеивания энергии фотонов ("старения фотонов"), в настоящей статье авторы не выдвигают других гипотез.

Выводы

Процессы адиабатического нагрева и охлаждения, описанные в современной научной литературе, страдают неполнотой описания механизмов, происходящих в структуре газов. Особенно это касается процессов излучения нагретых газов. В то же время молекулярно-фотонная теория (МФТ), предложенная авторами статьи, свободна от перечисленных недостатков.

Все вышеизложенное особенно актуально для дизельных двигателей внутреннего сгорания, в которых степень сжатия наибольшая. Увеличение степени сжатия вызвано тем, что возгорание топливной смеси в дизелях происходит за счет нагрева воздуха при адиабатическом сжатии. Именно понимание процессов, происходящих при адиабатическом сжатии, и позволит инженерам и техникам при проектировании и эксплуатации дизельных ДВС добиться наибольшей эффективности при работе.

При этом необходимо различать быстрые и медленные адиабатические процессы. Дело не только в том, что идеальных теплоизоляторов не существует. Теплопроводность любых реальных материалов не равна нулю. А значит, процессы, называемые адиабатическими, на самом деле не являются таковыми "в идеале". Большое значение при этом имеет скорость расширения или сжатия. Обычно к адиабатическим процессам относят быстропротекающие процессы расширения и сжатия, при которых малая теплопроводность стенок приближает условия работы к адиабатическим.

Как показано выше, скорость протекания процессов расширения и сжатия имеет значение не только в смысле возможности игнорировать теплопередачу стенок, но и в смысле быстроты протекания процессов стабилизации достигнутого теплового равновесия. В самом деле, указанные процессы достижения равновесного теплового состояния газов при адиабатическом расширении или сжатия не протекают мгновенно, а происходят в течение некоторого времени релаксации. Таким образом рассчитывать, что тепловое равновесие достигается мгновенно, ошибочно. При расчетах быстропротекающих процессов это может приводить к неучтенным эффектам.

В реальности это компенсируется введением эмпирических коэффициентов и повышением коэффициентов запаса прочности, но без понимания происходящих физических процессов. Практикам приходится "на всякий случай" брать коэффициенты побольше. При расчетах быстропротекающих адиабатических процессов, а именно такие и происходят в современных ДВС, необходимо пользоваться не теориями равновесных состояний, а неравновесной термодинамикой, например [1, 15].

Как уже было сказано, термодинамика — наука феноменологическая и не описывает механизмы процессов реализации термодинамических законов. Таким образом, именно МФТ, позволяющая понять механизмы физических процессов в газах, является актуальной не только для физиков, но и для инженеров.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Биккин Х. М., Ляпилин И. И.** Неравновесная термодинамика и физическая кинетика. — Екатеринбург: УрО РАН. 2009. — 500 с.
2. **Гиршфельдер Дж., Кертис Ч., Берд Р.** Молекулярная теория газов и жидкостей. — М.: Изд-во иностранной лит-ры. 1961. — 930 с.
3. **Интернет-ресурс**: https://works.doklad.ru/images/khDAxHfeBrU/m3bd10321.png.
4. **Интернет-ресурс**: https://gigabaza.ru/images/51/101079/m671a9db2.png.
5. **Интернет-ресурс**: https://www.drive2.ru/l/7340423/.
6. **Каплан И. Г.** Введение в теорию межмолекулярных взаимодействий. — М.: Наука. 1982. — 312 с.
7. **Кикоин А. К., Кикоин И. К.** Молекулярная физика. — М.: Наука. 1976. — 480 с.
8. **Комптон А.** Рассеивание рентгеновских лучей как частиц // Эйнштейновский сборник 1986—1990. — М.: Наука. 1990. — 496 с.
9. **Кочетков А. В., Федотов П. В.** Молекулярно-фотонная теория газов. — М.: Мир науки, 2018. 180 с. Интернет-источник: http://izd-mn.com/PDF/09MNNPM18.pdf.
10. **Анализ** квантовых механизмов в термодинамике при формировании интенсивностей спектров, эволюции нуклидов в Метагалактике / А. А. Крушев, Д. А. Крушев, Дм. А. Крушев, Н. И. Славщик, П. А. Крушев. — Минск: Четыре четверти. 2010. — 60 с.
11. **Лебедев П. Н.** Собрание сочинений. — М.: Изд-во Акад. наук СССР, 1963. — 436 с.
12. **Максвелл Дж. К.** Трактат об электричестве и магнетизме. — Т. 2. — М.: Наука. — 1989. — 437 с.
13. **Мякишев Г. Я., Буховцев Б. Б., Сотский Н. Н.** Физика. 10 класс. — М.: Просвещение, 2010. — 366 с.
14. **Соколов А. А., Тернов И. М., Жуковский В. Ч.** Квантовая механика. — М.: Наука, 1979. — 528 с.
15. **Стратонович Р. Л.** Нелинейная неравновесная термодинамика. — М.: Наука, 1985. — 480 с.
16. **Ферми Э.** Термодинамика. — Харьков: Изд-во Харьковского ун-та, 1973. —162 с.
17. **Цянь Сюэ-сень.** Физическая механика. — М.: Мир, 1965. — 544 с.
18. **Шпольский Э. В.** Атомная физика. Том 1. Введение в атомную физику. — М.: Наука, 1974. — 576 с.
19. **Эйнштейн А.** Собрание научных трудов. Т. 1. — М.: Наука, 1965. — 700 с.

