I DY30BIK

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

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

Редакционный совет

д-р техн. наук, проф.

д-р пед. наук, канд. техн. наук

Я.Е. Карповский (г. Минск)

А.Н. Ременцов,

Корпункт:

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

Н.Д. Чайнов,

д-р техн. наук, проф.















HOMEPE:

Конструкция

- Марков В. А., Савельев М. А. Топливная система и экологические показатели дизеля
- Фасхиев Х. А., Павленко П. Д. Нагруженность несущих деталей переднего управляемого моста полноприводного автомобиля

Исследования. Расчет

- Гайдар С. М., Тайсаев К. К., Карелина М. Ю., Жигарев В. Д. Экспериментальные исследования по регулированию фракционного состава тугоплавких порошковых СВСпродуктов
- Козловский В. Н., Новикова А. П. Особенности перспективной системы контроля сопротивления изоляции автономных транспортных объектов

Городской пассажирский наземный транспорт

Максимов В. А., Гребенюк В. В., Исмаилов Р. И., Максимов П. В. Использование бортового диагностического комплекса для оценки сложности маршрута движения городских автобусов

Практика

- Зорин В. А., Ким К. Ю. Применение двухэтапного подхода к оценке рисковлегковых автомобилей с учетом условий эксплуатации (на примере эксплуатации в РФ)
- Дунаев А. В., Шмелев С. А., Дворцов А. И. Контроль за расходом топлива автотракторных двигателей внутреннего сгорания

Транспортный комплекс

Кочетков А. В., Федотов П. В., Талалай В. В., Талалай М. В. Естественный гармонический анализ

Безопасность

- Постолит А. В., Прушак А. Л. Мониторинг профиля водительского поведения — как инструмент влияния на показатели аварийности и экономичности транспортных предприятий
- Крамаренко Б. А. Технадзор допуск транспортных средств к технической эксплуатации

Адрес издательства

Тел. (499) 269-48-96

Адрес редакции:

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

107076. Москва. Колодезный пер., дом 2-а, стр. 12

E-mail: gruzovik@mashin.ru; http://www.mashin.ru

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор). Регистрационный номер ПИ № ФС 77-63955 от 09.12.2015 г.

Подписной индекс: по каталогу "Роспечать" 373409, по объединенному каталогу "Пресса России" 39799, по каталогу "Почта России" 25782

ООО «Издательство «Инновационное машиностроение», "Грузовик", 2016

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



Журнал входит в Перечень утвержденных ВАК РФ изданий для публикации трудов соискателей ученых степеней http://perechen.vak2.ed.gov.ru/ Система Российского индекса научного цитирования www.elibrary.ru. Пятилетний импакт-фактор РИНЦ 2015 г. — 0,208. Место в рейтинге SCIENCE INDEX за 2014 г. по тематике "Транспорт" — 11; по тематике "Машиностроение" — 44. http://elibrary.ru/title_about.asp?id = 9777 Информация на сайте "Autotransportnik.ru"

Truck

9 2016

SCIENTIFIC-TECHNICAL AND INDUSTRIAL MAGAZINE

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

Editorial council

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



0000















CONTENTS:

Design

- Markov V. A., Savel'jev M. A. Fuel System and Ecological Parameters of Diesel Engine
- Faskhiev Kh. A., Pavlenko P. D. Loading of the bearing details of the forward operated all-wheel-drive vehicle car bridge

Research. Calculation

- Gajdar S. M., Tajsaev K. K., Karelina M. Yu., Zhigarev V. D. Experimental researches in the field of regulating fractional content of refractory powder self-propagating high-temperature synthesis products
- 18 Kozlovskiy V. N., Novikova A. P. Features promising insulation monitoring system of autonomous transport objects

Public passenger land transport

Maksimov V. A., Grebenyuk V. V., Ismailov R. I., Maksimov P. V. Using the on-Board diagnostic system to evaluate the complexity of the route of movement of buses

Practice

- **27** *Zorin V. A., Kim K. Yu.* Use a two-phase approach to evaluate car riskovlegkovyh taking into account the operating conditions (for example, exploitation in Russia)
- **31** *Dunaev A. V., Shmelev A. S., Dvortsov A. I.* The control of fuel consumption of the internal combustion engine avtotraktornykh

Transportation complex

37 Kochetkov A. V., Fedotov P. V., Talalay V. V., Talalay M. V. Natural Harmonic Analysis

Security

- 44 Postolit A. V., Prušak A. L. Drivers Behavior profile monitoring perfect tool for incident rate and transportation costs decrease
- *Kramarenko B. A.* Tekhnadzor admitting of transport vehicles to technical exploitation

Address of publishing house

Correspondent's office:

Ph. (499) 269-48-96

http://www.mashin.ru

Ya.E. Karpovsky (Minsk)

Address of the editorial office:

107076, Kolodezny Lane, house 2, 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 PL number ES77, 63955

107076, Moscow, Kolodezny Lane, house 2, str. 12

E-mail: qnizovik@mashin.ru: snp748@vandex.ru

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

Subscription index:

according to the catalog "Rospechat" 373409, according to the integrated catalog "Press of Russia" 39799, according to the catalog "Russian Post" 25782

JSC Innovatsionnoye mashinostroyeniye Publishing House, "Truck", 2016

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.



The journal is included in the list approved by the WAC RF publishers for publications of papers candidates degrees http://perechen.vak2.ed.gov.ru/
System of Russian Science Citation Index www.elibrary.ru.
Five-year impact factor INDEX 2015 — 0.208.
Place in rating of SCIENCE INDEX for 2014, on the theme "Transport" — 11; on the theme of "Engineering" is 44.

http://elibrary.ru/title_about.asp?id=9777
Information on the site "Autotransportnik.ru"

УДК 621.436

В. А. Марков, д-р техн. наук, профессор, Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана (МГТУ), **М. А. Савельев,** канд. техн. наук, Рязанское высшее воздушно-десантное командное училище (РВВДКУ) имени генерала армии В. Ф. Маргелова E-mail: vladimir.markov58@yandex.ru

ТОПЛИВНАЯ СИСТЕМА И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДИЗЕЛЯ

Рассмотрены способы снижения выбросов токсичных компонентов отработавших газов. Представлен метод улучшения показателей токсичности отработавших газов дизелей.

Ключевые слова: дизельный двигатель, системы топливоподачи, процесс топливоподачи, характеристики токсичности отработавших газов.

Ways of exhaust gases toxic components content reduction have been considered. Method of improving exhaust gases toxicity evaluation parameters of diesel engines is presented.

Keywords: diesel engine, fuel systems, fuel injection process, exhaust gases toxicity characteristics.

Наряду с преимуществами, которые обеспечивает развитая городская транспортная сеть, ее работа сопровождается отрицательным воздействием на окружающую среду [1, 2]. В крупных городах России на долю выбросов вредных веществ с отработавшими газами (ОГ) двигателей городского автотранспорта приходится 60—80 % общего выброса вредных веществ в атмосферу [3]. Доля автомобильного транспорта в выбросе вредных веществ составляет в США 60,6%, в Англии — 33,5%, во Франции — 32%. Загрязняют окружающую среду и вредные выбросы автотракторных двигателей, используемых в сельскохозяйственной технике. Эти выбросы сокращают урожайность (до 25 %), снижают качество сельскохозяйственных культур (картофеля, подсолнуха, зерновых), особенно в придорожной зоне крупных автомагистралей, и приводят к серьезным заболеваниям сельскохозяйственных животных. Поэтому наряду с улучшением экономических показателей дизелей снижение токсичности их ОГ является важнейшей задачей.

В современном мировом энергетическом балансе двигатели внутреннего сгорания занимают первое место как в количественном отношении, так и по объемам вырабатываемой мощности. Современный этап развития двигателестроения характеризуется увеличением потребления нефтяных топлив, дефицитом качественных нефтепродуктов и ухудшением экологической обстановки, вызванным быстрым ростом количества различных транспортных средств.

При эксплуатации на территории Российской Федерации ежегодно сжигается около 110—115 млн т топлива и 12—15 млн т смазочного масла [4]. С отработавшими газами в атмосферу выбрасывается около 30 млн т вредных веществ, в том числе до 15 млн т моно-

оксида углерода СО, 12 млн т оксидов азота NO_x , 2 млн т несгоревших углеводородов CH_x , 1 млн т сажи (углерода С) и $2 \cdot 10^{12}$ МДж тепловой энергии. При этом одним из главных потребителей моторных топлив продолжает оставаться автомобильный транспорт. Он потребляет 56,5 % всех моторных топлив, сжигаемых в различных транспортных средствах, и выбрасывает в атмосферу 71,3 % всех вредных веществ, выделяемых наземным, водным и воздушным транспортом (1) [4]. Поэтому все более актуальной становится проблема снижения выбросов в атмосферу токсичных компонентов ОГ двигателей внутреннего сгорания (таблица).

Анализ состояния парка автомобильной техники показывает, что в настоящее время до 67 % колесных машин и 96 % гусеничных машин комплектуется дизельными двигателями [3]. Проведенный анализ экологических показателей отечественных двигателей внутреннего сгорания различного назначения свидетельствует о необходимости внедрения в отечественное двигателестроение методов и средств снижения токсичности ОГ. Применительно к дизельным двигателям разработка мероприятий по уменьшению токсичности ОГ может проводиться по следующим направлениям (рис. 1) [5—7].

- 1. Совершенствование конструкции двигателя.
- 2. Учет эксплуатационных факторов.
- 3. Применение нетрадиционных топлив.

Конструкция двигателя в значительной степени предопределяет токсичность его ОГ. К наиболее значимым конструктивным факторам следует отнести способ смесеобразования и тип камеры сгорания (КС), рабочий объем цилиндра и степень сжатия, уровень форсирования двигателя, параметры воз-

Потребление топлива и вредные выбросы видов транспорта

Вид транспорта	Установлен-		бление лива	Выбросы в атмосферу	
вид гранспорта	ная мощ- ность, %	%	млн т	%	млн т
Автомобильный транспорт	50,0	56,5	65,0	71,3	21,7
Железнодорожный транспорт	16,0	11,0	12,6	6,3	1,9
Речной флот	8,0	5,9	6,8	2,6	0,8
Строительно-дорожные машины	4,0	1,9	2,2	1,3	0,4
Сельскохозяйственные и лесопромышленные машины	20,0	23,5	27,0	17,8	5,4
Авиация	2,0	1,2	1,4	0,7	0,2
Всего	100,0	100,0	115,0	100,0	30,4

душного заряда и системы охлаждения, конструкцию систем топливоподачи, воздухоснабжения, газораспределения, рециркуляции ОГ, наличие устройств и систем очистки ОГ. Не менее значимым фактором влияния на экологические показатели дизелей являются законы управления параметрами дизеля (цикловой подачей топлива, углом опережения впрыскивания топлива (УОВТ), законом подачи топлива, давлением впрыскивания, давлением наддувочного воздуха, фазами газораспределения, рециркуляцией ОГ и др.),

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА СНИЖЕНИЯ ТОКСИЧНОСТИ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ ДИЗЕЛЕЙ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЕ учет У ЧЕ І ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ФАКТОРОВ НЕТРАДИЦИОННЫХ ДВИГАТЕЛЯ топлив Оптимизация Оптимизация Работа дизеля смесеобразования режимов работы на облегченных и камеры сгорания двигателя нефтяных топливах Поддержание Выбор рабочего Применение жидтехнического объема и степени ких альтернативсостояния лизеля сжатия ных топпив Учет уровня Учет факторов Работа дизеля на форсирования дизеля окружающей среды газовых топливах Выбор параметров Улучшение качества Подача воды воздушного заряда моторного масла в цилиндры дизеля и системы охлаждения Оптимизация про-Упучшение качества песса топливоподачи моторного топлива Совершенствование систем возлухоснабжения, газораспределения. рециркуляции ОГ Рис. 1. Схема основных методов Применение и средств снижения токсичности систем очистки ОГ ОГ дизельных двигателей

формируемые перечисленными системами двигателя. Изменение и корректировка этих законов управления возможны при оснащении двигателей электронными системами управления и регулирования.

При оптимизации перечисленных конструктивных факторов и законов управления параметрами обеспечивается улучшение качества рабочего процесса в широком диапазоне режимов работы двигателя и снижение токсичности его ОГ. Снижение вредных выбросов достигается и при установке

в выпускной системе дополнительных технических средств, обеспечивающих физико-химическую очистку ОГ. К этому направлению снижения токсичности ОГ относится применение нейтрализаторов и фильтров различной конструкции. Указанный метод снижения вредных выбросов заключается в очистке ОГ дизелей от уже образовавшихся токсичных компонентов. С помощью этих устройств удается значительно снизить выбросы продуктов неполного сгорания топлива — монооксида углерода, углеводородов, твердых частиц (сажи). Применяются и восстановительные нейтрализаторы, эффективные при очистке ОГ от наиболее значимых газообразных токсичных компонентов ОГ — оксидов азота.

Улучшение экологических показателей дизелей путем совершенствования их конструкции возможно только на стадии создания новых двигателей. Существенным резервом улучшения названных показателей является и учет эксплуатационных факторов, среди которых можно отметить режимы работы двигателя, техническое состояние дизеля и факторы окружающей среды, качество моторного масла и его расход на угар, качество применяемого топлива. Этот учет также может быть обеспечен с использованием различных систем автоматического регулирования и управления (САР и САУ) параметрами двигателя [8]. В этом случае применение САР и САУ позволяет существенно улучшить экологические показатели дизелей путем обеспечения их работы на оптимальных режимах, диагностики технического состояния двигателя, корректирования законов управления в зависимости от параметров окружающего воздуха и свойств применяемого топлива. Снижение токсичности ОГ может быть достигнуто и при использовании различных альтернативных топлив.

Таким образом, на экологические показатели дизельного двигателя влияет множество факторов, показанных на рис. 2, наиболее значимым из которых является состояние топливной аппаратуры (TA) [3].

Значительное влияние топливной аппаратуры на экологические, а также экономические показатели дизеля объясняется тем, что процессы топливоподачи, распыливания и смесеобразования в значительной степени предопределяют характер протекания последующего процесса сгорания. Кроме того, основная масса токсичных компонентов представляет собой продукты сгорания топлива. Для решения задачи снижения токсичности ОГ необходимо обеспечить оптимальное значение коэффициента избытка воздуха на данном режиме, высокое давление впрыскивания топлива, позволяющее повысить качество распыливания топлива (или применить другие способы улучшения распыливания). Необходимо организовать управление УОВТ, позволяющее обеспечить требуемую задержку начала впрыскивания на каждом эксплуатационном режиме, и управление законом подачи топлива путем изменения расхода топлива через распылитель. В ряде случаев целесообразно многоразовое (многостадийной) впрыскивание, при котором реализуется предварительное впрыскивание небольшой дозы топлива. Каждое из этих мероприятий имеет свои преимущества и недостатки (рис. 3) [5]. Вместе с тем, возможно нахождение компромиссных решений при совместной реализации этих мероприятий и использовании ряда других технических решений (организация рециркуляции ОГ, управление параметрами системы воздухоснабжения и др.).

Таким образом, от эффективности работы топливной аппаратуры зависят основные показатели дизельного двигателя — показатели токсичности

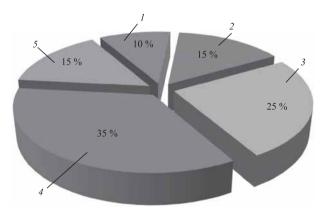


Рис. 2. Диаграмма влияния различных факторов на экологические показатели дизелей:

1 — состояние цилиндро-поршневой группы; 2 — состояние клапанного механизма; 3 — качество топлива; 4 — состояние топливной аппаратуры; 5 — прочие факторы

ОГ и топливной экономичности, мощностные и экономические показатели работы двигателя, его надежность и уровень создаваемого шума. Высокая технико-экономическая эффективность дизеля достигается только в том случае, если топливная аппаратура обеспечивает следующие функции.

- 1. Обеспечение одинаковой подачи топлива во все цилиндры дизеля на всех скоростных и нагрузочных режимах (уменьшение неравномерности подачи топлива по цилиндрам).
- 2. Подача топлива в камеру сгорания в определенный момент (обеспечение требуемого угла опережения впрыскивания топлива).
- 3. Подача топлива в течение заданного промежутка времени с определенной интенсивностью (обеспечение требуемого закона подачи топлива).
- 4. Создание высокого давления в системе топливоподачи (эта функция топливной аппаратуры обеспечивает, с одной стороны, требуемую интенсивность топливоподачи и сокращение времени подачи топлива, а с другой стороны требуемые характеристики распыливания топлива и смесеобразования).
- 5. Хорошее распыливание и равномерное распределение топлива по объему камеры сгорания (эта функция обеспечивается путем не только совершенствования системы топливоподачи, но и путем организации движения воздушного заряда в камере сгорания с заданными параметрами).

Все эти требования реализуются за счет оптимизации целого комплекса параметров топливоподачи, отображаемых графически на характеристике впрыскивания (рис. 4), среди которых: цикловая подача $q_{\rm II}$, продолжительность впрыскивания $\phi_{\rm B}$, максимальное давление впрыскивания $P_{\rm \Phi\ max}$, среднее давление впрыскивания $P_{\rm \Phi\ cp}$ и другие. Кроме того, на

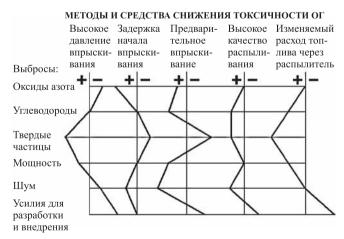


Рис. 3. Влияние различных технических решений на показатели дизеля:

"+" — положительное влияние; "-" — отрицательное влияние

экологические и экономические показатели дизельного двигателя также влияют угол опережения впрыскивания топлива, скорость нарастания давления $dP/d\varphi$, а также наличие подвпрыскиваний.

Экологические и экономические показатели двигателя можно повысить путем воздействия на эти параметры топливоподачи. Это объясняется следующими факторами.

Выбросы нормируемых токсичных компонентов ОГ сильно зависят от УОВТ.

Это обусловлено тем, что при уменьшении УОВТ снижаются максимальные температуры сгорания и время, отводимое на процессы окисления продуктов сгорания. Поэтому с уменьшением УОВТ эмиссия NO_x снижается, а выбросы CO, CH_x , C, как правило, увеличиваются. При работе на номинальном режиме наибольшее влияние УОВТ оказывает на концентрации в ОГ оксидов азота и сажи. Изменение УОВТ на этом режиме на 1° поворота коленчатого вала (п.к.в.) приводит к изменению эмиссий NO_x и C на величину от 5 до 10% [5].

Устранение явления подвпрыскивания обеспечивает максимальную эффективность сгорания топлива, следовательно, уменьшает дымность, другие показатели токсичности ОГ и нагарообразование, повышает топливную экономичность двигателя.

Сокращение продолжительности впрыскивания улучшает эффективность сгорания топлива и на форсированных режимах снижает дымность и токсичность ОГ [5]. Для более полного сгорания топлива продолжительность впрыскивания топлива в цилиндр должна составлять от 16 до 28° п.к.в. (в зависимости от частоты вращения коленчатого вала и цикловой подачи топлива).