УДК 629.331

Н. А. Чернецкая, канд. техн. наук, доцент, Рубцовский индустриальный институт (филиал) ФГБОУ ВО "Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова", РФ, Рубцовск, e-mail: hatajib9_a@mail.ru, **С. А. Войнаш,** инженер по научно-технической информации, Рубцовский индустриальный институт (филиал) ФГБОУ ВО "Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова", РФ, Рубцовск, e-mail: sergey_voi@mail.ru, **А. С. Войнаш,** доцент, Рубцовский индустриальный институт (филиал) ФГБОУ ВО "Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова", РФ, Рубцовск, e-mail: aleksstok@yandex.ru

СНИЖЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ ПРИ ОБСЛУЖИВАНИИ АВТОМОБИЛЕЙ НА СТАЦИОНАРНОМ ЗАПРАВОЧНОМ ПУНКТЕ

Оценка степени экологически отрицательного влияния эксплуатации стационарного заправочного пункта и поиск мероприятий в области снижения экологического риска в процессах обслуживания автомобилей на стационарном заправочном пункте. В ходе исследования поставлены задачи по проведению оценки выбросов от стационарного заправочного пункта автомобилей; сравнению объемов выбросов с предельно допустимой концентрацией (ПДК); анализу существующих разработок по снижению отрицательного воздействия на окружающую среду стационарного заправочного пункта с выявлением их недостатков и преимуществ. Поставленные задачи решались с использованием отраслевых методик оценки выбросов; обзор существующих разработок осуществлялся по материалам патентного поиска. Проведена оценка годовых выбросов из резервуаров с нефтепродуктами при их закачке и хранении, а также из топливных баков автомобилей при их заправке и при проливах за счет стекания нефтепродуктов со стенок заправочных и сливных шлангов. Сравнение полученных результатов с ПДК паров бензина и дизельного топлива в воздухе, а также нефтепродуктов в сточных водах показало превышение предельных значений. Рассмотрены известные топливораздаточные пистолеты для подачи топлива в бак автомобиля. Определено перспективное техническое решение по топливораздаточному пистолету, сливная труба которого оснащена герметичным уплотнителем с трубками для откачки паров бензина для транспортировки на обратную конденсацию. При использовании технологии на основе обратной конденсации паров топлива объемы годовых выбросов паров топлива в атмосферу и естественные потери горюче-смазочных материалов (ГСМ) снижаются в 2,5—5,5 раза.

Ключевые слова: *экологические риски, стационарный заправочный пункт, процесс обслуживания автомобилей, выбросы, концентрация, обратная конденсация паров, топливораздаточный пистолет.*

Estimation of the degree of environmentally negative impact of the operation of a stationary filling station and the search for activities in the field of reducing environmental risk in the process of servicing cars at a stationary filling station. In the course of the study, tasks were set for carrying out an estimate of emissions from a stationary fuel filling station; comparison of emission volumes with maximum permissible concentration (MPC); analysis of existing developments to reduce the negative impact on the environment of a stationary filling station with the identification of their shortcomings and advantages. The tasks were solved using sectoral emission estimation techniques; the review of existing developments was carried out on the basis of patent search materials. The annual emissions from reservoirs with petroleum products during their injection and storage, as well as from the fuel tanks of cars during their refueling, and in the spills due to the flow of oil products from the walls of filling and drain hoses were estimated. Comparison of the results obtained with the MPC of gasoline and diesel fuel vapors in the air, as well as petroleum products in waste water, showed exceedance of the limit values. Considered are the well-known fuel dispensers for supplying fuel to the vehicle's tank. A promising technical solution has been determined for a fuel dispenser, the drain pipe of which is equipped with a sealed gasket with tubes for evacuating the vapors of gasoline for transport to reverse condensation. With the use of technology based on the reverse condensation of fuel vapors, the annual emissions of fuel vapor into the atmosphere and the natural losses of fuels and lubricants (fuel) are reduced by 2.5—5.5 times.

Keywords: *environmental risks, stationary filling station, the process of servicing cars, emissions, concentration, inverse condensation of vapors, fuel dispensing gun.*

Введение

Техническая эксплуатация автомобилей должна проектироваться с учетом экологических рисков. Под экологическим риском специалистами понимается вероятность возникновения отрицательных изменений в окружающей природной среде или отдаленных неблагоприятных последствий этих изменений, возникающих вследствие отрицательного воздействия на окружающую среду [1—7].

Сложившаяся же практика показывает, по данным [8], что чаще всего критерием эффективности функционирования различных транспортных систем и их подсистем служат максимум прибыли и расширение масштабов бизнеса, а не сбалансированность и устойчивость среды обитания на основе приоритетов функциональности, ресурсосбережения, экологичности и безопасности. Как результат — проявление системных отрицательных последствий: рост потребления невозобновляемых ресурсов и вредных выбросов от автотранспортных средств, бесконтрольных неутилизируемых отходов от предприятий технического сервиса автомобилей, к которым относятся и стационарные заправочные пункты, увеличение ущерба от этих воздействий и, соответственно, рост затрат на содержание объектов автотранспортной инфраструктуры.

Как правило, оценка экологических рисков заключается в выявлении и оценке вероятности наступления событий, имеющих неблагоприятные последствия для состояния окружающей среды, здоровья населения, деятельности предприятия и вызванного загрязнением окружающей среды, невыполнением экологических требований, чрезвычайными ситуациями природного и техногенного характера [9—16].

Обслуживание автомобилей на стационарных заправочных пунктах заключается в осуществлении заправки и смазывании ГСМ. Эти процессы сопровождаются потерями топлива, масел и специальных жидкостей, которые обусловлены испарением, утечкой и проливом. Первый вид потерь наблюдается у дизельных топлив, керосинов и особенно у бензинов, второй — у всех видов топлив, масел и жидкостей [17—21]. Потери ГСМ наносят вред окружающей среде в виде загрязнения воздуха при испарении топлива. Оценка воздействия стационарного заправочного пункта на окружающую среду позволит предложить инженерное решение проблемы снижения экологического риска в процессах обслуживания автомобилей на стационарном заправочном пункте.

Цель исследования

Оценить степень экологически отрицательного влияния эксплуатации стационарного заправочного пункта и предложить мероприятия в области снижения экологического риска в процессах обслуживания автомобилей на стационарном заправочном пункте.

Поставлены следующие задачи.

1. Провести оценку выбросов от стационарного заправочного пункта автомобилей.
2. Сравнить объемы выбросов с ПДК и проанализировать полученные результаты.
3. Рассмотреть существующие разработки для снижения отрицательного воздействия на окружающую среду стационарного заправочного пункта и выявить их недостатки и достоинства.
4. Предложить инженерное решение для снижения экологических рисков в процессах обслуживания автомобилей на стационарном заправочном пункте.

Объект исследования: стационарный заправочный пункт автомобилей.

Предмет исследования: воздействие стационарного заправочного пункта на окружающую среду.

Материал и методы

Оценку выбросов от стационарного заправочного пункта автомобилей проводили по отраслевым методикам [22, 23].

Результаты оценки годовых выбросов из резервуаров с нефтепродуктами при их закачке и хранении, а также из топливных баков автомобилей при их заправке и при проливах за счет стекания нефтепродуктов со стенок заправочных и сливных шлангов [24] приведены в таблицах 1 и 2.

В результате работы стационарный заправочный пункт выделяет в год выбросы в атмосферу в объеме 2,57 т. Все полученные значения концентрации выбросов сравнивались с ПДК. Результаты представлены в табл. 3.

Концентрация максимальных разовых выбросов в атмосферу по компонентам и концентрация выбросов от испарения топлива превышают ПДК. Сравнение полученных значений концентраций паров бензина 200 мг/м^3 и дизельного топлива 300 мг/м^3; CO (0,04 мг/м^3), CH (0,1 мг/м^3), NO_x (0,085 мг/м^3), C (0,02 мг/м^3), SO_2 (0,05 мг/м^3) и Pb (0,0003 мг/м^3) в воздухе показало превышение ПДК.

Концентрация годовых выбросов от стационарного заправочного пункта в целом не пре-

Таблица 1

Годовые выбросы от стационарного заправочного пункта

Показатели	Единица измерения	Бензин	Дизельное топливо
Потребность автомобильного транспорта в топливе	$м^3$	252,6	
Потребность тракторов в топливе	$м^3$		2392,9
Всего	$м^3$	2645,5	
Годовые выбросы паровоздушной смеси при заполнении резервуаров и хранении	т/год	0,34	$2{,}8 \cdot 10^{-3}$
Годовые выбросы из баков автомобилей	т/год	0,68	$5{,}6 \cdot 10^{-3}$
Годовые выбросы при проливах для резервуаров	т/год	0,09	0,07
Годовые выбросы при проливах для топливно-раздаточных колонок	т/год	0,09	0,07
Годовые выбросы паров нефтепродуктов от топливно-раздаточных колонок при заправке	т/год	0,86	0,14
Годовые выбросы паров нефтепродуктов при сливе автоцистерн	т/год	0,13	0,09
Сумма годовых выбросов	т/год	2,19	0,38
Максимальные (разовые) выбросы паров нефтепродуктов при заполнении баков автомашин	г/с	1,07	$3{,}7 \cdot 10^{-3}$

вышает предельно допустимые значения. Однако в экологии существует правило накопления токсических веществ, в соответствии с которым вредные вещества накапливаются в окружающей среде. Следует максимально возможно свести к минимуму уровни концентраций выбросов от заправочного пункта.

Таблица 2

Концентрация годовых выбросов от стационарного заправочного пункта, мг/м^3

Концентрация выбросов в атмосферу	Бензин	Дизельное топливо
При заполнении резервуаров и хранении	102,68	0,21
Из баков автомобилей	1,41	$3 \cdot 10^{-3}$
При проливах для резервуаров	27,48	5,23
При проливах для топливно-раздаточных колонок	0,19	$4 \cdot 10^{-3}$
От топливно-раздаточных колонок при заправке	1,85	$77 \cdot 10^{-3}$
При сливе автоцистерн	38,89	17,79
Суммарное значение	172,5	23,31
Предельно допустимая концентрация (годовая)	**200**	**300**
Отклонение от ПДК	Нет	Нет

Решение вопросов снижения экологического риска в процессах обслуживания автомобилей на стационарном заправочном пункте можно осуществить при помощи разнообразных конструкций и технологий путем применения оборудования для очистки газовоздушной смеси, загрязненной парами нефтепродуктов.

Так, опыт использования понтонов показывает, что эффективность их применения колеблется в очень широких пределах — от 53,5 до 93 % [25].

Технология извлечения паров бензина из паровоздушной смеси с помощью абсорбента (дизельного топлива) с последующей десорбцией и разделением фракций летучих углеводородов имеет высокую стоимость и требует дополнительных затрат на регенерацию абсорбента [26].

Струйно-абсорбционная система улавливания легких фракций, использующая принцип сжатия паровоздушной смеси до давления 20—150 Н/см^2 и абсорбцию паров бензина охлажденным до температуры (−20...−50 °С) дизельным топливом или бензином, также имеет высокую стоимость и требует для работы значительное количество электроэнергии [26].

Технология с использованием жидкого азота для охлаждения и конденсации паровоздушной смеси требует больших эксплуатационных затрат на приобретение и доставку жидкого азота [26].

Технология, основанная на адсорбции паров бензина активированным углем и десорбции

Таблица 3

Покомпонентный состав годовых выбросов от автозаправочного пункта и сравнение с ПДК

Топливо, т/год	Углеводороды, т/год							
	Предельные		Непредельные по C_5	Ароматические				Сероводород
	C_1—C_5	C_6—C_{10}		Бензол	Толуол	Ксилол	Этилбензол	
Бензин А-92	75,47 %	18,38 %	2,50 %	2,00 %	1,45 %	0,15 %	0,05 %	—
1,33	1,00	0,25	0,03	0,03	0,02	$2\cdot10^{-3}$	$6{,}7\cdot10^{-4}$	
Бензин А-95	74,53 %	18,15 %	2,50 %	2,30 %	2,17 %	0,29 %	0,06 %	—
1,33	0,99	0,24	0,03	0,03	0,029	$3{,}9\cdot10^{-3}$	$8\cdot10^{-4}$	
Дизельное топливо	80,07 %	19,5 %	—	0,04 %	0,04 %	0,04 %	0,04 %	0,28 %
0,12	$9{,}4\cdot10^{-3}$	$2{,}3\cdot10^{-2}$	—	$4\cdot10^{-5}$	$4\cdot10^{-5}$	$4\cdot10^{-5}$	$4\cdot10^{-5}$	$3{,}3\cdot10^{-4}$

(регенерации) паров бензина при температуре +90...130 °С принудительным прогревом сорбента электрическим нагревателем не нашла широкого применения вследствие дополнительных финансовых расходов на смену фильтра, оплату электроэнергии, а также простоя во время регенерации сорбента [26].