Рис. 4. Характеристики впрыскивания топлива топливоподающей системы разделенного типа с кулачковым приводом:

a — дифференциальная характеристика впрыскивания; δ — интегральная характеристика, ϵ — характеристика давления топлива перед распыливающими отверстиями форсунки (характеристика давления впрыскивания)

Чрезмерное повышение максимального давления впрыскивания приводит к превышению необходимой дальнобойности топливного факела. В результате часть топлива попадает на стенки камеры сгорания, что приводит к некачественному сгоранию топлива в пристеночном слое. С другой стороны, повышенная дисперсность распыливания топлива, вызванная высоким давлением впрыскивания, приводит к повышенной скорости горения в остальном объеме камеры сгорания, что вызывает увеличение эмиссии NO_{χ} и повышение жесткости работы дизеля.

Увеличение среднего давления впрыскивания, напротив, обеспечивает равномерность распределения топлива по всему объему камеры сгорания и снижает выбросы NO_x, CO и уровень шума [5].

Таким образом, анализ влияния параметров впрыскивания на экологические показатели работы дизельного двигателя показывает, что для оптимизации процесса топливоподачи необходимо на каждом скоростном и нагрузочном режимах ликвидировать явление подвпрыскивания и обеспечить П-образную форму характеристики впрыскивания при сохранении цикловой подачи и угла опережения впрыскивания топлива. Для оценки качества процесса топливоподачи в качестве основного критерия оптимизации целесообразно выбрать отношение $P_{\Phi \text{ ср}}/P_{\Phi \text{ max}} \rightarrow 1$ (т. е. необходимо обеспечить стремление к равенству $P_{\Phi \text{ ср}} = P_{\Phi \text{ max}}$).

Решение поставленной задачи возможно совместным применением в топливной аппаратуре (ТА) разделенного типа (с топливным насосом высокого давления — ТНВД, нагнетательными топливопроводами и форсунками) электронного регулирования начального давления $P_{\text{нач}}$ в нагнетательной магистрали с гидродемпфированием волновых процессов [5, 9]. Харак-

теристика впрыскивания, формируемая такой топливной системой с увеличенным начальным давлением, показана на рис. 5 и демонстрирует следующие преимущества:

— увеличение максимального давления впрыскивания $P_{\Phi \, \text{max}}$ вследствие увеличения начального давления в нагнетательной магистрали системы топливоподачи (на величину $\Delta P_{\text{нач}}$ благодаря использованию топливной системы с регулируемым начальным давлением — РНД); это положительно влияет на равномерность распределе-

ния топливо по объему камеры сгорания на режимах с малыми и средними частотой вращения коленчатого вала и нагрузкой;

- увеличение среднего давления впрыскивания $P_{\Phi \ cp}$ путем увеличения начального давления (на величину $\Delta P_{\rm Hau}$), а также увеличения максимального давления впрыскивания вследствие большей крутизны фронтов нарастания и падения давления;
- ликвидация явления подвпрыскивания путем применения гидродемпфирования;
- обеспечение равномерности и стабильности подачи топлива на всех режимах путем создания единого по величине начального давления во всех трубопроводах высокого давления;
- обеспечение многопараметрового корректирования процесса топливоподачи электронным управлением начальным давлением с целью оптимизации параметров топливных струй с учетом параметров воздушного заряда, теплового состояния двигателя и параметров окружающей среды.

Данные преимущества комплексного влияния на процесс топливоподачи, способного обеспечить высокие экологические показатели дизеля с топливной аппаратурой разделенного типа, могут быть реализованы выполнением топливной аппаратуры по схеме, показанной на рис. 6 [8].

В заключение необходимо отметить, что рассмотренный способ улучшения экологических показате-

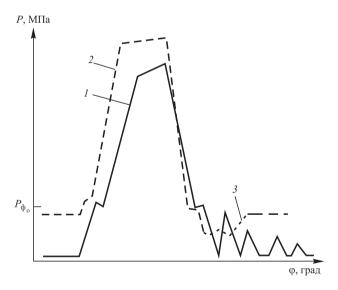


Рис. 5. Штатная и оптимизированная характеристики впрыскивания TA разделенного типа:

I — характеристика впрыскивания, формируемая штатной ТА; 2 — участок характеристики впрыскивания, формируемый ТА с системой РНД; 3 — участок характеристики впрыскивания, формируемый демпфером волновых явлений; P — давление перед распыливающими отверстиями форсунки; $P_{\phi 0}$ — давление начала подъема иглы форсунки; φ — угол поворота кулачкового вала топливного насоса высокого давления (ТНВД)

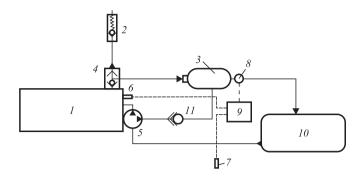


Рис. 6. Схема топливной аппаратуры разделенного типа дизеля с электронным корректированием начального давления в нагнетательной магистрали:

 $1-{
m THBД};\,2-{
m форсунка};\,3-{
m гидроаккумулятор};\,4-{
m нагнетательный клапан двойного действия};\,5-{
m топливоподкачивающий насос двойного действия};\,6-{
m датчик положения рейки ТНВД};\,7-{
m датчик частоты вращения коленчатого вала};\,8-{
m электромагнитный клапан};\,9-{
m электронный блок управления};\,10-{
m топливный бак};\,11-{
m нагнетательный клапан}$

лей дизелей отличается простотой реализации и эффективностью как на установившихся, так и на неустановившихся режимах работы дизелей. Этот способ может быть реализован как в уже эксплуатируемых двигателях, так и во вновь проектируемых дизелях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1. **Ипатов А. А.** Автотранспорт и экология мегаполисов / А. А. Ипатов, В. Ф. Кутенев, В. А. Лукшо и др. М.: Экология машиностроения, 2011. 252 с.
- Гук Г. А. Воздействие автотранспортного комплекса на экологию [Текст] / Г. А. Гук, А. В. Богачев. — Майкоп, 2007. — 111 с.
- 3. **Амбарцумян В. В.** Экологическая безопасность автомобильного транспорта [Текст] / В. В. Амбарцумян, В. Б. Носов, В. И. Тагасов. М.: ООО Издательство "Научтехлитиздат", 1999. 205 с.
- Новиков Л. А. Технологии снижения вредных выбросов тепловозов [текст] / Л. А. Новиков // Двигателестроение. — 1997. — № 1—2. — С. 49—51.
- 5. **Марков В. А.** Токсичность отработавших газов дизелей: Учебник для вузов [Текст] / В. А. Марков, Р. М. Баширов, И. И. Габитов. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002. 376 с.
- 6. **Кульчицкий А. Р.** Токсичность автомобильных и тракторных двигателей [Текст] / А. Р. Кульчицкий. Владимир: Изд-во Владимирского государственного университета, 2000. 256 с.
- 7. **Горбунов В. В.** Токсичность двигателей внутреннего сгорания [Текст] / В. В. Горбунов, Н. Н. Патрахальцев. М.: Изд-во Российского университета дружбы народов, 1998. 216 с.
- 8. **Грехов Л. В.** Системы топливоподачи и управления дизелей: Учебник для вузов. Второе издание [Текст] / Л. В. Грехов, Н. А. Иващенко, В. А. Марков. М.: Издво "Легион-Автодата", 2005. 344 с.
- Патрахальцев Н. Н. Дизельные системы топливоподачи с регулированием начального давления [Текст] / Н. Н. Патрахальцев // Двигателестроение. 1980. № 10. С. 33—37.

УДК 629.113

Х. А. Фасхиев, д-р техн. наук, профессор, Уфимский государственный авиационный технический университет, e-mail: faskhiev@mail.ru, **П. Д. Павленко,** д-р техн. наук, ПАО "КАМАЗ"

НАГРУЖЕННОСТЬ НЕСУЩИХ ДЕТАЛЕЙ ПЕРЕДНЕГО УПРАВЛЯЕМОГО МОСТА ПОЛНОПРИВОДНОГО АВТОМОБИЛЯ

Приведены результаты исследований напряженно-деформированного состояния несущих деталей картера ведущего управляемого моста полноприводного автомобиля в стендовых и дорожных условиях, установлены наиболее нагруженные участки деталей, определяющих надежность агрегата. Полученные результаты исследований могут быть приняты как нормы прочности и усталостной долговечности несущих деталей ведущих управляемых мостов грузовых автомобилей.

Ключевые слова: полноприводный автомобиль, ведущий управляемый мост, картер, шаровая опора, прочность, усталостная долговечность, стендовые испытания, нагруженность, напряжение.

Results of researches of the intense deformed condition of the bearing details of a case of the leading operated bridge of the all-wheel drive car are given in bench and road conditions, the most loaded sites of the details defining reliability of the unit are established. The received results of researches can be accepted as norm of durability and fatigue durability of the bearing details of the leading operated bridges of trucks.

Keywords: the all-wheel drive car conducting the operated bridge, a case, a spherical support, durability, fatigue durability, bench tests, loading, tension.

Потребительские свойства полноприводных автомобилей в существенной степени определяются надежностью и материалоемкостью его узлов и агрегатов. При этом особо высокие требования предъявляются к несущим деталям, т.к. они подвергаются большим динамическим нагрузкам при движении автомобиля, особенно в условиях бездорожья. Для проектирования рациональных несущих деталей по критериям надежности и материалоемкости необходимо определять действительные или близкие к ним значения напряжений и деформаций этих деталей, возникающих в условиях эксплуатации. Сложность геометрической формы большинства несущих деталей и их напряженно-деформированных состояний делает недостаточным решение задач обеспечения надежности только путем расчета, требует проведения тщательных измерений деформаций в опасных зонах натурных конструкций в условиях стендовых и эксплуатационных испытаний. В связи с этим при доводке несущих конструкций автомобиля проводится круг исследований с целью установления расчетных нагрузочных режимов и изучения картины напряженно-деформированного состояния деталей, которые необходимы для оценки их статической прочности и усталостной долговечности. Только на основе комплексного исследования в дорожных и

стендовых условиях может быть создана рациональная конструкция, наиболее полно соответствующая требованиям эксплуатации и производства.

Объект исследования — картеры ведущих управляемых мостов — является одной из самых тяжело нагруженных несущих деталей ходовой части полноприводных автомобилей. Они должны обладать высокой жесткостью, ограничивающей величину возникающих в эксплуатации упругих деформаций, исключающую появление остаточных деформаций, высокой статической и усталостной прочностью, характеризуемой способностью выдерживать не только эпизодические ударные нагрузки, но и длительное воздействие переменных во времени напряжений, которые вызывают усталость металла.

В начальный период освоения производства полноприводных автомобилей КАМАЗ с грузоподъемностью 6 т в эксплуатации наблюдались поломки картеров передних мостов отдельных автомобилей, были случаи разрушений шаровых опор поворотных цапф переднего моста. Средняя долговечность картеров автомобилей, эксплуатировавшихся в тяжелых условиях Крайнего Севера и Западной Сибири, была меньше пробега автомобиля до капитального ремонта. Для повышения надежности картеров возникла необходимость изучения их эксплуатационной

нагруженности, так как нагруженность несущих деталей ведущих управляемых мостов полноприводных автомобилей изучена еще недостаточно, в литературе мало информации, необходимой для разработки рациональных конструкций несущих деталей мостов, нет обоснованных норм их прочности и долговечности, не до конца выяснены вопросы использования результатов полигонных и стендовых испытаний при доводке конструкций. Вопрос усложняется еще и тем, что имеются некоторые противоречия между результатами стендовых и полигонных испытаний. Так, при стендовых циклических испытаниях разрушение шаровых опор происходит раньше, чем картеров мостов, а в эксплуатации, наоборот, поломки шаровых опор встречаются крайне редко.

Целью данной работы является выявление наиболее высоконагруженных зон картера и шаровых опор переднего управляемого моста полноприводного автомобиля в стендовых и дорожных условиях, разработка рекомендаций по улучшению их конструкции, а также обобщение опыта исследования деталей мостов автомобиля в сочетании стендовых испытаний с дорожными.

Используемые в настоящее время методы определения и повышения ресурса деталей и узлов автомобилей, основанные на сборе и обработке информации об их работоспособности в период доводки автомобилей на полигоне и в эксплуатации, требуют значительного времени. Отставание поступающей информации о работоспособности в эксплуатации деталей автомобиля сдерживает разработку и внедрение мероприятий по повышению их надежности. Для проверки эффективности мероприятий, внедряемых для устранения дефектов и накопления статистических данных, подтверждающих стабильность результатов, доводка узлов автомобиля на большой ресурс (500 тыс. км пробега и более) растягивается на годы, автомобиль морально устаревает раньше, чем достигается желаемый ресурс его узлов и агрегатов. Ускорение темпов проектирования автомобилей, отработки их надежности и большого ресурса может быть достигнуто при доводке деталей и узлов ускоренными стендовыми программными испытаниями, эквивалентными эксплуатационным условиям нагружения.

Всесторонняя оценка конструкции на этапе доводки только в условиях полигона нецелесообразна, так как полигонные испытания имеют большую длительность во времени. Создавать все возмож-

ные условия эксплуатации при обычных дорожных испытаниях практически невозможно, поэтому полигонные испытания целесообразно комплексно сочетать со стендовыми, основное преимущество которых — быстрое получение результатов. Определение отдельных характеристик детали возможно только в условиях полигона или стенда.

Например, коэффициент динамичности картера на определенном типе дорог может быть определен только при дорожных испытаниях, а его предел выносливости — только на стенде. По мнению авторов, опытную деталь в первую очередь необходимо испытать на стенде, нагружая ее как на дороге. Для разработки режима испытания на стенде необходим анализ нагруженности аналогичных деталей в эксплуатации. Статическое нагружение на стенде с учетом коэффициента динамичности нагружения аналогичных деталей в эксплуатации дает возможность оценить напряженно-деформированное состояние детали в статике, установить потенциальные зоны разрушения, которые в дальнейшем и будут исследоваться в условиях полигона. Коэффициент динамичности картеров и шаровых опор может быть определен расчетами по методике, описанной в работе [1].

Большой объем полезной информации может быть получен в ходе предварительного усталостного испытания опытной детали на стенде в регулярном режиме нагружения. Данное испытание позволяет, во-первых, определить зону возможного разрушения детали в эксплуатации, во-вторых, сравнить усталостную долговечность опытной детали с аналогом, испытанным при тех же условиях нагружения. При выявлении на стенде того, что оценочные показатели опытной детали хуже, чем базовой, необходимо провести конструктивно-технологическую доработку узла, повторно предварительные стендовые испытания, а затем дорожные. Данная методика доводки деталей несущих систем была разработана на КАМАЗе и использовалась при доводке несущих деталей ходовой части автомобиля высокой проходимости.

Одним из основных оценочных показателей ведущих мостов является его жесткость, которая в значительной степени определяет условия работы деталей главной передачи. Жесткость характеризуется отношением максимального прогиба картера под действием номинальной нагрузки на мост к величине колеи моста, которая не должна превышать 1,5 мм/м [2]. Соответствие жесткости моста опытного полноприводного автомобиля КАМАЗ данному

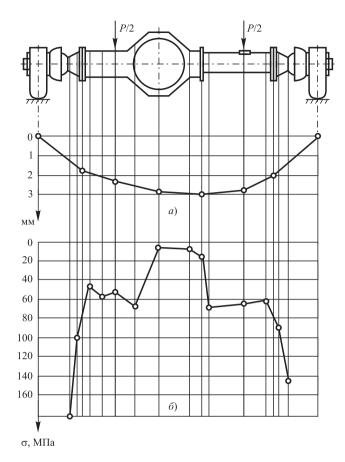


Рис. 1. Диаграмма прогиба переднего моста (a) и эпюра напряжений (б) в картере и шаровых опорах от действия статической осевой нагрузки при номинальной нагрузке на мост 50 кН

нормативу определялось статическим нагружением его в стендовых условиях. Номинальная нагрузка на передний мост, равная 50 кН, прикладывалась на рессорные площадки гидродомкратами стенда "PZA", как показано на рис. 1. Прогибы моста в шести точках измерялись часовыми индикаторами ценой деления 0,01 мм.

Как видно из рис. 1, *а*, максимальный прогиб в зоне соединения картера с кожухом полуоси составляет 2,90 мм, коэффициент жесткости — 1,44 мм/м, т. е. конструкция соответствует требованиям жесткости ведущих мостов. При несоответствии жесткости требованиям наиболее эффективной мерой ее повышения является увеличение размеров сечения картера, изменение соотношений размеров сечения по высоте и ширине картера. Рациональные параметры, определяющие жесткость моста, могут быть приняты только после исследования нагруженности его в дорожных условиях, так как конфигурация детали

должна одновременно способствовать и снижению напряженности детали при той же или меньшей материалоемкости.

Предварительно напряженно-деформированное состояние при статическом нагружении на стенде может быть изучено методом лаковых покрытий, поляризационно-оптическим методом или электротензометрированием. Для исследования деталей сложной конфигурации наиболее удобен метод электротензометрирования, который позволяет определить деформации численно, а при использовании тензометров с малой базой могут быть замерены даже локальные деформации в опасных зонах детали. Целью электротензометрирования картера и шаровых опор было определение наиболее напряженных зон для их дальнейшего исследования на полигоне.

На исследуемый мост были наклеены 22 тензодатчика типа 2 ПКБ 20-200, затем мост нагружался на гидропульсационном стенде по схеме, показанной на рис. 1, статической нагрузкой 50 кН. По результатам показаний тензодатчиков была построена эпюра напряжений моста (рис. $1, \delta$). Максимальные напряжения, равные 67 МПа, на картере возникают на зоне перехода короткого рукава в банджо на поверхности ребра жесткости и на поверхности кожуха полуоси в зоне соединения его с картером. Максимальные напряжения на шаровые опоры, достигающие 180 МПа, возникают на зоне перехода конической поверхности в шар и во фланец. Для более точной оценки локальных напряжений в шаровой опоре необходимо определить коэффициент концентрации напряжений.

Для определения коэффициента концентрации напряжений в шаровой опоре был использован поляризационно-оптический метод. На рассеченную по осевой плоскости шаровую опору наклеивалось фотоупругое покрытие BS-2B толщиной 2 мм фирмы "Фотоластик". Шаровая опора нагружалась на стенде "Ноfmann-209" изгибающим моментом. Анализируя картину напряженно-деформированного состояния, определялся теоретический коэффициент концентрации напряжений в зоне перехода стержня во фланец, который оказался равен 2.

По экспериментально установленным номинальным напряжениям оценивался статический запас прочности детали как отношение напряжения текучести материала (табл. 1) к номинальному напряжению. Фактические значения коэффициента статического запаса прочности картера равнялся 4,1,

Таблица 1 Запас статической прочности по текучести шаровых опор некоторых отечественных автомобилей

Monyo	Номинальная		Предел Зона перехода в сферу		Зона перехода во фланец				
Марка автомобиля	нагрузка на мост, кН	Материал	текучести, МПа	<i>R</i> ,	σ, МПа	Запас прочности	R, mm	σ, МПа	Запас прочности
Опытный КАМАЗ	49,30	40X	800	15	90	8,7	4	81	9,9
Урал-4320	42,40	40X	800	15	82	9,7	_	67	11,8
3ИЛ-131	30,60	45	360	15	72	5,0	2	53	6,8
ГАЗ-66	29,15	40	340	15	62	5,4	2	75	4,5
KpA3-260	71,25	40X	800	15	86	9,2	8	121	6,6

а шаровой опоры — 9,9. С учетом коэффициента концентрации напряжений в зоне перехода стержня во фланец шаровой опоры запас прочности ее при номинальной нагрузке составит 4,95. Сравнение полученных результатов и анализ аналогичных конструкций других автопроизводителей позволил сделать вывод о том, что коэффициент статического запаса прочности для картера и шаровой опоры переднего управляемого моста должен быть не менее 5.