Недостатки перечисленных систем улавливания паров бензина учтены в технологии на основе обратной конденсации паров. Данная технология обеспечивает улавливание легких углеводородов как при операциях слива—налива нефтепродуктов, так и при испарении из резервуаров [27].

Существуют разные способы налива цистерн: верхний налив под слой продукта (люк открыт, наливной шланг опущен до дна цистерны), верхний налив полуоткрытой струей (наливной шланг опущен до середины цистерны), верхний налив открытой струей (наливной шланг в верхней части цистерны) и налив в нижнюю часть цистерны при закрытом люке [26]. Самым экологичным является верхний налив под слой продукта и налив в нижнюю часть цистерны при закрытом люке.

Схема движения паров бензина по технологическим сетям от резервуаров и заправочных колонок к системе обратной конденсации и движение топлива от системы обратной конденсации к резервуарам показана на рис. 1.

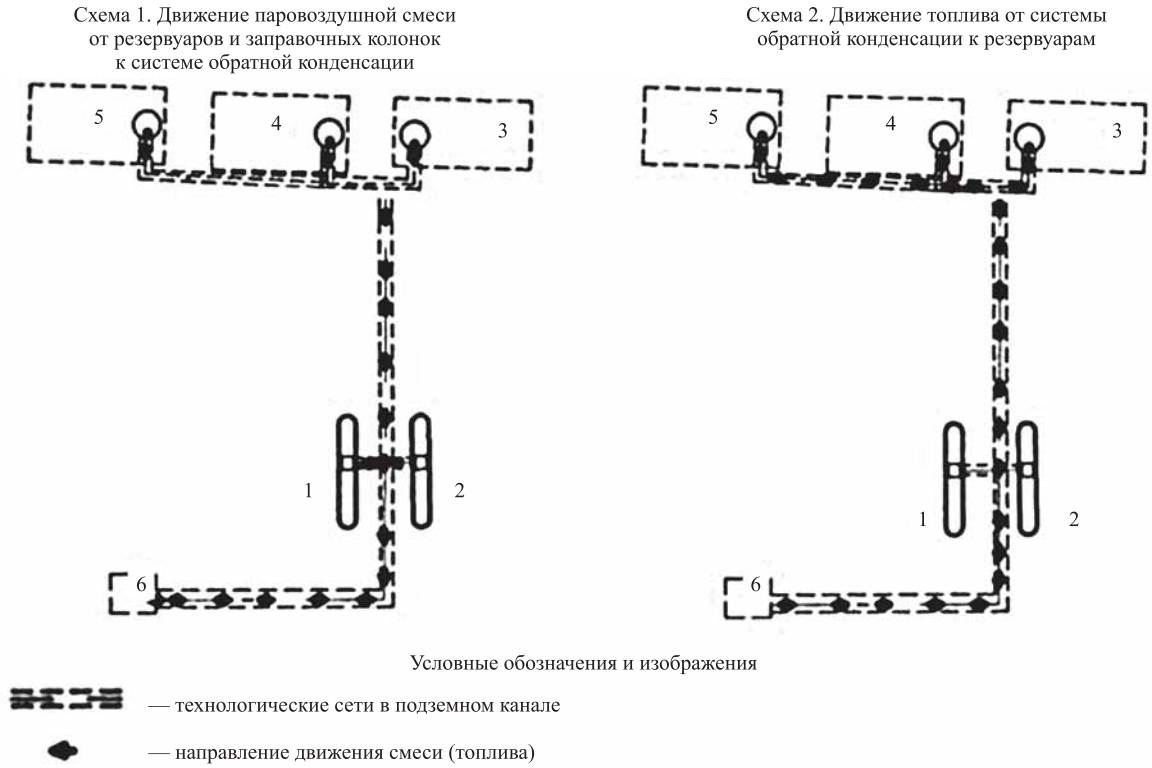
С учетом их особой роли для снижения экологических рисков при заправке автомобилей углеводородным топливом были рассмотрены известные топливораздаточные пистолеты для подачи топлива в заправляемую емкость (бак автомобиля). Недостатком пистолета РКТ-20 является необеспечение герметичности соединения с заправляемым резервуаром при наливе углеводородного топлива. Такой же недостаток характерен для пистолета А-50М. Недостатком пистолета ZVA 1.0 FS является отсутствие герметичности в соединении с заправляемым резервуаром при заправке бензином и откачке паров.

Результаты исследования и их обсуждение

На основе проведенных патентных исследований были выявлены технические решения по повышению герметичности соединения топливораздаточного пистолета с заправляемым резервуаром. Наиболее перспективным решением является защищенный патентом [28] топливораздаточный пистолет (рис. 2), сливная труба которого оснащена герметичным уплотнителем с трубками для откачки паров бензина для транспортировки на обратную конденсацию, что значительно снижает экологические риски при заправке автомобилей углеводородным топливом.

Топливораздаточный пистолет состоит из корпуса *1* с рычагом для подачи топлива *2*, топливораздаточного рукава *3*, сливной трубы крана *4* с закрепленной на нем трубкой для откачки паров бензина *5*. Кроме того, сливная труба *4* оснащена герметичным уплотнителем *6*.

Топливораздаточный кран работает следующим образом. Сливная труба крана *4* с герметичным уплотнителем *6* конусообразной формы вставляется в заправляемый резервуар *7*, рычаг для подачи топлива *2* переводится в верхнее положение, благодаря чему производится подача топлива через топливораздаточный рукав *3*, корпус *1* и сливную трубу крана *4*. При заполне-



№	Наименование	Примечание
1	Заправочная колонка	на заправочном островке
2	Заправочная колонка	на заправочном островке
3	Подземный стальной резервуар для ДТ	РСГ 10
4	Подземный стальной резервуар для ДТ	РСГ 10
5	Подземный стальной резервуар для А-80	РСГ 10
6	Система обратной конденсации паров	

Рис. 1. Схема движения паров бензина по технологическим сетям

нии резервуара сдеформированный герметичный уплотнитель *6* препятствует выходу паров бензина, которые откачиваются по трубке *5*.

Технология на основе обратной конденсации паров позволила снизить экологические риски при обслуживании автомобилей на стационарном заправочном пункте. В результате ее реализации произойдет уменьшение объемов годовых выбросов паров топлива в атмосферу и сократятся естественные потери ГСМ. На рис. 3 показано изменение объемов годовых выбросов при использовании технологии на основе обратной конденсации паров топлива.

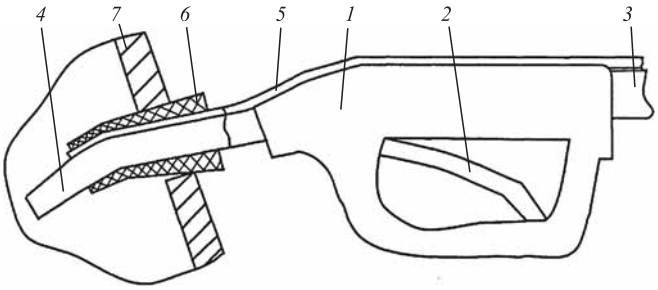


Рис. 2. Топливораздаточный пистолет по патенту [28]

Таким образом, предложенные решения для снижения экологического риска в процессах обслуживания автомобилей на стационарном заправочном пункте позволили уменьшить годовые выбросы при использовании технологии обратной конденсации паров топлива и модернизации заправочного пистолета: при заполнении резервуаров и хранении ГСМ до 0,14 т/год; от топливно-раздаточной колонки при заправке до 0,2 т/год; при сливе автоцистерн до 0,04 т/год.

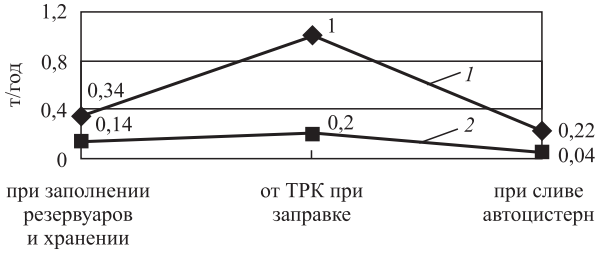


Рис. 3. Изменение объемов годовых выбросов при использовании технологии на основе обратной конденсации паров топлива:

1 — до применения экологизированной технологии; *2* — при использовании технологии с обратной конденсацией паров топлива

Выводы

1. Проведена оценка годовых выбросов от стационарного заправочного пункта автомобилей из резервуаров с нефтепродуктами при их закачке и хранении, а также из топливных баков автомобилей при их заправке и при проливах вследствие стекания нефтепродуктов со стенок заправочных и сливных шлангов заправочных колонок.

2. Сравнение полученных результатов с ПДК паров бензина 200 мг/м^3 и дизельного топлива 300 мг/м^3; CO (0,04 мг/м^3), CH (0,1 мг/м^3), NO_x (0,085 мг/м^3), C (0,02 мг/м^3), SO_2 (0,05 мг/м^3) и Pb (0,0003 мг/м^3) в воздухе, а также нефтепродуктов в сточных водах 0,1 мг/м^3 показало превышение предельных значений.

3. Рассмотрены существующие разработки для снижения отрицательного воздействия на окружающую среду стационарного заправочного пункта. Недостатки систем улавливания паров бензина учтены в технологии на основе обратной конденсации паров. Данная технология обеспечивает улавливание легких углеводородов как при операциях слива—налива нефтепродуктов, так и при испарении из резервуаров.

4. Для снижения экологических рисков в процессах обслуживания автомобилей на стационарном заправочном пункте предлагается оснастить заправочные колонки топливораздаточными пистолетами, отличающимися тем, что сливная труба оснащена герметичным уплотнителем с трубками для откачки паров бензина для транспортировки на обратную конденсацию. Объемы годовых выбросов при использовании технологии обратной конденсации паров топлива и модернизации заправочного пистолета снижаются при заполнении резервуаров и хранении ГСМ на 58,8 %; от топливно-раздаточной колонки при заправке на 80 %; при сливе автоцистерн на 81,8 %.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Башкин В. Н.** Экологические риски: расчет, управление, страхование. Учеб. пособие. — М.: Высшая школа, 2007. — 360 с.
2. **ГОСТ Р ИСО 31000—2010.** Менеджмент риска. Принципы и руководство. — М.: Стандартинформ, 2014. — 28 с.
3. **ГОСТ Р ИСО 26000—2012.** Руководство по социальной ответственности. — М.: Стандартинформ, 2014. — 128 с.
4. **Вокуева В. Н., Сергиенко О. И.** Управление социально-экологическими рисками на предприятии транспортного комплекса / Энерго- и ресурсосберегающие экологически чистые химико-технологические процессы защиты окружающей среды: Сборник материалов международная научно-техническая конференция. — 2015. — С. 297—301.
5. **Breno Nunes, David Bennett, Duncan Shaw.** Green operations strategy of a luxury car manufacturer // Technology Analysis & Strategic Management. — 2016. — Vol. 28. — Iss. 1. — P. 24—39.
6. **Meratizaman Mousa, Monadizadan Sina, Amidpour Majid.** Simulation, economic and environmental evaluations of green solar parking (refueling station) for fuel cell vehicle // Int. J. Hydrogen Enerdy. — 2014. — Vol. 39. — No. 5. — P. 2359—2373.
7. **Theerapong Sairat, Sahalaph Homwuttiwong, Kritsana Homwutthiwong, Maneerat Ongwandee.** Investigation of gasoline distributions within petrol stations: spatial and seasonal concentrations, sources, mitigation measures, and occupationally exposed symptoms // Environmental Science and Pollution Research. — 2015. — Vol. 22. — Iss. 18. — P. 13870—13880.
8. **Бакаева Н. В.** Экологические риски при обслуживании автомобилей // Мир транспорта. — 2009. — № 3. — С. 134—139.
9. **Луканин В. Н., Трофименко Ю. В.** Промышленно-транспортная экология. — М.: Высшая школа, 2001. — 274 с.
10. **Матешева А. В.** Экологические риски и их прогноз // Мир транспорта. — 2010. — № 2. С. 136—141.
11. **Методика инвентаризации выбросов** загрязняющих веществ в атмосферу для автотранспортных предприятий. — М., 1991.
12. **Гармонов К. В.** Воздействие автозаправочных станций на экологическую обстановку городской среды // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. — 2014. — Т. 2. — № 4 (17). — С. 123—126.
13. **Трофименко Ю. В., Якубович И. А.** Инженерные сооружения и экологическая безопасность предприятий автосервиса: учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки бакалавров "Эксплуатация наземного транспорта и транспортного оборудования" (профиль подготовки "Автомобильный сервис") / под ред. Ю. В. Трофименко. — М.: Академия, 2016. — 223 с.
14. **Контобойцев Е. А., Алексеев С. Г., Контобойцева М. Г., Халиков В. Д.** Аналитическая и экспериментальная оценки пожароопасных показателей жидкого моторного топлива, используемого на