Динамические нагрузки на несущих деталях автомобилей значительно превышают статические, поэтому наиболее полная оценка нагруженности может быть получена только на основе режимометрирования груженого автомобиля в различных условиях эксплуатации. Динамические напряжения в картере и шаровых опорах моста опытного автомобиля определялись на дорогах автополигона ГНЦ РФ ФГУП "НАМИ" в летнее время. Тензометрирование и регистрация результатов осуществлялись шестиканальным тензоусилителем типа KWS/6A-5 и шлейфовым осциллографом KI2-22, которые размещались на виброзащитной подставке в кабине водителя. В программу испытаний были включены режимы движения автомобиля по шести типам дорог, движение "восьмеркой", преодоление вертикальных препятствий одним и двумя передними колесами одновременно и резкое торможение. Результаты динамического тензометрирования приведены в табл. 2.

Исследования показывают, что элементы ведущих управляемых мостов наиболее сильно нагружаются на профилированном булыжнике и на грунтовой дороге: амплитуда напряжений на стержне шаровой опоры достигает до 240 МПа, а на ребре

жесткости картера — до $80~\mathrm{M}\Pi a$. Коэффициенты динамичности несущих деталей моста при этом достигают величин, равных 2,5-2,7.

Было установлено, что напряжения изгиба картера и шаровых опор в вертикальной плоскости существенно выше напряжений изгиба в горизонтальной плоскости, что было отмечено и в работах [1, 2]. Так, средние значения напряжений изгиба в горизонтальной плоскости составляют 10—20 % напряжений изгиба в вертикальной плоскости, а максимальные не превышают 40—50 % вертикальных напряжений. Характер изменения напряжений изгиба в горизонтальной плоскости симметричный, а в вертикальной плоскости асимметричный, продольное распределение веса автомобиля при торможении увеличивает напряжение изгиба в вертикальной плоскости по сравнению со статическими в 2 раза.

При дорожных испытаниях было установлено, что впадины дорожного полотна оказывают большее динамическое воздействие на увеличение нагрузки на несущие детали моста, чем выступы такой же высоты. По мнению авторов, это связано с длительностью воздействия неровности на колесо. Так, при попадании под колесо впадины оно, "падая" с большим ускорением, ударяется о ее дно, а при встрече с выступом колесо закатывается на выступ, на что требуется определенное время, а за это время часть энергии удара поглощается шиной и упругими элементами подвески.

Поперечные силы, возникающие от боковой составляющей реакции дороги при движении автомобиля на поворотах, приводят к появлению в шаровых опорах напряжений сжатия. Изгибающие моменты от вертикальной нагрузки и поперечной

Таблица 2 Распределение амплитуд напряжений на элементах картера переднего моста опытного автомобиля КАМАЗ при пробеге 1 км

Амплитуда напряжений	Асф	альт	рові	жник ного филя	Гр	унт	профи	жник илиро- ный	со сме	оек нными остями		ийская говая
σ _{ai} , МПа	1*	2*	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
10	1050	9000	15000	24000	5000	4500	12000	23000	500	1560	2100	1500
20	150	7500	3000	3300	1000	2200	4500	6700	300	1000	900	900
30	52	3000	1200	2700	190	1600	2850	3600	240	600	300	600
40	14	1500	240	2100	90	600	2330	2850	200	400	150	333
50		195		1800	60	400	1500	2700	190	300	30	300
60		175		1500	40	230	600	2400	180	200	18	285
70		165		750	20	200	255	1650	20	112	6	270
80		142		330	16	190	195	1350		106		240
80		135		315	8	185		1200		99		180
90				270		182		1050		94		120
100				155		180		900		91		60
110				66		140		750		85		27
120				30		130		600		80		24
130						120		450		73		18
140						100		300		68		9
150						80		285		65		6
160						50		270		60		4
170						40		250		55		3
180						22		240		50		
190						20		210		40		
200						18		170		20		
210						16		165				
220						12		120				
230						10		60				
240						8		33				

 $^{1^*}$ — датчик на ребре жесткости картера в зоне перехода рукава в банджо 2^* — датчик на стержне шаровой опоры

реакции дороги имеют противоположные направления, и по этой причине в отдельных случаях в шаровых опорах возникают напряжения сжатия, что положительно влияет на снижение их нагруженности. По мнению авторов, этот фактор и является основной причиной несоответствия физической картины разрушений, полученных при стендовых испытаниях, дорожным, так как на стенде шаровые опоры испытывают действие только вертикальных нагрузок.

Приведенные закономерности нагружения характерны и для остальных полноприводных автомобилей с зависимой подвеской управляемых колес, но при этом в зависимости от геометрических размеров несущих деталей и нагрузки на мост величины напряжений будут иными.

Статические стендовые испытания позволили выявить наиболее нагруженные зоны деталей. При дорожных испытаниях максимальные динамические напряжения наблюдались именно в этих же зонах, что позволяет делать вывод о возможности определения динамических напряжений через статические напряжения в этих же зонах.

По полученным значениям распределения амплитуд напряжений с учетом характеристик сопротивления усталости можно рассчитать долговеч-

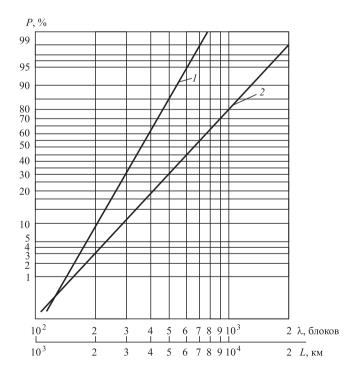


Рис. 2. Функции распределения долговечности картера (1) и шаровых опор поворотных цапф (2) переднего моста автомобиля

ность картера и шаровых опор. На рис. 2 приведены функции распределения долговечности картера в опасной зоне — в зоне перехода рукава в банджо и шаровой опоры поворотной цапфы в зоне перехода стержня во фланец, определенные по методике Когаева В. П. [3, 4]. Расчеты показали, что медианный ресурс отливки картера и шаровых опор меньше ресурса автомобиля до капитального ремонта. Результаты расчетов и статистическая информация о ресурсе картера, полученная в условиях эксплуатации, подтвердили необходимость принятия конструктивно-технологических мер по увеличению сопротивления усталости элементов картера.

Наиболее нагруженным сечением картера является переход короткого рукава в банджо по ребру жесткости, а в шаровой опоре — переход конической поверхности во фланец. Эти два сечения и определяют усталостную долговечность моста. Меры по повышению надежности моста должны быть направлены в первую очередь на снижение напряжений в этих сечениях. Результаты стендовых и дорожных испытаний легли в основу конструктивных доработок картера и шаровой опоры. В первых партиях картеров мостов ребра жесткости имели толщину 24 мм, а стенка картера — 11 мм, что приводило к появлению дефектов литья (поры, микротрещины) в ребре жесткости. В новой конструкции картера толщина нижней стенки короткого рукава была увеличена с 11 до 16 мм, ребро жесткости было сделано полым с толщиной стенки 16 мм, а также были введены плавные обводы ребра жесткости, что дало возможность снизить напряжения в опасной зоне на 42 %, устранить дефекты литья [5]. Долговечность опытных картеров по сравнению с се-

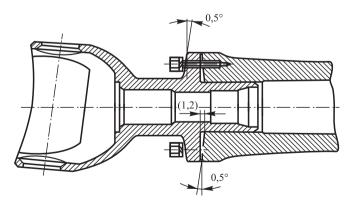


Рис. 3. Узел соединения шаровой опоры с картером, обеспечивающий создание монтажных сжимающих напряжений в зоне перехода конической части во фланец шаровой опоры (гайки не затянуты)

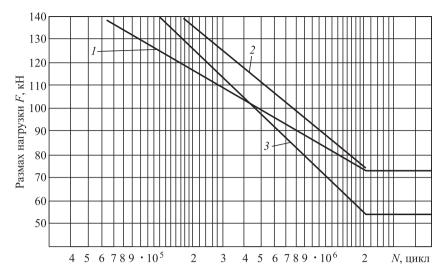


Рис. 4. Кривые усталости картера (1) и шаровых опор поворотных цапф переднего моста автомобиля при наличии монтажных сжимающих напряжений у фланца (2) и без них (3)

рийными увеличилась в 1,8 раза, что полностью соответствует требованиям эксплуатации.

Для создания предварительных напряжений сжатия в опасном сечении шаровой опоры привалочная плоскость картера с фланцем шаровой опоры былавыполнена в виде усеченного конуса (рис. 3). При затяжке гаек крепления фланец деформируется и на галтелях возникают остаточные напряжения сжатия, достигающие до 240 МПа, которые при нагружении шаровой опоры частично "нейтрализируют" эксплуатационные напряжения растяжения, вследствие чего снижается амплитуда напряжений растяжения в опасной зоне детали. В результате данного технологического решения усталостная долговечность шаровых опор, полученная при стендовых циклических испытаниях, повысилась на 35 % относительно долговечности серийных шаровых опор (рис. 4).

Аналогичный эффект может быть достигнут поверхностным пластическим деформированием галтели. Экспериментально было установлено, что обкатка перехода конической части в сферу роликами радиусом R15 позволяет увеличить долговечность шаровых опор еще на 25—30 %.

Таким образом, комплексные исследования нагруженности деталей в стендовых условиях в сочетании с дорожными испытаниями являются основой проектирования конструкций, наиболее полно соответствующих требованиям эксплуатации. Полученные запасы прочности, коэффициенты динамичности несущих деталей ведущих управляющих мостов в дорожных условиях могут быть приняты при разработке их норм прочности и усталостной долговечности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1. **Марголис С. Я., Шлиомович Б. М.** Исследование влияния колебаний неразрезного ведущего моста на нагруженность его балки. Автомобильная промышленность, 1978. № 5. C. 28-30.
- 2. **Марголис С. Я.** Мосты автомобилей и автопоездов. М.: Машиностроение, 1983. 160 с.
- 3. **Когаев В. П.** Расчеты на прочность при напряжениях, переменных во времени. М.: Машиностроение, 1977. 282 с.
- 4. Фасхиев Х. А. Проектирование деталей транспортных средств с учетом усталости // Справочник. Инженерный журнал. 2014. № 1. C. 35—47.
- Фасхиев Х. А. Конструктивно-технологические методы повышения долговечности соединения картера с шаровой опорой моста // Справочник. Инженерный журнал. 2013. № 3. С. 22—28.

MAN — партнер футболистов

Команда российских спортивных журналистов и блогеров на автобусе NEOPLAN Cityliner отправилась в тур по Франции в рамках проекта "Россия любит футбол — ДРАЙВ!" в поддержку национальной сборной России по футболу на играх EURO 2016. Автобус премиум-класса NEOPLAN Cityliner с символикой проекта сопровождал российских болельщиков и сборную России по городам, где проходили матчи. Пассажиры автобуса — ведущие спортивные журналисты и блогеры России, которые освещали мероприятия в рамках чемпионата в режиме online.

К поездке также присоединились Послы общественного движения "Россия любит футбол!" — известные спортсмены и звезды шоу-бизнеса, музыканты, актеры театра и кино. Среди них волейболистка Екатерина Гамова, футболисты Алексей Смертин и Юрий Семин и др. "Россия любит футбол ДРАЙВ" — проект, направленный на поддержку национальной сборной России по футболу во время ее участия в EURO 2016, а также на продвижение и повышение привлекательности России за рубежом как страны — хозяйки чемпионата мира по футболу 2018 г.

Автобусы туристского класса MAN и NEOPLAN пользуются успехом у спортивных команд в Европе и России благодаря комфорту и гибким возможностям специального оснащения, включающим особые конфигурации пассажирских кресел, дооборудование многофункциональной кухней, размещение в салоне аудио- и видеоустройств, позволяющих спортсменам путешествовать между соревнованиями с особенным комфортом (см. 1-ю полосу обложки).

Пресс-служба ООО "МАН Трак энд Бас РУС"

УДК 536.46

С. М. Гайдар, д-р техн. наук, К. К. Тайсаев, ФГБОУ ВО Российский государственный аграрный университет — МСХА имени К. А. Тимирязева, e-mail: avtokon93@yandex.ru, М. Ю. Карелина, канд. техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО "Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет", В. Д. Жигарев, канд. техн. наук, заслуженный изобретатель РФ

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО РЕГУЛИРОВАНИЮ ФРАКЦИОННОГО СОСТАВА ТУГОПЛАВКИХ ПОРОШКОВЫХ СВС-ПРОДУКТОВ

Приведены результаты экспериментальных исследований по регулированию фракционного состава тугоплавких соединений путем прокатки в валках прокатного стана с регулированием величины зазора между валками и рассогласования окружных скоростей валков.

Обеспечено получение мелкой, средней и крупной фракций в пределах 50—80 %, при этом время измельчения ПС сократилось на порядок по сравнению с шаровой мельницей.

Наиболее эффективно метод измельчения CBC-продуктов прокаткой может быть использован совместно с теплогенерирующим реактором для решение основной задачи CBC, являющейся проблемной в течение десятков лет (создание интенсивного автоматизированного производства тугоплавких соединений с непрерывным технологическим циклом в энерготехнологическом комплексе с утилизацией большого количества тепла, выделяемого при CBC).

Ключевые слова: самораспространяющийся высокотемпературный синтез (*CBC*), фракционный состав порошковых тугоплавких продуктов синтеза (*ПС*), теплогенерирующий реактор (*TГР*), паровая мельница.

The article describes the results of experimental researches in the field of regulating the fractional content of refractory compounds by using rolling in the fabrication mill bowls and regulating the fit between the bowls and the derivation of circumferential speeds of the bowls. It was possible to acquire small, medium and coarse fractions within the scope of 50—80 %, while the time of reduction of synthesis products decreased by ten times in comparison with a ball mill. The most efficient way of reducing self-propagating high-temperature synthesis products by means of rolling can be used together with a heat-generating reactor for solving the main task of self-propagating high-temperature synthesis which has been a problem for decades (creation of an intensive automatic production of refractory compounds with an uninterrupted technological cycle at an energetic and ecological complex with utilizing a huge amount of heat generated during self-propagating high-temperature synthesis).

Keywords: self-propagating high-temperature synthesis, fractional content of refractory powder synthesis products, heat-generating reactor, steam mill.

Введение

В связи с тем что тугоплавкие соединения, полученные методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС), наиболее широко применяются в виде порошковых материалов, вопросам измельчения продуктов синтеза (ПС) уделяют особое внимание.

При проведении исследований по оценке влияния на структуру измельчаемого порошка, проводившихся путем сравнения результатов измельчения

в шаровой мельнице без прокатки и после предварительной прокатки, была показана принципиальная возможность введение операции прокатки ПС в технологический процесс изготовления порошковых тугоплавких соединений.

Тем не менее остался нерешенным вопрос получения требуемого фракционного состава тугоплавких ПС. Поэтому были проведены исследования, направленные на оптимизацию режимов измельчения порошков благодаря варьированию следующих параметров [1]:

- величины зазора между валками (без рассогласования окружных скоростей валков);
- степени рассогласования окружной скорости валков (при одинаковом зазоре между валками).

Экспериментальные исследования

Оценку влияния величины зазора осуществляли прокаткой продуктов синтеза в валках диаметром 150 мм, вращающихся со скоростью 12 мин $^{-1}$, с использованием сложного карбида титана ${\rm TiC} + {\rm Cr_3C_2}$. Оценку влияния степени пробуксовывания валков определяли с использованием диборида титана (табл. 1).

Как следует из табл. 1, при изменении величины зазора между валками (в пределах опытов 2—5) может быть обеспечено регулирование фракционного

состава сложного карбида титана, в том числе для наиболее широко используемых фракций: средней (40...100 мкм) — в пределах 15—60 %; мелкой (менее 40 мкм) — в пределах 5—50 %. При необходимости получения крупной фракции (более 100 мкм) осуществлено регулирование ее состава в пределах 10—80 %.

Следует отметить также, что при двукратном пропускании измельчаемого продукта через валки прокатного стана количество средней и мелкой фракций увеличилось в 1,2 и 2 раза (опыты 7, 4).

Для оценки влияния пробуксовывания валков на фракционный состав диборида титана измельчали 2 кг состава. При этом был выбран зазор между валками, равный 2 мм (предельный перед просыпанием частиц между валками (пример 5, табл. 2) при исходном размере частиц 2...3 мм.

Таблица 1 Фракционный состав TiC+Cr $_3$ С $_2$ при изменении величины зазора между валками

No	Зазор между	азор между Исходный		іход фракций, %	Ó	П	
опыта	валками, мм	размер частиц, мм	>100 мкм	40100 мкм	< 40 мкм	Примечание	
1	0,4	0,40,6	_	_	_		
2	0,6	0,40,6	20	30	50		
3	0,8	11,15	15	60	25	Спрессовывание в пластины	
4	1,2	11,15	35	50	15		
5	2,0	11,15	80	15	5		
6	2,5	11,15	95	5	0	Просыпание частиц между валками	
7	1,2	Опыт 4	10	55	35	Двукратное измельчение в валках	

Таблица 2 Фракционный состав диборида титана при пробуксовывании валков

	King the state of the King that the King the state of the							
№ опыта	Зазор между валками, мм	Исходный размер частиц, мм	Степень пробуксовывания валков,	Время измельчения, ч	Средний размер частиц порошка, мкм			
1	0	2—3	Шаровая мельн.	2,8	44			
2	2,0	2—3	1,0	0,2	44			
3	2,0	2—3	1,05	0,2	27			
4	2,0	2—3	1,10	0,2	24			
5	2,0	2—3	1,15	0,2	22			
6	2,0	2—3	1,20	0,2	21,8			
7	2,0	2—3	1,008	0,2	41,0			
8	2,0	2—3	1,013	0,2	35,0			

Как следует из табл. 2, время измельчения 2 кг диборида титана до размера 44 мкм путем прокатки составило 0,2 ч, а в шаровой мельнице — 2,8 ч. Учитывая, что измельчение прокаткой является непрерывным процессом (засыпка в бункер — в процессе измельчения), за это время может быть измельчено 28 кг диборида титана, то есть в 14 раз больше.

Результаты испытаний показали также, что рассогласование окружных скоростей валков в пределах 5-20% обеспечивает уменьшение среднего размера частиц до 2 раз.

Особенно следует отметить, что разработанный метод является непрерывной технологической операцией, так как измельчение ПС осуществляется по мере загрузки бункера. Поэтому наиболее эффективно он может быть использован совместно с теплогенерирующим реактором [2] для решение основной задачи СВС, являющейся проблемной в течение десятков лет (создание интенсивного автоматизированного производства тугоплавких соединений с непрерывным технологическим циклом в энерготехнологическом комплексе с утилизацией большого количества тепла, выделяемого при СВС) [3—6].

Выводы

1. Результаты исследований показали возможность регулирования фракционного состава СВС-продуктов путем прокатки в валках прокатного стана с варьированием величины зазора между валками и рассогласования окружных скоростей валков (без применения операции доизмельчения в шаровой мельнице).

- 2. Применение прокатного стана для измельчения ПС сокращает время измельчения на порядок по сравнению с шаровой мельницей.
- 3. Наиболее эффективно метод измельчения СВС-продуктов прокаткой может быть использован совместно с теплогенерирующим реактором для создания интенсивного технологического процесса синтеза тугоплавких соединений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1. Патент RU № 2163180. Способ получения порошковых продуктов. В. Д. Жигарев, А. Г. Мержанов, И. П. Боровинская, В. В. Закоржевский, Е. Б. Ложечников. Опубл. 20.02.2001.
- 2. **Zhigarev V. D., Ovchinnikov V. A.** SHS as Source of Heat. P-1-201. V1 International Symposium on Self-Propagating High-Temperature Synthesis (SHS-2001). BOOK OF ABSTRAKTS. Technion, Haifa, Izrael. February, 17—21, 2002.
- 3. **Мержанов А. Г.** Проблемы технологического горения. В сб: Процессы горения в химической технологии и металлургии. Под ред. А. Г. Мержанова. Черноголовка, 1975.
- 4. **Мержанов А. Г.** Передовая СВС-керамика: сегодня и завтра. В кн.: Процессы горения и синтез. Под ред. В. Т. Телепы, А. В. Хачояна. Черноголовка: Изд-во ИСМАН, 1998. С. 3—41.
- 5. **Мержанов А. Г.** Самораспространяющийся высокотемпературный синтез тугоплавких материалов: теория и приложения. В кн.: Процессы горения и синтез. Под ред. В. Т. Телепы, А. В. Хачояна. Черноголовка: Изд-во ИСМАН, 1998. С. 408—451.
- 6. **Мержанов А. Г.** Десять направлений в будущем СВС. В кн.: Процессы горения и синтез материалов. Под ред. В. Т. Телепы, А. В. Хачояна. Черноголовка: Изд-во ИСМАН, 1998. С. 338—374.

Автобусы НЕФАЗ в Крыму

"КАМАЗ" принял участие в обновлении автопарка Крыма, поставив Республике 70 пассажирских автобусов НЕФАЗ

Городские низкопольные автобусы НЕФАЗ 5299-30-51 были приобретены в лизинг. Автобусы оснащены двигателями экологического класса Евро-5, использующими в качестве топлива компримированный природный газ (метан). Имеется система видеонаблюдения и Wi-Fi. Общая пассажировместимость — 105 человек, включая 25 посадочных мест и одно место для инвалидной коляски. При этом НЕФАЗ оснащен системой "книлинг" — при необходимости правая часть автобуса за несколько секунд может опуститься к земле и обеспечить легкий доступ коляски в салон. Благодаря низкому уровню пола, пассажирам обеспечена быстрая посадка/высадка. По мнению специалистов, это позволит сократить время прохождения маршрута примерно на 15 %.

Автобусы для крымских пассажироперевозчиков дополнительно оснащены климатической системой рабочего места водителя и системой оперативного оповещения экстренных служб российского производства.

Пресс-служба ПАО "КАМАЗ"

УДК 621.316.824

В. Н. Козловский, д-р техн. наук, А. П. Новикова, СамГТУ, г. Самара

E-mail: 9vfhnf@inbox.ru

ОСОБЕННОСТИ ПЕРСПЕКТИВНОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ АВТОНОМНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ ОБЪЕКТОВ

Представленная работа посвящена разработке и реализации комплекса инструментов системы контроля сопротивления изоляции электротехнического комплекса автономного энергоснабжения транспортного объекта.

Ключевые слова: автономное электроснабжение, сопротивление изоляции, двухпроводная система питания, математическое моделирование.

The presented work is devoted to the development and implementation of a set of tools to control systems for insulation resistance of electrical complex autonomous energy supply born object.

Keywords: autonomous power, insulation resistance, two-wire power system, mathematical modeling.

Автономные объекты объединяют в себя комплекс технически сложных систем с принадлежностью, в том числе к транспортной отрасли. Важнейшими элементами любого автономного объекта являются электротехнические системы энергоснабжения, управления, привода, которые обеспечивают эффективность эксплуатации технических устройств в установленных границах требований.

Обеспечение надежности функционирования автономных объектов в условиях отсутствия возможности технического обслуживания и ремонта требует от проектировщика уделять существенное внимание вопросам организации процесса измерения индексов работоспособности, в том числе критически важных параметров работы электротехнических систем, к числу которых относится сопротивление изоляции между шинами и корпусом рассматриваемого технического объекта.

Практика показывает, что обеспечение надежности и стабильности напряжения автономных систем электроснабжения (АСЭ) напрямую зависит от сопротивления изоляции токоведущих частей, поэтому проблема контроля сопротивления изоляции (КСИ) является чрезвычайно актуальной.

Известные в исследуемой области работы можно разделить по двум направлениям: методы измерения сопротивления изоляции, а также методы сравнения. Подробно эти методы описаны в [5]. Существующая методология в области измерения и сравнения обладает как достоинствами, так и недостатками.

Недостатками большинства способов КСИ являются невысокий уровень периодичности измерений [2], а также риски, связанные с обеспечением надежности исследуемого объекта в момент измерения при протекании большого тока (на уровне тока короткого замыкания) вследствие низкого внутреннего сопротивления измерителя тока при наличии замыкания одной из шин питания на корпус [3]. При этом наиболее существенным недостатком таких схем является значительная погрешность измерений [6].

Совершенно очевидно, что созданные методы и способы КСИ не могут в полной мере отвечать современным вызовам, связанным со значительным научно-технологическим ростом технических объектов, а также с активным использованием разветвленных электротехнических систем, например в космической отрасли, требующих высокоого быстродействия и точности измерения показателей электроснабжения.

Таким образом, **целью представленной работы** является разработка и реализация функциональной схемы, алгоритма измерения сопротивления изоляции шин, с учетом особенностей функционирования двухпроводных систем автономных объектов.

Система электропитания разветвленных цепей постоянного тока AO в обобщенном виде представляет собой замкнутый контур между шинами электропитания и внешним корпусом (землей), а сопротивление изоляции $R_{\rm u3}$ — это сопротивление в воздухе, причем в неопределенном месте. Так как цепи сложные и весьма разветвленные, то задача определения

сопротивления изоляции (пробоя) влечет за собой ряд включений в цепь дополнительных элементов и устройств измерения. В работе в качестве первичного источника энергии рассматриваются солнечные батареи, в качестве вторичного источника — аккумуляторные батареи. Измеряемые сопротивления изоляции имеют большой диапазон: от 100 Ом до 1 МОм и даже выше, поэтому в качестве датчика входных напряжений используется высокоточный резистивный делитель. Поскольку зависимость сопротивления изоляции от напряжения нелинейная, а частотный диапазон помех на шинах питания крайне широкий, то для подавления помех применимы входные фильтры-ограничители. Обработка информации и управления процессом осуществляется цифровыми контроллерами. Многоступенчатость процесса измерений как дополнительный источник погрешности и жесткие ограничения по требуемой частоте опроса (менее 1 с) исключаются интеграцией в схему быстродействующего 10-разрядного АЦП, где исходные величины (токи, напряжения) пускаются одним синхроимпульсом и работают одновре-

Для исключения влияния изменений напряжения между шинами питания на результат измерений используются приведенные величины. Указанные замечания реализованы в структуре устройства, представленного на (рис. 1). Устройство (измерительный прибор) соединяется с исследуемой цепью (объект) тремя шупами, между которыми включены фильтры — ограничители помех. Сопротивления шунтов-делителей $R_{\rm III}$, включенных между шинами питания, подобраны с погрешностью $0,2\,\%$ и могут изменяться в диапазоне от $10\,$ до $100\,$ кОм. Напряжения с шунтов являются входными сигналами быстродействующих

 U_{+} U_{+} U_{-} U_{+} U_{-} $U_{$

Рис. 1. Функциональная схема измерения $R_{\rm из\ экв}$ шин СЭП АО с быстродействующим 10-разрядным АЦП

АЦП [7], расположенных в контроллере. Оба АЦП пускаются одним синхроимпульсом, так что измерения двух напряжений между шинами питания и корпусом производятся одновременно. Этим достигается идентичность помех, действующих на обе шины питания.

По результатам измерений контроллер подсчитывает отношение U_-/U_+ и определяет неисправную шину питания, а затем и эквивалентное сопротивление шины $R_{\rm 9KB}$ относительно корпуса объекта, как функцию $f(U_-/U_+)$, при необходимости используя два соседних (реперных) значения для линейной либо круговой интерполяции. Фиксированные (реперные) значения всей функции $R_{\rm 9KB} = f(U_-/U_+)$ с определенным шагом дискретизации содержатся в памяти контроллера. Следует заметить, что, используя изложенный принцип, можно определить токи между каждой шиной питания и корпусом [5]. Эти измерения возможны как в однократном, так и в автоматическом режиме.

Блок-схема алгоритма функционирования системы контроля сопротивления изоляции с коммутируемым делителем напряжения приведена в работе [1]. Порядок функционирования системы КСИ будет представлен в следующем виде:

- 1) ключи S_1 и S_2 устанавливаются в состояние $S_1 = 1$, $S_2 = 0$ (рис. 2);
- 2) производятся измерения напряжений U_{11} и U_{12} с выходов низкочастотных фильтров, обеспечивающих подавление высокочастотных шумов, а затем производится запись кодов U_{11} и U_{12} в регистры арифметико-логического блока;
- 3) ключи S_1 и S_2 устанавливаются в состояние $S_1 = 0, \, S_2 = 1;$
 - 4) производятся измерения напряжений U_{21} и U_{22}

с выходов низкочастотных фильтров, обеспечивающих подавление высокочастотных шумов, а затем производится запись кодов U_{21} и U_{22} в регистры арифметико-логического блока;

5) производятся вычисления коэффициентов $k_1 = U_{11}/U_{12}, k_2 = U_{21}/U_{22},$ сопротивлений изоляции $R_{\rm из1}, R_{\rm из2}.$

На основании разработанной блок-схемы алгоритма функционирования предлагается техническая реализация функциональной схемы системы КСИ изоляции шин питания АО с учетом сопротивления линии $r_{\rm n}$, приведенная в работах [1, 4]. Чтобы учесть сопротивления линии,

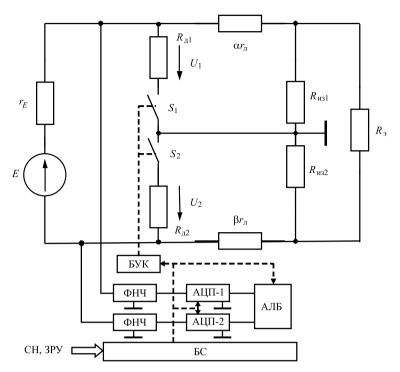


Рис. 2. Структурная схема системы контроля сопротивления изоляции:

 $R_{\rm \pi 1},\ R_{\rm \pi 2}$ — эталонные делители напряжения, $\alpha r_{\rm n},\ \beta r_{\rm n}$ — сопротивление линии; $S_1,\ S_2$ — ключи (рекомендуемое исполнение — герконы), БУК — блок управления ключами S_1 и S_2 ; ФНЧ — низкочастотные фильтры; АЦП — аналого-цифровые преобразователи; АЛБ — арифметико-логический блок; БС — блок синхронизации; $R_{\rm u31},\ R_{\rm u32}$ — сопротивление изоляции между корпусом и шинами питания; $E,\ r_E$ — имитация солнечной батареи

возпользуемся коэффициентами α и β , равными 1, определяющими место пробоя.

Целью моделирования систем электропитания автономных объектов являются уточнение и проверка на моделях предложенной системы контроля сопротивления изоляции. С учетом поставленных целей можно ввести следующие допущения.

- 1. Первичный источник энергии (солнечная батарея) моделируется источником напряжения с периодическим законом его изменения.
- 2. Зарядное устройство моделируется путем введения противо-ЭДС-стабилизирующего напряжение заряда вторичного источника питания.
- 3. Стабилизатор напряжения моделируется путем введения противо-ЭДС-стабилизирующего напряжение на шинах питания нагрузки.
- 4. Система управления стабилизатора напряжения построена на основе ПИД регулятора.
- 5. Сопротивление изоляции принимается сосредоточенным.
- 6. Нагрузка в СЭП АО рассматривается как имеющая активную, индуктивную и емкостную состав-

ляющие проводимости. Схема замещения или ее модель может быть представлена как параллельная или последовательная RLC-цепь.

Моделирование системы электропитания проводится с помощью системы Matlab 6.5, с использованием библиотеки блоков SimPowerSystems. [6] Несомненным достоинством SimPowerSystems является то, что сложные электроэнергетические комплексы АО можно моделировать, сочетая методы имитационного и структурного моделирования. Так, модель силовой части параллельной схемы СЭП — с коммутатором первичного источника выполняется с использованием имитационных блоков SimPowerSystems, а система управления с помощью обычных блоков Simulink, отражающих лишь алгоритм ее работы, а не ее принципиальную электрическую схему. В процессе нормального функционирования данной схемы фильтр помехоподавления антистатический (ФА) не оказывает влияния на работу СЭП, поэтому на данном этапе проводится моделирование без его учета.

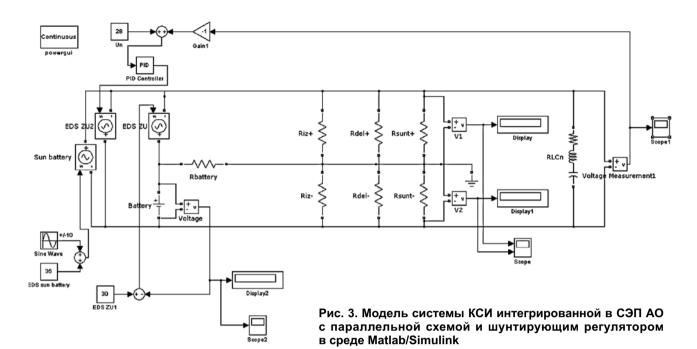
Поскольку в автономном электроснабжении в качестве первичного источника используется солнечная батарея (СБ), то в период затенения он не выдает мощности, а в период освещенности выдаваемое им напряжение зависит от многих факторов, таких как нормаль

между первичным источником и направлением солнечного света, мощность светового потока и т.д.

С использованием имитационных блоков SimPowerSystems разработана модель, представленная в работах [1, 4]. Модель имитирует расчетную схему параллельной СЭП с шунтирующим регулятором первичного источника. Причем напряжение с учетом шунтирующего стабилизатора будет изменяться так, как представлено на рис. 3. Моделирование АБ в упрощенном случае осуществляется с помощью блока DC voltage source. А в усложненном варианте блоком battery, позволяющем выбрать тип АБ, задать его характеристики и отслеживать параметры в процессе моделирования.

При расчете и анализе электрического состояния нагрузки СЭП КА наибольший интерес представляют исследования переменной составляющей тока или напряжения (рис. 4) на шинах питания нагрузки, так как они имеют непосредственное влияние на точность определения сопротивления изоляции.

Таким образом, в результате исследования разработаны и реализованы функциональная схема,



алгоритм измерения сопротивления изоляции шин, с учетом особенностей функционирования двухпроводных систем автономных объектов. Из проведенного анализа методологии расчета сопротивления изоляции следует, что основными достоинствами обладает схема с коммутируемым делителем, в кото-

рой при коммутации и, соответственно, при срабатывании одного из ключей ветви для подключения вольтметров имеют малое (не более десятков кОм) сопротивление, следовательно, малое шунтирующее влияние ненормируемых значений входных сопротивлений вольтметров (АЦП).

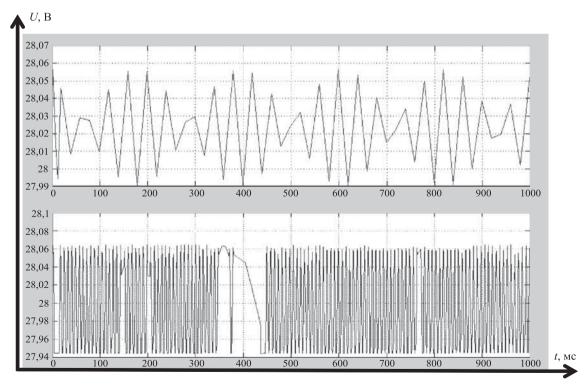


Рис. 4. Временная диаграмма напряжения на шинах питания нагрузки при различных значениях коэффициентов ПИД регулятора CH

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Высоцкий В. Е., Новикова А. П. Контроль сопротивления изоляции в двухпроводных системах автономного электроснабжения // VI Международная молодежная научно-техническая конференция "Электроэнергетика глазами молодежи". 2015 г. г. Иваново // ИГУ. № 2. С. 471—474.
- 2. **Иванчура В. И., Краснобаев Ю. В., Пожаркова И. Н.** Определение входного импеданса системы каналов энергопотребления по ограниченным данным о конечных потребителях // Электронные и электромеханические системы и устройства. Тезисы докладов XVII НТК. Томск: ФГУП НПЦ "Полюс", 2006. С. 29
- 3. **Калашников Н. С., Кустов А. Г., Панайотис С. К.** Перспективные методы контроля сопротивления изоляции разветвленных электрических цепей, Электрофорум. Санкт-Петербург, пилотный номер, 2000. 15 с.

- 4. **Коломийцев Ю. Н., Новикова А. П.** Мониторинг сопротивления изоляции в двухпроводных системах автономного электроснабжения // Вести в электроэнергетике. 2015. № 4. С. 17—25.
- 5. **Нгуен Куок Уи.** Быстродействующие устройства контроля сопротивления изоляции для систем управления энергетическими объектами. Дисс.... канд. техн. наук. Новочеркасск, 2015.
- 6. Панфилов Д. И., Чепурин И. Н., Миронов В. Н., Обухов С. Г., Шитов В. А., Иванов В. С.: В 2 т. / Под общей ред. Д. И. Панфилова. Электротехника и электроника в экспериментах и упражнениях: Практикум на Electronics Workbench. Т. 2: Электроника. М.: МЭИ, 2004. 325 с. ISBN: 5-7046-0954-6 (изд-е 2-е, перераб и доп.)
- 7. **Пожаркова И. Н.** Формирование требований к выходному импедансу систем электропитания космических аппаратов. Дисс. ... канд. техн. наук 9214413: Сиб. федеральн. университет, 2009.

Бульдозеры ЧЕТРА Т40 отправились на алмазные прииски Якутии



Три 65-тонных бульдозера ЧЕТРА Т40 пополнили технологический парк компании "Алмазы Анабара", одного из ведущих промышленных предприятий России, основная сфера деятельности которого — добыча алмазов и геологоразведочные работы.