автозаправочных станциях // Техносферная безопасность. — 2015. — № 2 (7). — С. 46—50.
15. **Коршак А. А.** Заправка автотранспортных средств горючими и смазочными материалами: учебное пособие для использования в учебном процессе образовательных учреждений, реализующих программы среднего профессионального образования по профессии 23.01.03 Автомеханик. — Ростов-на-Дону: Феникс, 2017. — 186 с.
16. **Желновач Г. М., Прокопенко Н. В.** Аналіз екологічних впливів та ризиків при експлуатації автозаправних станцій // Вестник ХНАДУ. — 2014. — Вып. 67. — С. 78—88.
17. **Шалай В. В.** Проектирование и эксплуатация нефтебаз и АЗС: учебное пособие. — Омск: Изд-во ОмГТУ, 2010. — 296 с.
18. **Коршак А. А., Коробков Г. Е., Муфтахов Е. М.** Нефтебазы и АЗС: учебное пособие. — Уфа: Дизайн полиграф сервис, 2006. — 416 с.
19. **Чирсков В. Г., Николаев С. Н.** Организация ремонта и технического обслуживания машин при сооружении магистральных трубопроводов. — М.: Недра, 1984. — 292 с.
20. **Кошкарев С. А., Соколова Е. В.** Анализ эффективности методов снижения выбросов паров тяжелых углеводородов АЗС с использованием результатов моделирования их рассеивания в атмосфере // Письма в международный научный журнал "Альтернативная энергетика и экология". 2014. № 1. С. 96—98.
21. **Кошкарев С. А.** Сокращение выбросов АЗС на основе моделирования их рассеивания // Международный научный журнал "Альтернативная энергетика и экология". — 2015. — № 7 (171). — С. 82—92.
22. **Методические указания** по расчету выброса вредных веществ автомобильным транспортом. — М.: Гидрометеоиздат, 1985. — 55 с.
23. **Методическое пособие** по расчету, нормированию и контролю выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух. — СПб.: НИИ Атмосфера, 2002. — 60 с.
24. **Методические указания** по определению выбросов загрязняющих веществ в атмосферу из резервуаров. Утв. приказом Госкомэкологии России от 8.04.98 № 199. — М.: Гидрометеоиздат, 1998. — 76 с.
25. **Патент на изобретение № 2029707 РФ**, МПК B63B35/34. Понтоны / Г. А. Рыданов.— № 4860839/11; заявл. 20.08.1990; опубл. 27.02.1995. Бюл. № 6.
26. **Волгушев А. Н., Сафонов А. С., Ушаков А. И.** Автозаправочные станции. Оборудование. Эксплуатация. — СПб.: ДНК, 2001. — 176 с.
27. **Система Petro Vend SiteSentinel**. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. — М.: ООО "Паритет Граф", 2010. — 90 с.
28. **Патент на полезную модель № 43007 РФ**, МПК B67D5/00. Топливораздаточный кран / Ложкина А. Ю., Севастьянов Б. В.; заявитель и патентообладатель: ГОУ ВПО "Ижевский государственный технический университет" (RU). № 2004120373/22; заявл. 09.07.2004; опубл. 27.12.2004. Бюл. № 36.

ИЗДАТЕЛЬСТВО

"ИННОВАЦИОННОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ"

принимает подписку на журнал

"ГРУЗОВИК"

ТРАНСПОРТНЫЙ КОМПЛЕКС. СПЕЦТЕХНИКА

на 2019 год

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

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

УДК 629.33.083.4

Б. А. Крамаренко, советник ректора, МАДИ

ОСОБЕННОСТИ АНАЛИЗА И СРАВНЕНИЯ ОБЩИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СОСТОЯНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ НА ДОРОГАХ

Принимая во внимание доклад Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) "О безопасности дорожного движения в мире в 2015 году", следует констатировать, что на протяжении последних пяти лет в мире наблюдается тенденция к незначительному росту числа погибших и пострадавших в результате дорожно-транспортных происшествий (ДТП). Число погибших составило 1250 тыс. человек и более 50 млн человек получили ранения различной степени тяжести.

Ключевые слова: *дорожно-транспортное происшествие, транспортное средство, дорога, транспортный риск.*

Taking into account the World Health Organization (WHO) report on Global road safety in 2015, it should be noted that over the past five years the world has seen a slight increase in the number of fatalities and Accident-affected persons. The death toll amounted to 1250 thousand. People and more than 50 million people were injured in varying degrees of severity.

Keywords: *road traffic accident, vehicle, road, transport risk.*

Этому неблагоприятному положению дел способствует ситуация, сформировавшаяся на фоне непрерывного роста мировой численности населения и безудержного роста автомобилестроения. Результатом стала громадная сумма экономического ущерба от ДТП, равная приблизительно 3 % мирового ВВП. 48 % из общего числа погибших приходится на долю пяти стран. Это Индия, Китай, Бразилия, США и Россия. Индия — на первом месте (137 572 человека погибших). Россия — на последнем месте в этой пятерке. Но это обстоятельство не очень-то и радует, хотя общие показатели безопасности дорожного движения (БДД) имеют тенденцию к снижению динамики аварийности на дорогах. По данным ГИБДД в 2017 г. в нашей стране зарегистрировано 169 432 ДТП, в которых погибло 19 088 человек, а 215 374 было ранено.