Машины будут работать на прииске "Маят", который расположен на территории Анабарского и Оленекского районов (улусов) Республики Саха (Якутия). Напомним, что АО "Алмазы Анабара" — дочернее предприятие АК "АЛРОСА", единственное в мире крупное предприятие, ведущее добычу алмазов на россыпных месторождениях. Горнопромышленники трудятся в четырех районах Якутии: Анабарском, Оленекском, Булунском и Жиганском улусах. "Алмазы Анабара" добыли в 2012 г. 2,4 млн карат драгоценного сырья, в 2013 г. суммарная добыча алмазов достигла 4,5 млн карат.

"Масса и мощность двигателя гарантируют ЧЕТРА T40 производительность, качество стали и сборки — надежность — и все это позволяет успешно эксплуатировать бульдозер на абразивных породах при добыче алмазов в условиях Крайнего Севера", — отмечает исполнительный директор ОАО "ЧЕТРА-ПМ" Ирина Машенькина.

При разработке бульдозера ЧЕТРА Т40 — самого мощного в модельном ряду промышленной спецтехники ЧЕТРА — конструкторы ориентировались на требования специалистов горнодобывающей промышленности. Так, ЧЕТРА Т40, оснащенный производительным и экономичным двигателем Cummins мощностью 590 л.с., как и любую промышленную технику ЧЕТРА, можно эксплуатировать с полной нагрузкой в диапазоне температур от -50 до +35 °C.

Вместе с тем ЧЕТРА Т40 многофункционален: в зависимости от производственных задач на машину можно установить рыхлительное оборудование, полусферический или сферический отвалы. В свою очередь, модульная конструкция всех узлов и систем ЧЕТРА Т40 — ходовой части, трансмиссии, рабочего оборудования, кабины и систем управления — гарантирует простоту технического обслуживания бульдозера.

Несмотря на крупные габариты, ЧЕТРА Т40 легок в управлении благодаря гидромеханической трансмиссии с электрогидравлическим управлением джойстиками из кабины оператора. Одновременно гидромеханическая трансмиссия бульдозера позволяет наиболее полно использовать мощность двигателя, добиваться высоких тяговых характеристик и разрабатывать даже мерзлые и скальные грунты.

Позаботились российские инженеры и о комфорте. Рабочее место оператора сконструировано с учетом требований эргономики: конструкция кабины с двойным остеклением обеспечивает оператору машины максимальный обзор оборудования и рабочих зон. Шумопоглощающая обивка кабины и подрессоренное регулируемое сиденье сводят к минимуму шум и вибрации. Оптимальный микроклимат в кабине обеспечивают кондиционер, а также зависимый и независимый отопители.

Между тем система онлайн-мониторинга работающей техники, которой оснащается ЧЕТРА Т40, позволяет добиться еще более эффективной эксплуатации бульдозера: при наличии доступа в Интернет в режиме реального времени можно следить за местонахождением каждой машины ЧЕТРА, расходом топлива, состоянием аварийных датчиков, временем наработки и т.д. Информацию о состоянии техники собирает и передает бортовое навигационно-связное оборудование ГЛОНАСС/GPS, установленное на всех моделях промышленной техники бренда.

УДК 629.341:004.891.3

В. А. Максимов, д-р техн. наук, профессор, В. В. Гребенюк, инженер, МАДИ,

Р. И. Исмаилов, канд. техн. наук, **П. В. Максимов,** инженер ГУП "Мосгортранс" E-mail: vamaximov57@mail.ru

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БОРТОВОГО ДИАГНОСТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ОЦЕНКИ СЛОЖНОСТИ МАРШРУТА ДВИЖЕНИЯ ГОРОДСКИХ АВТОБУСОВ

В последнее время в автобусные парки ГУП "Мосгортранс" поступает новый низкопольный подвижной состав. Это автобусы Евро 5. Они имеют основные узлы, системы и агрегаты, изготовленные различными производителями. Электронные устройства контроля работы и технического состояния основных узлов, систем и агрегатов автобуса разделены на различные блоки контроля и программы, которые не связаны в единую систему. Проблема объединения всех электронных устройств контроля работы и технического состояния основных узлов, систем и агрегатов до сих пор не решена.

Ключевые слова: автобусы, городские автобусы, подвижной состав, отказы, неисправности, техническое состояние, параметры технического состояния, контроль технического состояния, контроль работы, эксплуатация подвижного состава, бортовой диагностический комплекс

Recently in the bus fleets of state unitary enterprise "Mosgortrans" comes a new low-floor rolling stock. The buses are Euro 5. They have the basic components, systems and assemblies manufactured by different manufacturers. Electronic device control operation and the technical condition of the basic units, systems and units of the bus is divided into different control units and programs which are not connected in a single system. The problem of combining all electronic devices controlling the operation and technical condition of their main components, systems and assemblies is still not resolved.

Keywords: buses, city buses, rolling stock, fault, malfunction, technical condition, the technical condition parameters, condition monitoring, monitoring of operation, maintenance of rolling stock, on-Board diagnostic system

При эксплуатации нового подвижного состава возникают неисправности и отказы встроенного оборудования, которые невозможно своевременно определить при помощи штатных систем контроля и диагностики. Часть проблем эксплуатационного характера возникает по халатности водителя автобуса, но его вину при этом доказать не удается.

Для решения вышеописанных проблем был создан специальный бортовой диагностический комплекс (БДК) для контроля за работой и техническим состоянием основных узлов, систем и агрегатов автобусов ЛиАЗ-5292.

Бортовой диагностический комплекс предназначен для автономного оперативного контроля за текущими значениями параметров технического состояния основных систем, узлов и агрегатов автобуса, обнаружения их отклонений от установленного норматива в работе, оповещений об этом водителя на русском языке или звуковой сигнализацией, а также для записи полученной информации на сменный носитель информации. Следует отметить, что большинство регистрируемых параметров не фиксируются штатными диагностическими средствами автобуса.

БДК фиксирует следующие параметры (интервал 2 c — может меняться).

- 1. Канал 1. Обороты коленчатого вала двигателя/ Тахометр. Запись количества оборотов коленчатого вала ДВС за 1 минуту на сменный носитель информации.
 - 2. Канал 2. Обороты карданного вала.
- 3. Канал 3. Ошибка "Пониженный уровень масла в расширительном бачке гидромотора привода вентилятора системы охлаждения ДВС". При падении уровня гидравлической жидкости на время более 30 с

водителю на текстовом дисплее отображается сообщение с мигающей подсветкой и звуковой сигнализацией: "Низкий уровень масла в гидромуфте!" и производится запись ошибки на сменный носитель информации.

- 4. Канал 4. Температура 1 в салоне автобуса. В носовой части пассажирского салона установлена термопара, с которой производится запись на сменный носитель информации значений температуры в градусах Цельсия. Через 30 мин после пуска ДВС при температуре в салоне ниже заданной (+18 градусов Цельсия) водителю на текстовом дисплее отображается сообщение с мигающей подсветкой и звуковой сигнализацией: "Низкая температура в салоне!". Данная ошибка на карту памяти не записывается, регистрируется на текстовом дисплее.
- 5. Канал 5. Температура 2 в салоне автобуса. В кормовой части пассажирского салона установлена термопара, с которой производится запись на сменный носитель информации значения температуры. Через 30 мин после пуска ДВС при температуре в салоне ниже заданной (+18 градусов Цельсия) водителю на текстовом дисплее отображается сообщение с мигающей подсветкой и звуковой сигнализацией: "Низкая температура в салоне!". Данная ошибка на карту памяти не записывается, регистрируется на текстовом дисплее.
- 6. Канал 6. Температура теплоносителя системы охлаждения ДВС. В моторном отделении на подающем трубопроводе установлена термопара, с которой на сменный носитель производится запись информации температуры в градусах Цельсия. При превышении температуры заданного значения, например 110 градусов Цельсия, водителю на текстовом дисплее отображается сообщение с мигающей подсветкой на текстовом дисплее и звуковой сигнализацией: "Перегрев двигателя, прекратить движение!" Запись на сменный носитель информации не производится, ошибка регистрируется на текстовом дисплее.
- 7. Канал 7. Пройденный путь в километрах. Производится запись на сменный носитель информации с индукционного датчика, установленного возле карланного вала.
- 8. Канал 8. Уровень топлива в баке. Производится запись на сменный носитель информации от штатного датчика.
- 9. Канал 9. Напряжение бортовой сети. Производится запись на сменный носитель информации в Вольтах.
- 10. Канал 10. Ошибка "Включение нейтральной передачи при движении". При движении автобуса и нажатии на клавишу "N" пульта управления АКП водителю на текстовом дисплее отображается сообщение с мигающей подсветкой и звуковой сигнализацией: "Включена нейтраль, прекратить движение!" и производится запись ошибки на сменный носитель информации.

- 11. Канал 11. Количество нажатий на педаль тормоза. Задействован контакт от лапочки на "стоп" сигнала. Производится запись на сменный носитель информации.
- 12. Канал 12. Ошибка "Стоянка с работающим двигателем более 5 минут". При работе двигателя на холостом ходу более 5 мин возникает угроза отказа турбокомпрессора, поэтому водителю на текстовом дисплее отображается сообщение с мигающей подсветкой и звуковой сигнализацией: "Угроза отказа турбокомпрессора, начать движение!" и производится запись ошибки на сменный носитель информации.
- 13. Канал 13. Ошибка "Движение с открытыми пассажирскими дверьми". При движении с открытыми пассажирскими дверьми водителю на текстовом дисплее отображается сообщение с мигающей подсветкой и звуковой сигнализацией: "Открыты двери, прекратить движение!" и производится запись ошибки на сменный носитель информации.
- 14. Канал 14. Скорость движения автобуса. Производится запись на сменный носитель информации в км/ч.
- 15. Канал 15. Ошибка "Падение уровня антифриза в расширительном баке". При падении уровня антифриза ниже заданного значения водителю на текстовом дисплее отображается сообщение с мигающей подсветкой на текстовом дисплее и звуковой сигнализацией: "Низкий уровень антифриза в расширительном баке!" и производится запись на сменный носитель информации.
- 16. Канал 16. Количество поворотов рулевого колеса. Установлен индукционный датчик на рулевом колесе. Производится запись на сменный носитель информации.
- 17. Параллельно с указанными данными фиксируется реальное астрономическое время.

Концептуальные особенности конструирования прибора представлены на рис. 1.

Обзор аналогов позволил остановиться на дальнейшей разработке, связанной с созданием прибора, базирующегося на контроллере с серийными комплектующими:

- 1. Микроконтроллер Siemens Logo 6.
- 2. Расширитель аналоговых сигналов SiemensLogo AM2AQ.
- 3. Расширитель аналоговых сигналов SiemensLogo AM2 PT100.
- 4. Модуль аналогового ввода-вывода SiemensLogo DM8 24.
 - 5. Сенсорный дисплей Siemens Logo TD (рис. 2).
- 6. Цифровой многоканальный самописец "Flash-Recorder-2-16RTC-SD".

Структурная схема прибора представлена на рис. 3.

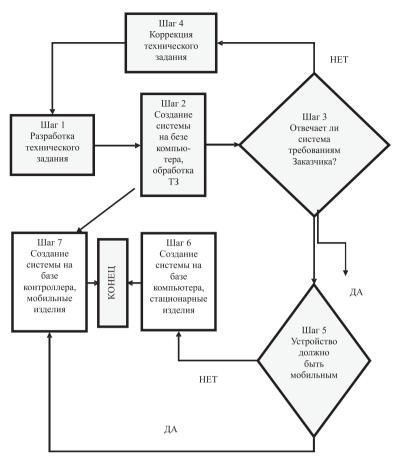


Рис. 1. Концептуальные особенности конструирования прибора

Данный выбор обусловлен тем, что сам контроллер и другие комплектующие прибора испытаны и отработаны в схожих условиях эксплуатации, имеют сертификаты соответствия и гарантированно обеспечивают выполнение возложенных на них функций.

Фиксация указанных параметров дает возможность в реальном масштабе времени регистрировать и хранить информацию о техническом состоянии основных узлов и агрегатов автобуса. Это позволит предупреждать отказы и неисправности двигателя и АКПП за счет заблаговременного оповещения водителя, предотвращать хищения топлива, выявлять нарушения отдельных статей правил эксплуатации автобусов. В случае отказов и других нарушений при эксплуатации ПС БДК может быть использован в качестве инструментария

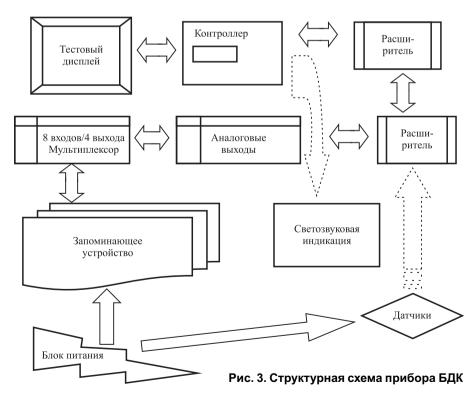


Рис. 2. Внешний вид блока сенсорного дисплея БДК

при определении виновника выявленных нарушений. Кроме того, собранные статистические данные по указанным параметрам могут быть использованы для объективной оценки условий эксплуатации ПС (сложности маршрута движения).

Результаты обследования ряда маршрутов 14 автобусного парка филиала ГУП "Мосгортранс" показали следующее.

• Даже на одном маршруте в разное время суток условия работы экипажа (водительавтобус) различаются по сложности. Например, число торможений различается в 2—5 раз,



	Нисло поворотов Мулевого колеса	330	330	331	331
	Ошибка "Падение уровня антифриза в расширительном баке"	0	0	0	0
	Скорость движения автобуса, км/ч	30	33	28	20
агмент)	Ошибка "Движение с открытыми" пассажирскими дверями"	0	0	0	0
гранс" (фр	Ошибка "Стоянка с работающим двитателем более 4 минут"	0	0	0	0
"Мосгорт	Число нажатий на педаль тормоза	221	221	222	224
ввания ряда маршрутов 14 автобусного парка филиала ГУП "Мосгортранс" (фрагмент)	Ошибка "Включение при движении"	0	0	0	0
парка ф	Напряжение бортовой сети, В	26	26	26	26
гобусного	Уровень топлива в баке, л	218	228	228	228
тов 14 ав	путь, км Пройденный	2	2	2	2
а маршру	пертизоноппэт ваутвраг. ЭЯД винэджвгхо ымэтэлэ	59	09	65	59
ания ряд	Температура 2 салона автобуса	15	15	15	15
обследов	Температура 1 салона автобуса	18	18	18	18
Результаты обследо	Ошибка пилетемы отпарать привода вентилятора потстемы отпарать потремето охлаждения ДВС"	0	0	0	0
	Карлан	968	196	928	723
	Тахометр	1079	1015	1447	1015
	вмэфВ	6:23:34	6:23:37	6:23:40	6:23:44

количество поворотов руля изменяется в 1,5—4 раза и т.д. (таблица).

• Условия эксплуатации на разных маршрутах также различаются. Об этом свидетельствует существенное различие в скоростях движения как внутри маршрута в разное время рейса, так и между маршрутами. Это определенным образом сказывается как на работе водителя, так и на режимах функционирования основных узлов и агрегатов автобуса, а следовательно, и на эксплуатационных затратах.

Таким образом, используя БДК, можно:

- 1) четко фиксировать режимы и условия работы на конкретном маршруте и определенным образом их корректировать, внося изменении, например, в расписание движения автобуса;
- 2) использовать БДК (после некоторой доработки) в качестве обучающего комплекса для водителей линейных автобусов. Это повысит культуру и качество работы водителей как с техникой, так и с пассажирами;
- 3) поводить оценку эффективности техникоэксплуатационных свойств новых моделей автобусов, которые испытывает и собирается приобретать ГУП "Мосгортранс", и по результатам опытной эксплуатации квалифицированно и аргументированно формулировать требования к заводу-изготовителю на предмет настройки силового агрегата (двигатель—АКПП) об условиях эксплуатации ГУП "Мосгортранс". Это даст экономию топлива, эксплуатационных материалов и улучшит экологию;
- 4) проводить инструментальный контроль за работой "нерадивых" водителей и экипажей (систематически нарушающих правила эксплуатации автобусов, имеющих повышенный расход топлива, эксплуатационных материалов и технических жидкостей, чаще находящихся в ремонте и т.д.);
- 5) при необходимости проводить научные исследования в области эксплуатации городских автобусов с целью ее оптимизации и уточнения каких-либо положений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1. **Краткая характеристика бортового диагностического комплекса** городского автобуса / Гребенюк В. В., Максимов В. А., Исмаилов Р. И., Дунин А. В., Князьков Г. Д., Рощак С. В. // Актуальные проблемы эксплуатации автотранспортных средств: Материалы XIV Междунар. науч.-практ. конф. Владим. гос. ун-т. — Владимир, 2011.
- 2. Оценка сложности маршрута движения городских автобусов с использованием бортового диагностического комплекса / Гребенюк В. В., Максимов В. А., Исмаилов Р. И., Максимов П. В., Рощак С. В. // Материалы 72-й научно-методической и научно-исследовательской конференции МАДИ. Секция Проблемы ТЭ и автосервиса ПС АТ. М.: МАДИ, 2014. С. 44—51.

УДК 621:330.131.7

В. А.Зорин, д-р техн. наук, профессор, К. Ю. Ким, магистрант, МАДИ

E-mail: madi-dm@list.ru

ПРИМЕНЕНИЕ ДВУХЭТАПНОГО ПОДХОДА К ОЦЕНКЕ РИСКОВ ЛЕГКОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ С УЧЕТОМ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ (НА ПРИМЕРЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ В РФ)

Раскрывается возможность применения оценки рисков применительно к колесным транспортным средствам. Описан общий подход к оценке рисков автомобиля с учетом условий эксплуатации.

Ключевые слова: риск, оценка, методика, автомобиль.

Revealed the possibility of the use of risk assessment in relation to wheeled vehicles. Describes the general approach to risk assessment taking into account vehicle operating conditions.

Keywords: risk, assessment, methodology, car.

Одной из основных статей затрат любого автомобильного производителя составляют затраты на гарантийное обслуживание. Срок гарантийного обслуживания является сильным аргументом при выборе марки автомобиля конечным пользователем. Издавна производители пытаются найти оптимальные значения сроков гарантии, которые позволят привлечь клиента без существенных затрат (потерь) на выполнение гарантийных обязательств.

Основной вклад на пути достижения этой цели вносит уровень технологий самого производителя, "ноу-хау", которые позволяют выделить его среди конкурентного окружения. Многое зависит и от качества материалов, уровня производства комплектующих основных поставщиков компонентов и многие другие факторы. Все эти факторы в совокупности своей оказывают влияние на надежность составляющих агрегатов и узлов автомобиля, а в конечном счете на итоговую надежность автомобиля. Надежность автомобиля является одной из основных составляющих безопасности его эксплуатации. Довольно часто высокие стандарты на производстве, а также высокое качество конструкционных материалов не являются стопроцентной гарантией низких затрат на обеспечение надежности автомобиля в эксплуатации, поскольку существует множество факторов, которые невозможно учесть при производстве и проектировании:

— человеческий фактор при управлении автомобилем;

- климатические особенности;
- режимы эксплуатации и периодичность TO;
- качество и состояние дорожного покрытия;
- качество эксплуатационных материалов и запасных частей;
- уровень технологической оснащенности сервисных предприятий;
- уровень квалификации персонала, проводящего техническое обслуживание и ремонт автомобиля.