Движение на дорогах России остается небезопасным по сравнению со странами с высоким уровнем автомобилизации и экономического развития: на 100 тыс. жителей в дорожно-транспортных происшествиях в России гибнет почти в 5 раз больше человек, чем в Нидерландах, и в 2 раза больше, чем в Чехии, чей уровень автомобилизации почти в 2 раза выше российского.

Самым распространенным показателем оценки безопасности на транспорте является показатель **транспортных рисков**, исчисляемый числом погибших в расчете на 10 000 транспортных средств (ТС). В мировой практике при анализе и сравнении состояния БДД используются не абсолютные, а относительные показатели. По такому показателю, как **социальные риски**, определяют число погибших в результате ДТП из расчета на 100 000 погибших. В определении уровня состояния БДД, в частности, по километражу пробега ТС, в мировой практике используется только в незначительном ряде стран (число погибших в расчете на 1 000 000 км). В Российской Федерации такой показатель не используют и соответствующую статистику не ведут.

Отрицательным лидером социальных рисков в мире в результате ДТП являются африканские страны — 26,6. В Монако же показатель социальных рисков равен нулю! Следом идет Демократическая Республика Конго — 0,73, затем — Центральная Африканская Республика — 1,26. Отрицательными лидерами среди стран являются: Джибути — 117,99, Ливия — 70,92, Доминиканская Республика — 27,01, Саудовская Аравия — 26,57. Россия — на 160-м месте из 180 стран мира.

Общемировой показатель **транспортных рисков** равен — 3,51. По этому показателю лидер опять Монако — 0,00. Далее следуют Сан-Марино — 0,18, Андорра — 0,26, Финляндия — 0,44, Швеция — 0,45. Бразилия (5,03), Россия (5,34), Грузия (5,40) находятся в середине списка из 180 стран мира. А замыкают его Гвинея — 185,31, Сент-Люсия — 191,20 и Бенин — 202,78.

Лидеры по значениям социального риска не являются таковыми по показателям транспортных рисков. По этому показателю Демократическая Республика Конго (14,23), Центральная Африканская Республика (15,48), Сомали (33,81) занимают соответственно 136-е, 141-е и 164-е места в мировой статистике ДТП.

Как видим, величины показателей противоречивы. Их сравнение при определении безопасности дорожного движения в стране не дает объективного понимания существа происходящего события. Поэтому для более объективной оценки следует проанализировать вышеперечисленные показатели в определении уровня обеспечения безопасности дорожного движения, используя другие зависимости транспортных и социальных рисков. А прямое сравнение разных показателей для разных стран, мягко говоря, некорректно.

ПРЕСС-ТУР
ВЫСТАВКИ • КОНФЕРЕНЦИИ • ПРЕЗЕНТАЦИИ

КОНКУРС В МАДИ

Минувшей осенью МАДИ в шестой раз принял у себя учащихся московских школ в рамках конкурса "Юный автолюбитель". Участникам предлагалось в развлекательно-познавательной форме познакомиться с основами автомобилестроения, методами технического обслуживания современных автомобилей, альтернативными видами топлива.

Конкурс был проведен при поддержке Департамента образования города Москвы, Школы новых технологий, ЦТПО МАДИ, факультета АТ и кафедры "Эксплуатация автомобильного транспорта и автосервис" МАДИ. В организации конкурса приняли участие проректор по учебной работе Л. Л. Зиманов, декан факультета "Автомобильный транспорт" А. А. Солнцев, а также преподаватели и сотрудники кафедры "Эксплуатация автомобильного транспорта и автосервис".

Конкурс собрал рекордное количество школьников и проходил "по-взрослому" в два этапа. Вначале участники проходили квалификационный тур, включающий в себя теоретические тесты. В практической части ребята соревновались в скорости сборки автомобильных деталей и знании устройства автомобилей.

Несколько заданий, состоящих из викторин различной направленности и уровня сложности, помогли выявить лучшего юного автолюбителя. Им стал Илларион Носов (школа № 69). В финальном этапе за рулем спортивного автомобиля он смог проехать трассу быстрее Леонида Гражданкина (школа № 1583), в итоге занявшего второе место. Почетное третье место завоевал Марат Курашев (школа № 1223), которому не хватило нескольких очков для прохождения в финал. Призом "За волю к победе" был награжден Виктор Ярцев (школа № 185).

Все участники конкурса покидали МАДИ с новыми знаниями, яркими впечатлениями и желанием вернуться сюда еще: организаторы пообещали проведение новых этапов конкурса уже в этом году.

Остается готовиться к новым стартам в МАДИ!

1300 ГРУЗОВИКОВ FUSO

На такой объем продаж в минувшем году рассчитывала компания "ДК РУС" и добилась этого результата. Предыстория ООО "ДК РУС" такова.

В июле 2010 г. компания Mitsubishi Fuso Trucks & Bus Corporation совместно с ПАО "КАМАЗ" запустили российское производство Mitsubishi Fuso CANTER методом крупноузловой сборки. Для производства были выбраны площади Камского Индустриального Парка "Мастер" в Набережных Челнах (Республика Татарстан).

21 июня 2016 г. ООО "ФУЗО КАМАЗ Тракс Рус" и ООО "Мерседес Бенц Тракс Восток" объединились — появилась компания ООО "ДК РУС". Слияние двух компаний было обусловлено, прежде всего, снижением управленческих расходов, так как оба предприятия расположены на одной производственной площадке в Татарстане.

ООО "ДАЙМЛЕР КАМАЗ РУС" является генеральным импортером грузовой и специальной техники Fuso и Mercedes-Benz на территории России.