Все эти факторы вносят серьезные коррективы, меняя кривую затрат автомобильного производителя на гарантийное обслуживание в сторону увеличения.

Инструментов, позволяющих точно спрогнозировать величину затрат с учетом многофакторного влияния условий эксплуатации на техническое состояние и потребность автомобиля в ремонте, практически нет. По этой причине большинство решений дилер принимает либо непосредственно на основе собственного опыта и интуиции или же опираясь на математический аппарат (математическое моделирование или элементы теории вероятности), но без учета особенностей эксплуатации.

В статье делается попытка исследовать возможность использования методов оценки рисков для идентификаций возможных опасных событий, приводящих к дополнительным затратам на этапе эксплуатации. Проведение такого анализа раз в год после начала эксплуатации позволит исключить необходимость отзывных кампаний при выявлении серийных опасных отказов автомобиля.

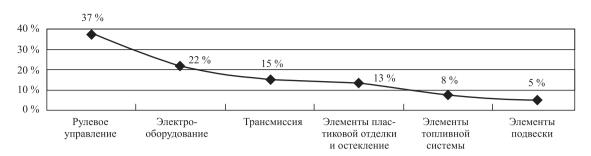


Рис. 1. График распределения замен деталей по системам автомобиля

В качестве объекта исследования выбран легковой автомобиль сегмента В, наиболее популярного в России. (В целях безопасности и соблюдения конфиденциальности производитель и марка данного автомобиля не раскрываются.)

На основе данных по эксплуатации построен график распределения отказов по следующим системам автомобиля (рис. 1).

Наиболее важными с точки зрения безопасности автомобиля является система рулевого управления. Для рулевого управления характерен следующий список обращений клиентов по неисправностям, обнаруженным в течение гарантийного периода (табл. 1) т. е. по этим позициям производитель несет убытки ввиду каких-либо причин, связанных с эксплуатацией автомобиля.

Зная распределение отказов по запчастям и опираясь на положения ГОСТ Р ИСО/МЭК 31010—2011 Менеджмент риска. Методы оценки риска [11], проводим анализ опасностей и собственно оценку рисков.

На выходе в зависимости от цели проведения анализа рисков получаем качественное или количественное выражение риска.

На рис. 2 приведен пример качественной оценки риска. Цифрами указаны возможные анализируемые риски. Допустим, под номером 1 это риск выхода из строя насоса ГУР. Этот риск оказался наиболее критичным. Соответственно, необходимо разработать ряд мер, призванных снизить данный риск. Одним из таких вариантов может быть замена ГУРа на электроусилитель руля.

Для решения проблемы влияния региональных особенностей эксплуатации на надежность предлагается использовать двухэтапный подход к оценке рисков легкового автомобиля (рис. 3). Это необходимо для получения предварительных данных для дальнейшего принятия решений касательно поставки новой модели автомобиля без каких-либо существенных изменений в конструкции или условий предоставления гарантии.

Таблица 1 Список обращений клиентов по неисправностям, обнаруженным в течение гарантийного периода (рулевое управление)

Наименование детали	Замены, %
Шланг высокого давления ГУР	16
Рейка рулевая	13
Карданный вал рулевой колонки	8
Насос ГУР	3
Трубка системы рулевого управления	2
Колонка рулевая	1
Воздушный клапан	1
Кронштейн упора рейки	1

100 (2)75 Вероятность (5)(3)(8)(11)50 (6) (7 (10)25 0 (4) 3 2 Значимость

Рис. 2. Результаты качественной оценки риска

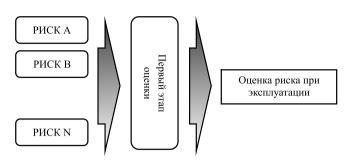


Рис. 3. Двухэтапный подход к обобщенной оценке риска при эксплуатации автомобиля



Рис. 4. Виды проявления риска при эксплуатации

В связи с этим предлагается адаптировать методику оценки рисков к реалиям эксплуатации в условиях конкретного региона, в нашем случае — $P\Phi$.

Этап первый: выделение группы рисков, наиболее сильно влияющих на основные цели компании. Ранжирование каждого из выбранных рисков.

Этап второй: расчет общей оценки риска с учетом условий эксплуатации.

На основе опытных наблюдений было выявлено, что на гарантийные затраты влияют следующие факторы (рис. 4):

- 1) уровень надежности автомобиля;
- 2) региональные особенности эксплуатации автомобиля;
 - 3) режимы использования автомобиля;
- 4) стоимость запасных частей, эксплуатационных материалов и работ.

Таблица 2

Шкала оценки риска при эксплуатации автомобиля

Риск	Балл	Оценка	Описание
	1 Низкий		Элементы экстерьера, интерьера кузова
D C	2	Средний	Системы пассивной безопасности, ДВС, трансмиссия, подвеска
Риск разработки	3	Высокий	Рулевое управление, системы активной безопасности
	4	Критический	Тормозная система
	1	Низкий	Москва и Северо-западный регион
Риск региона	2	Средний	Центральный и Южный регионы
эксплуатации	3	Высокий	Дальний Восток
4		Критический	Сибирь
1		Низкий	Свыше 45 лет
Риск режима	2	Средний	30—45 лет
эксплуатации	3	Высокий	23—30 лет
	4	Критический	До 23 лет
1 Низкий Модель является локалы на территории РФ		Низкий	Модель является локальной, и основные запасные части производятся на территории Р Φ
Риск увеличения стоимости запасных	2	Средний	Большинство запасных частей импортируются. Есть возможность наладить локальное производство
частей и работ	3	Высокий	100% импорт и невозможность наладить локальное производство ввиду отсутствия технологий
	4	Критический	Автопроизводитель покидает рынок РФ

Для облегчения расчетов нами были приняты некоторые ограничения.

В процессе разработки автомобиля возникают риски, характеризующиеся вероятностью возникновения отказов и неисправностей его основных узлов, систем, влияющих на безопасную эксплуатацию (без учета риска отказов электронных систем управления).

Режим эксплуатации определяется манерой вождения автомобиля, которая зависит от характера водителя. Поскольку спрогнозировать манеру вождения не представляется возможным, нами была принята шкала оценки в зависимости от возраста владельца, косвенно влияющего на режим эксплуатации автомобиля. Возраст владельца указывается при покупке автомобиля.

Шкалы оценки для каждого из видов риска представлены в табл. 2.

Для получения единой оценки риска авторы предлагают использовать линейную модель взвешенной суммы факторов вида:

$$R_{00} = A_1 X_1 + A_2 X_2 + A_3 X_3 + \dots + A_n X_n, \tag{1}$$

где $R_{\rm of}$ — общая оценка риска (в данном случае при эксплуатации); $X_1, X_2...X_n$ — независимые переменные (оценки рисков); $A_1, A_2...A_n$ — коэффициенты значимости факторов (важность фактора, определяется экспертным методом).

Для получения значения от 0 до $100\,\%$ нормируем общую величину риска по формуле:

$$Y = 100 \% \cdot (R_{00} - \min) / (\max - \min),$$
 (2)

где Y— нормированная оценка, %; min — минимально возможная оценка риска из табл. 2; max — максимально возможная оценка риска из табл. 2.

Таблица интерпретации нормированной оценки риска может быть адаптирована под конкретную организацию с учетом ее политики и стандартов.

Использование предлагаемого подхода при организации поставок новых моделей автомобилей и обосновании гарантийных сроков их эксплуатации обеспечивает возможность планирования управляющих технических воздействий с целью обеспечения безопасности использования автомобиля и снижения расходов по гарантии с учетом региональных особенностей эксплуатации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1. **Зорин В. А.** Надежность механических систем М: Изд-во "ИНФРА-М", 2015. 380 с.
- Руководство ИСО/МЭК 73:2002 "Управление риском. Словарь. Руководящие указания по использованию в стандартах".
- ФЗ 184 "О техничсеком регулировании".
- TP TC 010/2011 "О безопасности машин и оборудования".
- ТР ТС 018/2011 "О безопасности колесных транспортных средств".
- 6. ГОСТ Р ИСО/МЭК 31010—2011.

"КАМАЗ" решает проблему импортозамещения

На "КАМАЗ" прошла конференция с участием потенциальных поставщиков комплектующих из России.

ПАО "КАМАЗ" активно работает над замещением импортных комплектующих, использующихся в производстве автомобилей нового модельного ряда. Участники конференции побывали на выставке с образцами деталей кабины, которые предстоит локализовать в России. В экспозиции были представлены 300 деталей зарубежного производства для кабины, которой комплектуются новые автомобили. Спрос на грузовики (КАМАЗ-5490, КАМАЗ-65206, КАМАЗ-65207 и другие модели) непрерывно растет. Этот факт привлекает внимание российских поставщиков к локализации комплектующих.

"Объем продаж грузовых автомобилей нового поколения к 2022 г. составит около 70 тыс. единиц, — дает прогноз руководитель проекта по локализации компонентов автомобилей нового модельного ряда ПАО "КАМАЗ" Альберт Визингер. — Сегодня особенно важно увеличить локализацию этих перспективных автомобилей, заменив импортные компоненты на изготовленные в России". По словам Визингера, программа импортозамещения позволит сдержать рост цен на грузовики нового модельного ряда и сохранить растущий спрос. Сейчас соотношение "цена—качество" являются главным конкурентным преимуществом этой техники.

Интерес к теме уже проявили первые российские компании. Среди них те, кто готов взять обязательства по изготовлению 30 позиций. На "КАМАЗе" побывали представители 60 предприятий, заинтересованных в сотрудничестве.

Пресс-служба ПАО "КАМАЗ"

УДК 621.43 (076.5)

А. В. Дунаев, канд. техн. наук, Всероссийский научно-исследовательский технологический институт ремонта и эксплуатации машинно-тракторного парка" (ФГБНУ ГОСНИТИ), e-mail: dunaev135@mail.ru, С. А. Шмелев, канд. техн. наук, Акционерное общество "Конструкторское бюро точного машиностроения им. А. Э. Нудельмана", e-mail: s.shmelev86@mail.ru, А. И. Дворцов, Научно-исследовательский испытательный центр (исследований и перспектив развития АТ ВС РФ) 3 Центрального научно-исследовательского института Минобороны России, e-mail: ya.damaskus@yandex.ru

КОНТРОЛЬ ЗА РАСХОДОМ ТОПЛИВА АВТОТРАКТОРНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

В статье проведен анализ состояния расходометрии топлива на автотранспортных предприятиях в стране и за рубежом. Предложена схема массового расходомера топлива на основе погружного гидростатического датчика в баке машины, отличающегося независимостью от конструкции систем топливоподачи, вариации состава топлива, изменения его температуры и плотности.

Ключевые слова: расход топлива, расходомер, датчик давления, нормативы.

The analysis of the use of flow meters of diesel fuel for diesel engines in agriculture. Proposed to develop a mass flowmeter on the basis of submersible hydrostatic sensor, characterized by independence from the design fuel feed systems and variations in density of fuels with changes in temperature, and their varieties.

Keywords: fuel, a flowmeter, pressure sensor, standards.

Отечественный и зарубежный опыт эксплуатации автомобильного транспорта, тракторов, дорожно-строительных и других самоходных машин показывает, что внедрение контроля расхода топлива в процессе их эксплуатации повлияет на повышение эффективности их использования.

Расход топлива (Gт) — один из важнейших показателей не только экономичности двигателей внутреннего сгорания (ДВС), но и технического состояния их топливной аппаратуры, цилиндро-поршневой группы и газораспределительного механизма. Его контролируют [1—4]:

- при определении мощности автотракторных дизелей согласно ГОСТ 18509 и автомобильных ДВС по ГОСТ Р 51998;
- по значениям массового расхода определяют удельный (g_e) расход топлива ($r/э.л.с. \cdot ч.$ или r/кВт) [2] как показатель качества работы ДВС;
- при диагностировании автомобилей, тракторов, сельскохозяйственных, строительных и дорожных машин [1, 3, 4] для определения их потребности в обслуживании и регулировке приборов системы питания ДВС;
- текущее значение расхода позволяет наглядно контролировать реакцию ДВС на действующую на

него нагрузку, регулировку его топливной аппаратуры и т. п.

Массовый расход топлива является одним из первых в перечне диагностических параметров по ГОСТ 20760. Отсюда ясна важность в оснащении инженерных служб автотранспортных предприятий (АТП) приборами непрерывных показаний расхода топлива.

Важность вопроса сохранения высоких топливноэнергетических показателей автотракторных ДВС остается по-прежнему актуальной вследствие обострения экономических, экологических факторов и др. Несмотря на ежегодное увеличение добычи нефти в стране, цена на углеводородное топливо за последнее десятилетие увеличилась в 4—5 раз. Снижение потерь расхода топлива хотя бы на 1 % может обеспечить стране многомиллионный экономический эффект.

В настоящее время к расходомерам [5, 6] предъявляется большое количество требований, удовлетворить которые не всегда бывает возможным, но при этом основными являются: достаточная точность, надежность, независимость результатов измерения от изменения плотности топлив, быстродействие и должный диапазон измерения. К другим требова-

ниям относится необходимость контроля расхода разнообразной номенклатуры вещества с отличающимися свойствами при различных давлениях и температуре [5, 6].

Существующие расходомеры подразделены на группы [5, 6].

- 1. Приборы, основанные на гидродинамических метолах:
 - переменного перепада давления;
 - переменного уровня;
 - обтекания;
 - вихревые;
 - парциальные.
 - 2. Приборы с непрерывно движущимся телом:
 - тахометрические;
 - силовые (в том числе вибрационные);
 - с автоколебательным телом.
- 3. Приборы, основанные на различных физических явлениях:
 - тепловые;
 - электромагнитные;
 - акустические;
 - оптические;
 - ядерно-магнитные;
 - ионизационные.
 - 4. Приборы, основанные на особых методах:
 - меточные;
 - корреляционные;
 - концентрационные.

В целом на основе перечисленных методов сегодня применяется широкая гамма расходомеров (более 50 типов [5, 6]).

В автомобильной отрасли наиболее широкое распространение получили расходомеры первых двух групп. При заводских испытаниях ДВС обкаточные станции моторных заводов имели, в основном, расходомеры на основе торговых весов. Они же использовались и на ремонтно-механических заводах [1].

В зарубежной испытательной и ремонтной практике также были известны различные весовые расходомеры [1]. Они имеют недостаточную точность и позволяют измерять часовой расход только по определенной навеске топлива за измеренное время в одной точке скоростной или нагрузочной характеристики двигателя. В ГОСНИТИ было несколько попыток создания более точных приборов, однако большинство их были неудачными. В целом в ГОСНИТИ были разработаны шесть макетных и опытных образцов расходомеров, но серийных непрерывных показаний расхода в производстве освоено только два.

С 30-х гг. прошлого столетия имелись средства измерения расхода газов и жидкостей на основе стандартных сужающих устройств [5, 6]. При соблюдении ТУ на сужающие устройства и на дифференциальные манометры по ГОСТ 18140—72 (ГОСТ 3720—66) такие расходомеры непрерывного измерения расходов согласно "Правилам 28-36", "Правилам 28-54", "Правилам 28-64 измерения расхода жидкостей, газов и паров стандартными диафрагмами и соплами" Госстандарта СССР градуировке не подлежали, а расходы газов и жидкостей по их показаниям определялся по нормированным табличным данным. Такие установки с дифференциальными манометрами ДМ, ДМР от НИИТеплоприбора (а позднее — с прецизионными преобразователями "Сапфир-22") производства Московского завода "Манометр" составляли в стране 2/3 расходомеров. Однако в силу больших диапазонов измерений $(m^3/4)$, дороговизны, громоздкости для диагностирования автомобильной техники они неприменимы.

В системе технического обслуживания автотракторной техники в 70—80-х гг. разработана серия поршеньковых расходомеров (приборы ИП-60 и серия их аналогов), а позже аналоги — венгерские расходомеры EUF-40, EUF-80 и "Маршрутный оптимизатор" от НПО "Ангстрем". Их недостаток — высокая чувствительность к загрязнениям топлива, поэтому эти расходомеры в широкой практике не прижились.

Для контроля расхода топлива автотракторной техники в полевых условиях до сих пор нет общепринятых средств измерений расхода топлива, что характеризуется большим перечнем различных конструкций расходомеров (табл. 1 [3]).

Счетчик расхода топлива ИП-179 и расходомер топлива ИП-197 с относительной погрешностью измерений 1,5%, разработанные в 1989 г. в КубНИИТиМ, до сих пор применяются на автотракторной технике (рис. 1) [3].

Их недостатки:

- измерение расхода топлива без учета его перепуска в бак;
- отсутствие показаний расхода (нет пересчета импульсов датчика в расход).

Развитием приборов ИП-179 и ИП-197 является прибор ИП-204 с показаниями уже расхода в л/ч. Кроме приведенных, имеются другие приборы с разными характеристиками, в т.ч. расходомеры серии DFM (на 50, 90, 100, 220, 250 и 400 л/ч от СП "Технотон", Белоруссия) с двумя датчиками.

В настоящее время наиболее удачной разработкой из современных средств контроля расхода топлива

Таблица 1 Средства контроля расхода топлива на автотракторной технике

Марка прибора	Ввод в реестр средств измере- ний РФ	Количество датчиков	Погрешность, %; диапазон измерений, л/ч
Расходомер ИП-179 и ИП-197	+	1	1,5; 5100 и 580
Роторно-поршневой счетчик топлива ИП-204	+	1	1,5; 560
Расходомер EDM 1404	_	2	1; 4200
Расходомер ИП-260	_	2	1 (1,37) 4200
Счетчик ШЖУ-25 (ШЖУ-25М6)	+	1	0,25 от выданного топлива 0,7272 м ³ /ч
Расходомер РС 01.10.20.42	+	1	1,33; 0,0580 м ³ /ч
Расходомер СКРТ-30 с датчиком: ДРТ -5.2 ДРТ-7.5	+	1	1; 280 5200
Расходомер ПОРТ-1	-	1	до 5; 1,55 до 3; 520 до 2; 2090



Рис. 1. Счетчик расхода топлива ИП-179 (справа) и расходомер топлива ИП-197 (слева)





Рис. 2. Комплект счетчика-расходомера топлива ИП-260 (слева) и датчик расхода топлива EDM 1404 (справа)

в полевых условиях являются расходомер топлива $И\Pi$ -260 с датчиком EDM 1404 (рис. 2).

Его недостатком, как и всех расходомеров, имеющих два датчика, является невозможность включения в Госреестре средств измерений, так как в сливной топливной магистрали идет нестационарный поток горячего вспененного топлива, поэтому точный контроль расхода топлива переменной температуры без перекрытия магистрали слива фактически невозможен.

Проведенный анализ нескольких десятков разнообразных отечественных и зарубежных расходомеров [1, 3] для диагностирования автотракторных ДВС показал их недостатки [1]:

- поршеньковые расходомеры типа ИП (60, 179, 197, 204, 260 и их аналоги) чувствительны к загрязнениям топлива и отказывают в работе;
- весовые расходомеры не дают непрерывных показаний, необходимых для контроля меры загрузки ДВС;
- ротаметры непригодны вследствие колебаний поплавка ротаметра из-за пульсирующего характера потока топлива в автотракторных дизелях;
- аналогично непригодны тахометрические преобразователи, так как постоянная времени вращения их крыльчатки в разгоне потока топлива на порядок меньше постоянной времени при замедлении, что приводит к завышению расхода пульсирующих потоков топлива дизелей с топливного насоса высокого давления (ТНВД) типа ТН, УТН, НД до 15 %;
- расходомерные установки с дифференциальными манометрами ДМ, ДМР, "Сапфир-22" рассчитаны на расходы более 1 т/ч, а в массовых автотракторных дизелях расходы топлива не превышают 70 кг/ч.