В минувшем году компания "ДК РУС" объявила о пуске на российском рынке новых FUSO CANTER TF. Как ранее сообщил директор по продажам и послепродажному обслуживанию грузовых автомобилей FUSO Илья Бочкарев, уже в июле 2018 г. было продано 700 грузовиков FUSO. А к концу года реализация этих грузовых машин превысила на 35 % аналогичный показатель 2017 г.

В конце 2018 г. состоялось открытие еще одного дилерского центра FUSO. Таким образом, количество партнеров FUSO в дилерской сети "ДК РУС" выросло до 45. Послепродажное обслуживание грузовиков FUSO направлено на удовлетворение всех запросов покупателей. По словам руководителя отдела послепродажного обслуживания Алексея Герасименко, уровень наличия запасных частей FUSO на складе дистрибьютора в России более 95 %. Также все дилерские центры производителя имеют базовые склады запасных частей для грузовиков. В случае отсутствия какой-либо запчасти на складах дилеров и дистрибьютора возможна оперативная авиадоставка из Японии.

Доля FUSO в сегменте японо-корейских брендов грузовиков полной массой 3,5—16 т сохраняется на уровне 2017 г. и составляет 15,9 %. Этому способствует выполнение трех основных задач, которые компания ставит перед собой в России: насыщение рынка продукцией высокого качества, постоянного повышения качества работы и обеспечения эффективного взаимодействия с бизнес-партнерами на взаимовыгодных условиях.

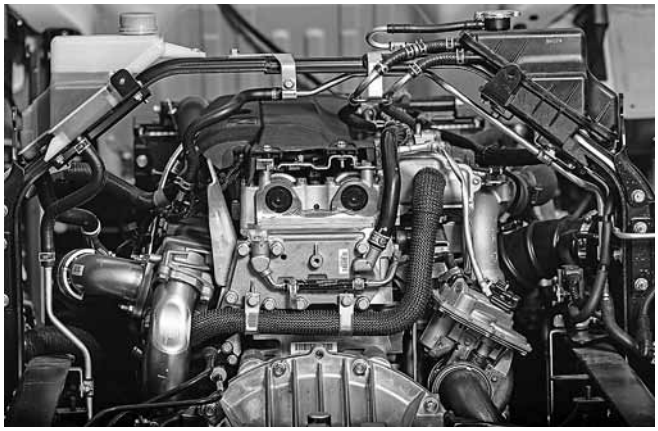
"Используя передовые технологии, опираясь на многолетний опыт компании и ориентируясь на потребности наших клиентов, мы постоянно выводим на российский рынок технологичные, производительные, комфортные для водителей автомобили высокого качества. Все модели проходят серьезные испытания и максимально адапти-

рованы к российским условиям эксплуатации", — ранее отметил Илья Бочкарев.

Новые среднетоннажные грузовики FUSO CANTER TF, продажи которых были запущены в России, таковы.

Машины доступны в двух конфигурациях: массой 7,5 т; 110 кВт/150 л. с.; крутящий момент 370 Н·м и 8,55 т; 129 кВт/175 л. с.; крутящий момент 430 Н·м. Грузоподъемность шасси увеличена до 6 т. Автомобили оснащены трехлитровыми дизельными двигателями экологического класса Евро 5, позволяющими снизить расход топлива до 15 %. Это влияет на экономическую эффективность при эксплуатации транспортного средства и на общую стоимость владения грузовиком.

FUSO CANTER TF характеризуется топливной экономичностью, повышенной комфортностью и является одним из самых безопасных грузовиков в своем классе, поскольку имеет инновационную конструкцию кабины FUSO RISE, а также антиблокировочную систему тормозов, опцию электронного контроля распределения тормозных усилий и систему контроля курсовой устойчивости.



"Именно поэтому компания делает покупателям новых машин привлекательное предложение — гарантию на три года или 200 000 км пробега, — рассказал руководитель отдела по продукту и маркетингу FUSO Евгений Савельев. — Мы уверены, что благодаря своим качествам грузовики FUSO CANTER TF будут востребованы на российском рынке".

ООО "ДК РУС"

ЧЕТРА Т11 ПОМОЖЕТ

Парк спецтехники АО "Дорэкс" пополнился отечественным бульдозером ЧЕТРА Т11. Новая машина будет задействована круглогодично в работах по содержанию улично-дорожной сети города Чебоксары.

Бульдозер ЧЕТРА Т11 оснащен производительным и надежным отечественным дизелем ЯМЗ мощностью 185 л. с., который обеспечивает машине повышенные тяговые свойства при работе, в том числе на снежных свалках, а также при заготовке песчано-соляной смеси.

В техническом обслуживании ЧЕТРА Т11 удобен благодаря модульной конструкции всех узлов и систем машины — ходовой, трансмиссии, охлаждения, рабочего оборудования, кабины и управления. Такое конструкторское решение гарантирует ЧЕТРА Т11 простое и удобное обслуживание при проверке и дозаправке, а также, в случае необходимости, дает возможность снять и установить узлы и силовые передачи отдельными модулями.

Бульдозер также отличается высокой маневренностью, которая достигнута с помощью электрогидравлического управления трансмиссией, реализованного, в свою очередь, при помощи контроллера и пульта в кабине оператора.

Инженеры предусмотрели и комфортные условия работы оператора: микроклимат в кабинах, оснащенных двойными стеклопакетами, обеспечивают кондиционер, а также зависимый и независимый отопители. Кроме того, бульдозер опционально может быть оснащен системой нивелирования, вся техника в стандартной комплектации оснащается системой онлайн-мониторинга на базе ГЛОНАСС.

ООО "ПК "ЧАЗ"

Художественный редактор *Д. С. Рыбакова*. Технический редактор *Е. М. Патрушева*. Корректор *Е. В. Комиссарова*
Сдано в набор 20.02.2018. Подписано в печать 11.03.2019. Формат 60 × 88 1/8. Усл. печ. л. 5,88.
Отпечатано в ООО "Канцлер", 150008, г. Ярославль, ул. Клубная, д. 4, кв. 49.
Оригинал-макет: ООО "Адвансед солюшнз". 119071, г. Москва, Ленинский пр-т, д. 19, стр. 1. Сайт: **www.aov.ru**