К 1980 г., кроме отечественных, были известны три типа иностранных приборов, в т.ч. из ВНР, НРБ, ЧССР, Японии, Австрии [1]. Всем им были также присущи недостатки, описанные выше, и проблема контроля расхода топлива для диагностики автотракторных дизелей не была решена. В наше время



Рис. 3. Серийные датчики-расходомеры канд. техн. наук В. В. Домогацкого OP-2, OP-40, OP-400, РЛГ-100 и РЛГ-1000 со вторичным прибором МС-75

проблема измерения расхода топлива решена лишь с помощью приборов бортового контроля и управления инжекторным впрыском бензина.

К началу 2000-х гг. появились прецизионные камерные датчики-расходомеры серии ОР, РЛ, РЛГ класса точности 0,1 от В. В. Домогацкого (ЦНИИМЭ) с блоком МС-75 (рис. 3). Однако они требуют тщательной очистки топлива, дорого стоят (комплект двух датчиков со вторичным прибором стоит не менее 60 тыс. руб.) и приобретаются только крупными промышленными предприятиями.

Минское СКБ "Камертон" повторило разработку этих датчиков со своим вторичным прибором для многих отраслей промышленности Белорусии. Однако в силу малой инерционности роторов датчики ОР и РЛГ также непригодны для регистрации пульсирующего расхода топлива 4—6-цилиндровых двигателей без применения демпферов или установки в стационарном потоке. Высокая же цена датчиков со вторичным прибором также сдерживает их применение.

К 1992 г. Береговским опытно-экспериментальным заводом было выпущено 5300 расходомеров топлива типа КИ-8940-ГОСНИТИ (табл. 2) для диагностирования автотракторных ДВС. Эти приборы — КИ-8940-ГОСНИТИ, КИ-8943-ГОСНИТИ — были аттестованы по высшей категории качества и впервые для АТП внесены в Госреестр средств измерений (№ по Госреестру 10730—86). Расходомеры подлежали обозначению государственным Знаком качества в установленном порядке (решение Государственной Аттестационной комиссии зарегистрировано в Госкомитете СССР по стандартам 25.12.1986 № 105017385). Их недостаток — стационарность и контроль расхода только с перекрытием перепуска топлива в бак.

Таблица 2 Параметры расходомера дизельного топлива КИ-8940-ГОСНИТИ

Показатель	Единица измерения	Значение
Класс точности	%	3
Диапазоны измерения	кг/ч	2—20 и 10—70
Диапазон температуры топлива	°C	10—35
Время установления режима измерений, не более	С	6
Габаритные размеры расходомера	ММ	346×140×550
То же, с принадлежностями	ММ	850×255×2125
Масса расходомера	КГ	9
То же, с принадлежностями	КГ	52
Наработка на отказ	Ч	2000
Средний срок службы	лет	8

Расходомеры КИ-8940-ГОСНИТИ, КИ-8943-ГОСНИТИ модернизировались, и их аналоги КИ-8982-ГОСНИТИ, КИ-8982.01-ГОСНИТИ прошли Государственные приемочные испытания с аттестацией по высшей категории качества [1].

Для реализации бестормозного контроля топливноэнергетических показателей автотракторных дизелей с использованием переносных расходомеров было разработано МУ 10.16.0001.001—88 "Дизели тракторные, комбайновые и автомобильные. Методы контроля мощности и топливной экономичности в условиях эксплуатации" [2]. Здесь приведены номинальные и допускаемые массовые, объемные и удельные значения расхода топлива для диагностирования 20 марок тракторных, семь марок комбайновых и семь марок автомобильных дизелей.

Расходомеры КИ-8940-ГОСНИТИ и КИ-8982-ГОСНИТИ — самые простые и самые дешевые (123 руб. в ценах 1988 г.). Их производство доступно обычному машиностроительному предприятию.

Однако контроль расхода топлива автотракторных дизелей с традиционной топливной аппаратурой и с перепуском топлива из фильтров, ТНВД и

форсунок в бак очень проблематичен. Возврат нагретого топлива с пеной может превышать его расход дизелем в 20 раз.

Практика контроля топливной экономичности автотракторных дизелей показала, что основными требованиями для расходомеров являются: надежность и стабильность длительной работы; стойкость к загрязнениям в топливе; малая трудоемкость и удобство присоединения расходомера; отсутствие течи топлива в соединениях прибора.

Проблема корректного, несложного полевого контроля текущего расхода топлива автотракторных дизелей еще ждет своего решения. В связи с этим предлагается схема расходомера на основе гидростатического датчика уровня на дне топливного бака машины.

Известны гидростатические датчики уровня топлива двух типов: мембранные и колокольные (погружные). В первом случае тензорезистивный или емкостной датчик непосредственно соединен с мембраной и находится внизу резервуара, например на фланце, при этом расположение чувствительного элемента (мембраны) соответствует минимальному уровню. В случае колокольного датчика чувствительный элемент погружен в рабочую среду и передает давление жидкости на тензорезистивный сенсор через столб воздуха, запаянный в подводящей трубке.

Гидростатические датчики уровня применяются для однородных жидкостей в резервуарах без существенного движения рабочей среды. Они позволяют производить измерения в диапазоне до 250 КПа, с погрешностью 0,1 % и при температуре рабочей среды от минус 40 до плюс 120 °C. Важным досточиством гидростатических датчики уровня является достаточная точность при относительной дешевизне и простоте конструкции.

Для контроля текущего значения расхода топлива двигателей (кг/ч) в этом случае можно использовать формулу:

$$G_t = (P_i - P_{i+1}) \frac{S_{cp}}{(|T_i - T_{i+1}|)},$$

где P_i — давление в определенный момент времени в начале отсчета, кг/см²; P_{i+1} — давление через определенный промежуток времени, равный шагу измерения (4—8 с), кг/см²; $S_{\rm cp}$ — средняя площадь поверхности топлива в баке, см²; T_i — начало отсчета времени при P_i , ч; T_{i+1} — конец отсчета времени, ч.

Для измерения гидростатического давления в топливном баке машины можно использовать пьезорезистивный сенсор в герметичном металлическом



Рис. 4. Пьезорезистивный сенсор с цифровым преобразователем давления

корпусе с цифровым преобразователем давления в мм. вод. столба (рис. 4, 5). Основные характеристики датчика представлены в табл. 3.

Крепление датчика 2 (см. рис. 5) к топливному баку I осуществляется через специальный переходник, который ввертывается в сливное отверстие топливного бака.

Устройство регистрации 3 может представлять собой микропроцессорный прибор, который по значению измеренного давления и зависимой от него площади поверхности топлива вычисляет массовый расход топлива за время, достаточное для получения достоверного снижения давления в топливном баке.

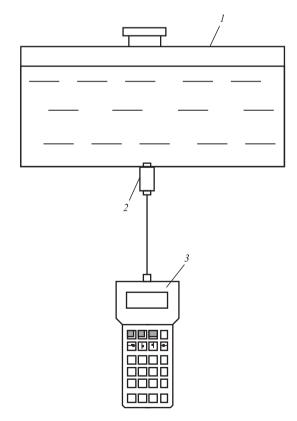


Рис. 5. Схема подключения расходомера к топливному баку

Таблица 3 **Характеристика пьезорезистивного сенсора**

Параметр	Характеристика
Диапазон измерений, бар	От 0100 мбар до 01000 бар
Тип измеряемого давления	Избыточное/абсолютное
Точность, %	±0,25
Выходные сигналы	420 мА /05 В /010 В
Температура процесса, °С	От минус 40 до плюс 150
Технологические присоединения	Любое
Класс пылевлагозащиты, ІР	IP67
Материал корпуса	Нержавеющая сталь
Производитель	STS
Сертификат Ростехнадзора	Есть
Температура окружающей среды, °С	От минус 40 до плюс 125

Достоинства предлагаемого способа контроля заключаются в простоте механических устройств, независимости измерений от перепуска топлива из топливной системы ДВС в бак машины, от из-

менения температуры и плотности разных сортов моторного топлива.

Прибор может быть запрограммирован на показание остатка топлива в баке машины. Таким образом, используя датчики гидростатического давления, можно разработать массовый расходомер для любых сортов топлива, для двигателей разных топливных систем.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1. Дунаев А. В., Колчин А. В., Михлин В. М., Чечет В. А. Контроль и восстановление топливно-экономических показателей автотракторных дизелей. М., Труды ГОСНИТИ, т. 96. С. 129—147.
- 2. Михлин В. М., Колчин А. В., Бельских В. И., Чечет В. А., Дунаев А. В. и др. Дизели тракторные, комбайновые и автомобильные. Методы контроля мощности и топливной экономичности в условиях эксплуатации. Методические указания. МУ 10.16.0001.001—88. М, ГОСНИТИ, 1989, 24 с.
- 3. **Совершенствование** методов энергетической оценки испытаний сельскохозяйственной техники применением расходомеров топлива. [Текст]: дис. ... канд. техн. наук Шмелев С. А. М., 2014, 160 с.
- Серов А. В. Стенды для контроля технического состояния и обкатки лесотранспортных машин. М., Лесная промышленность, 1969, 168 с.
- ГОСТ 15528—86. Средства измерений расхода, объема или массы протекающих жидкости и газа. Термины и определения.
- 6. **Кремлевский П. П.** Расходомеры и счетчики количества. Л., Машиностроение, Ленинградское отделение, 1989, 686 с.

Седельные тягачи KAMA3-5490 для X5 Retail Group

ПАО "КАМАЗ" (входит в Госкорпорацию Ростех) поставило партию седельных тягачей КАМАЗ-5490 в адрес крупнейшей в России продовольственной розничной компании X5 Retail Group.

Корпоративному клиенту было передано десять магистральных седельных тягачей KAMA3-5490-009-S5. Машины соответствуют экологическим стандартам Евро 5 и оснащены автоматизированной коробкой передач, благодаря которой уменьшается расход топлива, увеличивается ресурс двигателя и снижается утомляемость водителя.

Магистральный тягач КАМАЗ-5490 спроектирован с учетом российских дорожных и климатических условий эксплуатации и сочетает в себе высокий комфорт и безопасность. Высокая топливная экономичность тягачей обеспечивается двигателем Daimler OM-457 мощностью 401 л.с., а также гипоидным мостом Daimler HL6, круизконтролем. Высокая безопасность гарантируется применением передних и задних дисковых тормозов, электропневматической системы тормозов (EBS) с функцией курсовой устойчивости (ESP) и противобукосовочной системой (ASR), пневматической задней подвески с системой электронного управления ECAS, светотехники с технологией LED.

Торговые сети и распределительные центры X5 Retail Group расположены в 53 субъектах России на территории пяти федеральных округов. Учитывая этот факт, компания постоянно расширяет свой автопарк грузовых автомобилей, который в ближайшее время впервые пополнится новыми тягачами KAMA3-5490.

Пресс-служба ПАО "КАМАЗ"

УДК 51-71

А. В. Кочетков, д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВПО "Пермский национальный исследовательский политехнический университет", г. Пермь, e-mail: soni.81@mail.ru,

П. В. Федотов, инж., ООО "Научно-исследовательский центр технического регулирования", г. Саратов, e-mail: klk50@mail.ru, **В. В. Талалай,** МАДИ, e-mail: talalay@bk.ru,

М. В. Талалай, учащаяся Лицея № 1581 г. Москвы, e-mail: talalay@mail.ru

ЕСТЕСТВЕННЫЙ ГАРМОНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ (ПОСТАНОВКА МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ)

Показано, что метод разложения сложных планетных движений в теории Птолемея не является аналогом разложения в ряды Фурье. В отличие от формально-математического разложения Фурье, Птолемей использовал разложение в ряд периодических движений, имеющих реальное физическое существование. Подобный метод по праву может быть назван разложением в ряд естественных колебаний или естественным гармоническим анализом.

Разложение в ряд естественных колебаний может быть с успехом применено для анализа причин появления колебаний в динамической системе не только в астрономии, но и в других отраслях науки и техники, в том числе в автомобильном транспорте и дорожном хозяйстве.

В последующих статьях будет рассмотрено математическое моделирование естественного гармонического анализа для транспортных систем на примере ровности автомобильных дорог.

Ключевые слова: метод Птолемея, ряды Фурье, гармонический анализ, колебания динамической системы, автомобильный транспорт, дорожное хозяйство.

It is shown that the method of decomposition of the difficult planetary movements in Ptolemaeus's theory isn't analog of decomposition in Fourier's ranks. Unlike formal and mathematical decomposition of Fourier, Ptolemaeus used decomposition in a row of the periodic movements having real physical existence.

The similar method by right can be called decomposition in a row of natural fluctuations or the natural harmonious analysis.

Decomposition in a row of natural fluctuations can be applied with success to the analysis of the reasons of emergence of fluctuations in dynamic system, not only in astronomy, but also in other branches of science and technicians, including in the motor transport and road economy.

Subsequent articles will be considered mathematical modeling of natural harmonic analysis for transport systems for example, smoothness of roads.

Keywords: Ptolemaeus's method, Fourier's ranks, harmonious analysis, fluctuations of dynamic system, motor transport, road economy.

(Рисунки на 2-й полосе обложки)

Исследования теории планетных движений Птолемея проводились неоднократно [1—7]. О причинах и следствиях отказа от геоцентрической системы Птолемея мы говорили в первом цикле статей [8—10]. В данной статье мы попытаемся разгадать идеи, заложенные в теории Птолемея, и рассказать о том, как эти идеи могут быть применены в современной теории и практике.

В системе Птолемея предполагалось, что и Солнце, и Луна, и все планеты двигались по идеальным

кругам, точнее — сферам с учетом колебаний движения по широте небесной сферы, а эпициклы необходимы были не для описания действительного движения, а для расчетов неравномерности движения по круговой орбите.

Еще в глубокой древности люди заметили, что не только планеты движутся на небе неравномерно. Планета в переводе означает блуждающая (прим. авт.). Но и Солнце, и Луна также движутся по небу неравномерно. Так, в "Альмагесте" Птолемей, объясняя

необходимость введения эпициклов, приводит следующие данные [11, с. 503]: период астрономической весны Солнце проходит за 94,5 дня; период астрономического лета — за 92,5 дня; астрономическую осень — за 88,125 дней; астрономическую зиму — за 90,125 дней. В сумме это дает 365,25 дня — астрономический год. Причем астрономический сезон — это период, за который Солнце проходит 90° по небосводу. Ясно, что одинаковый путь по небу 90° за сезон (3 астрономических знака зодиака) Солнце проходит за разный промежуток времени. Что то же самое, но с разной угловой скоростью. Выход из положения был найден задолго до Птолемея. Возможно первым (?) (мы ставим знак вопроса потому, что согласно некоторым исследователям эпициклы, или аналогичные методы, применялись еще в Древнем Египте и Мессопотамии; а греки, в т.ч. и Евдокс, позаимствовали метод эпициклов без указания источника (варваров), как это было принято у древних греков [3, с. 114]; достоинство Птолемея, жившего намного позднее (ок. 87—165 гг. н. э.), не в том, что он первый придумал метод эпициклов, а в том, что он довел методы астрономических расчетов до совершенства; они стали доступными математике начала н.э.) нашел выход Евдокс Книдский (ок. 406 — ок. 365 до н. э.), предложивший использовать для описания неравномерного движения эпициклы [3, с. 181].

Разберем, в чем состояло достоинство применения эпициклов.

Во-первых, обратим внимание, что если нарисовать сглаженный график прохождения Солнцем небесной эклиптики, то получится периодическая кривая (см. рис. 1). Аналогичные кривые получатся и для Луны, и для любой из планет. Для аппроксимации движения Солнца, Луны и планет необходимо научиться рассчитывать периодические кривые. Известно, что любую периодическую функцию можно разложить в ряд Фурье вида:

$$f = a + A_1 \cos(\omega_1 t + \varphi_1) + + \dots + A_i \cos(\omega_i t + \varphi_i) + \dots + A_n \cos(\omega_n t + \varphi_n),$$
(1)

где a — начальное значение функции, A_i — амплитуда i-го колебания, ω_i и ϕ_i — круговая частота и начальная фаза i-го колебания.

Для понимания принципов, заложенных в методах расчетах Птолемея, необходимо учитывать, что в астрономических расчетах древности не было никаких способов определять размеры действительных размеров орбит движения планет. В птолемеевских расчетах полностью отсутствовали понятия радиуса орбит. Даже отсутствовали радиусы деферента или

большого круга и малых кругов эпициклов. В теории Птолемея присутствовали только отношения малых и больших кругов [4]. Все движения Солнца, Луны, планет и звезд проецировались на сферу наблюдения, причем радиус сферы наблюдения никак не оговаривался, кроме того что размеры сферы наблюдения предполагались намного больше, чем размеры Земли.

Теперь рассмотрим, что дает движение по кругу в проекции (рис. 2).

При равномерном движении точки C по кругу радиусом R движение точки проекции C' на прямую AB представляет собой возвратно-поступательное движение по закону:

$$R\sin(\omega t + \varphi)$$
. (2)

Согласно Птолемею, каждая планета Π движется равномерно по малому кругу — эпициклу радиуса r. Центр эпицикла в свою очередь равномерно скользит по окружности большого круга радиуса R, названого деферентом (рис. 3). Деферент (лат. deferens — несущий). (Не путать с морским термином дифферент — отклонение плоскости мидель-шпангоута от вертикали.) Наблюдатель находится в центре Мира, в точке Ω . Планета может находиться в точке Ω , но наблюдатель ее видит в проекции на окружность деферента в точке Ω .

Поскольку обращение по эпициклу в проекции на небесную сферу дает гармоническое колебание около среднего значения долготы, а среднее движение определялось как равномерное вращение по большому кругу, то общее уравнение "простого движения" с одним эпициклом описывается в современных обозначениях уравнением:

$$\alpha = \Theta + \Omega t - r \cos(\omega t + \varphi_0), \tag{3}$$

где α — долгота светила, Θ — начальная эпоха по деференту, Ω — угловая скорость среднего (равномерного) движения по деференту, r — радиус эпицикла, ω — угловая скорость движения по эпициклу, φ_0 — начальная фаза по эпициклу, t — период времени от начальной эпохи до времени наблюдения.

Знак минус перед косинусом стоит потому, что направление движения по эпициклу в теории Птолемея обратна направлению движения по деференту.

Потребности получить максимальное совпадение с данными наблюдений, а значит, и необходимость более точной аппроксимации привели к необходимости введения новых эпициклов. Но легко понять, что введение новых эпициклов приводит единственно

к тому, что в уравнение (3) вводятся дополнительные члены вида (2). Например, при наличии в модели трех эпициклов уравнение (3) перепишется в виде:

$$\alpha = \Theta + \Omega t - r_1 \cos(\omega_1 t + \varphi_{1,0}) - -r_2 \cos(\omega_2 t + \varphi_{2,0}) - r_3 \cos(\omega_3 t + \varphi_{3,0}).$$
(4)

Легко видеть, что в (4) первые два члена ряда — это постоянная часть, потому что описывают среднее движение по большому кругу, а остальные описывают отклонения от равномерного движения.

Сказанного выше должно быть достаточно для понимания, что эпициклы Птолемея это только математический прием, чтобы разложить видимое неравномерное движение светил по небу в некоторую сумму равномерных движений. Таким образом, древние астрономы предвосхитили так называемый гармонический анализ Фурье. То, что эпициклы в теории Птолемея не играли решающей роли, доказывается тем, что, прежде чем строить модели расчетов движения светил, Птолемей сообщает, что кроме эпициклической гипотезы движения, возможна эксцентрическая гипотеза движения небесных светил. Сущность эксцентрической гипотезы состоит в том, что светило движется равномерно по большому кругу, диаметр которого равен большому кругу с центром в "центре Мира" (там, где находится наблюдатель, но окружность, по которой движется планета, располагается эксцентрично относительно окружности наблюдения).

На рис. 4 точка О — место расположения наблюдателя, "центр Мира". Точка Э — центр окружности, по которой равномерно движется светило. Если в момент наблюдения светило находится в т. Π , то наблюдатель из точки О видит ее проекцию в точке Π' .

Птолемей не только сообщает о существовании двух моделей движения светил, но доказывает одну любопытную теорему о том, что если e=r, т. е. если эксцентриситет на рис. 4 равен радиусу эпицикла на рис. 3; если радиусы больших кругов в обеих моделях одинаковы и равны R, то обе гипотезы идентичны, т. е. наблюдатель не сможет отличить по результатам наблюдений одну модель движения от другой [11, с. 85].

Птолемей постоянно пользуется этой теоремой, заменяя эпициклическую модель для первого (самого большого) периодического отклонения от среднего, по терминологии Птолемея "неравенства" на эксцентрическую модель есть для каждого из светил: для описания движения Солнца, Луны и планет. Это

Птолемей делает потому, что рассчитать движение по эксцентру методами, доступными во времена Птолемея (графическими построениями, т.н. метод циркуля и линейки; алгебраическая запись уравнений появилась только в работах арабских ученых на несколько веков позднее Птолемея; ими же в математику введены и тригонометрические функции), легче, чем движение по эпициклу [11, с. 91].

Такое движение, когда светило движется равномерно по окружности неподвижного эксцентра, Птолемей называет простой составной гипотезой. Такую модель Птолемей применяет только для описания движения Солнца и Луны. Анализируя возможные гипотезы движения планет в главе IX Альмагеста, Птолемей приходит к выводу: "Однако можно клясться Зевсом, что этого (описать модель движения планет) нельзя объяснить ни при помощи эксцентрических кругов, ни в силу гомоцентрических с зодиаком кругов, несущих эпициклы, ни при помощи того и другого одновременно" [11, с. 279].

Рассматривая вопрос построения модели движения планет, Птолемей приходит к выводу: "Но при дальнейшем сравнении отдельных наблюдаемых положений планет с выводами, получающимися из соединения обеих гипотез, обнаруживается, что дело совсем не будет таким простым, поскольку плоскости, в которых мы рисуем эксцентрические круги, не будут неподвижными, и расстояние от тропических и равноденственных точек до прямой, проходящей через центры этих кругов, на которых усматривается перигеи и апогеи, не остается всегда одним и тем же. Точно так же центры перемещаются по эксцентрическим кругам эпициклов, совершая равномерное вращение в направлении последовательности знаков, не описывают в равные времена одинаковые углы вокруг центров этих кругов" [11, с. 298].

В данной цитате Птолемей говорит о том, что простая гипотеза, совмещающая эпицикл и эксцентр, недостаточна для описания движения планет и переходит к описанию схемы движения называемой в современной литературе схемой с эквантом.

Сущность этой схемы можно понять из рис. 5.

"В схеме [с эквантом] реализуется четыре равномерных вращения:

а — линия апсид АГ вращается в прямом направлении вокруг точки E со с скоростью прецессии (равномерно возрастает); б — центр деферента H вращается на малом круге с центром Z в обратном направлении; его положение определяется углом А $ZH = \bar{k}$ — эксцентрической аномалией планеты; в — линия ΔK , определяющая центр эпицикла K и

одновременно направление на среднее солнце, вращается в прямом направлении; $\Gamma - \Pi$ ланета M на эпицикле вращается равномерно в прямом направлении" [11, с. 591].

Ясно, что четыре равномерных вращения хорошо опишут четыре периодических члена уравнения вида (4). С учетом равномерного вращения неба и начальной эпохи следует, что для описания движения планет по методике Птолемея понадобится шесть членов ряда разложения в ряд периодических функций.

Обратим особое внимание на движение (а) в схеме с эквантом: в этом случае вращается линия апсид, линия апсид — это линия, соединяющая апогей и перией, т. е. в данном случае имеется в виду медленное смещение перигея планеты. Птолемей указывает примерное значение: 1 градус за сто лет. Любопытна не величина, а наличие такого движения.

Это самое явление под названием "вековое смещение перигелия", в частности для Меркурия, явилось тем самым препятствием, которое так и не смогла преодолеть теория Кеплера. В теории Птолемея "вековое смещение" появляется практически незаметно как еще одно движение среди остальных.

В теории Кеплера все значительно сложнее. Многие видные ученые — астрономы и математики пытались решить эту проблему, включив в теорию обращения планет Кеплера вековое смещение эллиптических орбит.

Невозможность решить эту проблему привела к появлению общей теории относительности Эйнштейна, которая только еще больше запутала вопрос [12]. Таким образом, Природа отомстила ученым за то, что они отвергли классический труд великого астронома и математика. Современные астрономические расчеты движения планет проводятся методом разложения в ряды полиномов Чебышева. Это в большой степени повторяет методику Птолемея, но разложение идет не на периодические функции, а на алгебраические степенные ряды [13, 14].

Сарос и экселигмос в астрономии древних

Са́рос (греч. σάρος), или дракони́ческий пери́од, состоящий из 223 синодических месяцев (в среднем приблизительно 6585,3213 дня, или 18,03 тропического года), по прошествии которых затмения Луны и Солнца приблизительно повторяются в прежнем порядке. Экселигмос (греч. ἐξέλιγμος — поворот колеса) — период, равный примерно 19 756 суткам, или трем саросам (54 года), по прошествии которого зат-

мения Луны и Солнца повторяются примерно при одних и тех же условиях.

Сказанное выше по поводу разложения в ряд периодических функций может создать впечатление, что Птолемей полностью предвосхитил современную теорию разложения в ряд Фурье. На самом деле, это не совсем так. Разложение в ряд периодических функций по методике Птолемея имеет два принципиальных отличия от разложения в ряд Фурье.

Согласно теории разложения в ряд Фурье любую функцию на определенном интервале можно разложить в ряд периодических функций. Причем, интервал разложения выбирается произвольно, исходя из задач, стоящих перед исследователем. В теории Птолемея это совсем не так. Прежде чем начать определение параметров движения светил, по теории Птолемея определяют определяющие "периоды возвращения" движения. Под периодом возвращения понимается не просто период обращения планет вокруг Солнца, а для Луны это будет период обращения вокруг Земли. А именно: период возвращения движения. Под таким периодом древние астрономы понимали период, по окончании которого повторяются астрономические явления, связанные со светилами.

Первыми известными такими периодами были: солнцестояния и равноденствия для Солнца, что позволило еще в древности определять понятие солнечного года, лунные и солнечные затмения. Фазы Луны не могли играть такой роли, так как длительность фаз Луны постоянно меняется. Также меняется и продолжительность лунного месяца. Лунный месяц имеет длительность 27,2—29,6 суток и в целых сутках исчислен быть не может, причем разброс длительности лунного месяца происходит по причине неравномерного движения спутника по околоземной орбите. Для Луны подобным свойством возвращения был сарос. Это период, после которого повторяются солнечные и лунные затмения.

Дело в том, что солнечные и лунные затмения не происходят с простой периодичностью. Длительность сароса, по современным данным, 6585,3213 дня — или 18,03 тропического года. Условиями возникновения затмения являются не только возвращения Луны и Солнца по долготе, которое определяет лунный месяц. Луна еще и качается по широте, и затмения происходят лишь при совпадении не только долготы, но еще и широты астрономических координат.

Хотя значения долготы Луны повторяется каждый лунный месяц, но за время сароса, продолжительность которого около 243 месяцев (возвращения

по долготе), происходит 41 солнечное затмение и 29 лунных затмений. Причем, мы уже сказали, что нет простой периодичности в пределах сароса. После окончания сароса цикл солнечных и лунных затмений повторяется. Впервые предсказывать затмения с помощью сароса научились в Древнем Вавилоне. Недостаток сароса в том, что затмения происходят, но иногда они не видны в разных географических местах. То есть наблюдения затмений в одной и той же местности затрудняются. Гиппарх предложил для определения затмений период экселигмоса, равный 19 756 суткам, или трем саросам, примерно 54 годам, применение эксгелимоса удобнее тем, что позволяет определять даты солнечных и лунных затмений в пределах одной местности. Аналогичные периоды составлялись и для остальных небесных тел.

Естественный гармонический анализ

Это отличие от обычного разложения в ряд Фурье имеет принципиальное значение. Так, взяв для разложения произвольный интервал из области существования функции, можно разложить в ряд Фурье не только периодические функции, но в прямом смысле — любую, даже не периодическую [15, с. 85]. Основная задача, которую решает разложение в ряд Фурье, — это аппроксимация имеющегося графика произвольной функции рядом периодических функций. Причем за пределами выбранного интервала может совсем не совпадать с полученным разложением. Для разложения Птолемея принципиально существования естественных колебаний динамической системы. То есть если определить период возвращения колебаний, можно решить главную задачу — определение естественных колебаний присущих системе колебаний. Каждая динамическая система, которая колеблется по сложному закону, тем не менее, имеет некоторую периодичность, не просто присущую произвольности выбора методов разложения, а принадлежащую исключительно самой природе колебаний системы. С полным правом такие колебания могут быть названы естественными. Выделить и классифицировать естественные колебания — основная задача методов Птолемея.

Отличие естественных колебаний от произвольных в том, что периоды естественных колебаний сохраняются не только в произвольном интервале, но и за пределами такового. Как уже сказано, если на произвольном интервале функция разложена на произвольные периодические функции, то это разложение действительно только в пределах интервала

разложения (аппроксимации), а ряд разложения на естественные колебания сохраняет свою легитимность на любой интервал в прошлом и будущем. Ограничение на это правило может происходить, например, под действием неучтенного внешнего воздействия. Для определения подобных отклонений необходимо рассматривать не один единственный период, а разные однотипные периоды.

В принципе, если за интервал разложения в ряд Фурье взять период возвращения, то разложение в ряд Фурье будет максимально приближенным к разложению в ряд естественных колебаний. В общем случае они могут не совпадать. Причина несовпадения — при разложении в ряд Фурье произвольными являются не только интервалы разложения, но и параметры разложения. Так, угловые частоты, а значит, и периоды колебаний берутся как натуральный ряд чисел ω , 2ω , 3ω и т.д. А при разложении в ряд естественных колебаний периоды определяются не формальными правилами разложения, а естественными (физическими) свойствами динамической системы.

Исходя из этого принципиального различия, следует, что разложение в ряд Фурье можно проводить без предварительного анализа. То есть можно взять в принципе любой интервал существования любой функции, не важно, периодической или непериодической, и чисто формально получить разложение в ряд тригонометрических функций.

В естественном гармоническом анализе это совсем не так.

Во-первых, функция, поддающаяся разложению в естественный гармонический ряд, должна быть периодической во всей области определения!

Во-вторых, прежде чем начать разложение в естественный гармонический ряд, должны быть определены "интервалы возвращения". Другими словами, за интервал разложения должен быть принят интервал, после которого на следующем интервале поведение функции повторяет поведение на предыдущем интервале. Точно так же, как повторяются лунные и солнечные затмения в саросе или эксгелимосе.

Второе принципиальное различие естественного гармонического разложения от разложения Фурье в том, что при разложении в ряд Фурье полученные тригонометрические функции (колебания) получаются чисто формальным путем и не несут никакой информации о действительных колебаниях динамической системы. И даже не могут ответить на вопрос, является ли система колебательной или нет (например, в случае разложения в ряды Фурье непериодических функций). В естественном гармоническом

анализе разложение идет строго по физически существующим колебаниям.

Отсюда следует область применения естественного гармонического анализа. А именно: определение действительных колебаний динамической системы. Полученная в результате естественного гармонического анализа информация может, например, служить целям анализа причин появления динамических колебаний.

Методы естественного гармонического анализа. Постановка математического моделирования для транспортных систем

Как сказано выше, анализ естественных колебаний принципиально отличается от методов Фурье. Одно из следствий этого отличия состоит в том, что в методе естественных колебаний нет (и не может быть) окончательных и единых формул в виде уравнений, решение которых позволило бы за один прием решить поставленную задачу.

Решение может быть получено только методами подбора колебаний, присущих динамический системе. Если известны некоторые динамические свойства исследуемой системы (например, собственные частоты), то это сильно облегчает процесс подбора естественных частот. Если такая информация неизвестна, задача все равно может быть решена, но процесс будет сложнее. Так как процесс подбора естественных колебаний сложен (сложность расчетов состоит не в сложности применяемых формул, а в большом объеме вычислений по достаточно простым формулам), то естественным будет вести расчеты на компьютере.

Расчеты можно вести двумя способами. Методом наискорейшего спуска и методом последовательных приближений. Первый метод более эффективен, но требует значительно больших вычислительных ресурсов. Далее мы распишем примерный алгоритм решения методом последовательных приближений, имея в виду применение вычислительной техники.

1. Вычисляются базовые величины: среднее значение $y_{\rm cp}$:

$$y_{\rm cp} = \frac{\sum_{i=0}^{n} y(x_i)}{n}$$

и начальная дисперсия:

$$\sigma_{\text{Haq}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^{n} (y(x_i) - y_{\text{cp}})^2}{n}}.$$

- 2. Определяются точки экстремума (максимумы и минимумы).
- 3. Подбирается интервал возвращения. То есть интервал, в котором расположение и величина максимумов и минимумов повторяются в той же последовательности как на предыдущем, так и на последующем интервалах. В дальнейшем все расчеты ведутся в пределах одного интервала, так как остальные интервалы (если они существуют) будут повторять поведение функции.
- 4. Выделяем два самых значительных экстремума. Вычисляя расстояния между экстремумами, получаем длину волны, отмечая расстояние первого максимума от начала интервала, определяем фазу колебания, по величине экстремума получаем амплитуду. Таким образом, получаем примерные характеристики возможного колебания системы.

Полученные характеристики волны не являются твердо установленным фактом наличия соответствующих колебаний. А являются формулировкой статистической гипотезы о существовании колебаний.

5. Методами наименьших квадратов (МНК) подбираем параметры тригонометрической функции так, чтобы доставлялся минимум функции:

$$\Psi = \sqrt{\sum_{i=0}^{n} (y(x_i) - A\sin(x_0 + x_i))^2}.$$

6. Вычитаем полученную функцию из исходной и получаем модифицированную исходную функцию:

$$y'(x_i) = y(x_i) - A\sin(x_0 + x_i).$$

7. Вычисляем дисперсию модифицированной функции:

$$\sigma' = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^{n} (y'(x_i) - y_{cp})^2}{n}}.$$

8. Проверяем статистическую гипотезу существования естественного колебания.

Если $\sigma_{\text{нач}} > \sigma'$, то гипотеза верная, а подобранные на этапе 5 параметры тригонометрической функции характеризуют существующее естественное колебание.

В противном случае гипотеза отбрасывается.

9. Если гипотеза существования естественного колебания системы удовлетворительна, то для дальнейших расчетов исходный ряд значений $y(x_i)$ заменяется на модифицированный ряд $y'(x_i)$. Значение начальной дисперсии $\sigma_{\text{нач}}$ заменяется на дисперсию модифицированного ряда σ' .

- 10. Заново определяются экстремумы.
- 11. Расчет рекурсивно повторяется по пп. 4...9.

Расчеты ведутся либо до достижения требуемой погрешности отклонения экстремумов от среднего значения, либо до того момента, когда все возможные варианты колебаний перестают уменьшать дисперсию модифицированной функции. Все оставшиеся отклонения от среднего значения (экстремумы) являются случайными и не могут быть классифицированы как естественные колебания динамической системы.

В отличие от тригонометрических рядов Фурье, частоты естественных колебаний могут быть никак не связаны друг с другом и полученные значения частот могут быть произвольные.

Достаточно близким аналогом к естественному гармоническому анализу в виде корреляционного подхода является алгоритм "Caterpillar" научной школы механико-математического факультета Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова.

В последующих статьях будет рассмотрено математическое моделирование естественного гармонического анализа для транспортных систем на примере ровности автомобильных дорог.

Выволы

- 1. Разложение планетных движений Птолемеем напоминает разложение в ряд Фурье, но имеет принципиальные различия.
- 2. В отличие от формально математического разложения в ряд Фурье, метод Птолемея предполагает разложение в ряд естественных (физически присущих) гармонических движений.
- 3. Метод разложения в ряд тригонометрических функций, присущих динамической колебательной системе, можно назвать разложением в ряд естественных колебаний.
- 4. В отличие от разложения в ряд Фурье, разложение в естественный ряд колебаний возможно только для истинно колебательной системы.
- 5. До начала разложения в ряд естественных колебаний должен быть определен "интервал возвращения", т. е. такой интервал, в течение которого поведение функции повторяет поведение в предыдущем интервале.
- 6. Полученное таким образом разложение будет характеризовать физически существующие колебания динамической системы.

7. Полученный ряд естественных колебаний может быть применен для анализа причин колебаний в технологических процессах и т.д.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1. **Берри А.** Краткая история астрономии / Перевод с англ. С. Г. Саймовского. М.: 1946.
- 2. **Бронштэн В. А.** Клавдий Птолемей. II век н. э. М.: Наука. 1988. 240 с.
- 3. Ван дер Варден Б. Пробуждающаяся наука II. Рождение астрономии / Перевод с англ. Г. Е. Куртика. М.: Наука. 1991 384 с.
- 4. **Идельсон Н. И.** Этюды по истории небесной механики. М.: Наука. 1975. 496 с.
- Куртик Г. Е. Понятие скорости в античной науке: Аристотель—Птолемей / Исследования по истории физики и механики. — М.: Наука, 1997. С. 219—248.
- 6. **Нейгебауэр О.** Точные науки в древности / Пер. с англ. Е. В. Гохман; под ред. А. П. Юшкевича. М.: Наука, 1968.
- 7. **Паннекук А.** История астрономии / Пер. с англ. Н. И. Невской. — М.: Наука. 1966. — 590 с.
- Кочетков А. В., Федотов П. В. О соотношении методов расчета движения планет по Птолемею и Кеплеру (часть 1) // Интернет-журнал "Науковедение".
 2014. Том 7. № 4. [Электронный ресурс]. URL: http://naukovedenie.ru/PDF/143TVN415.pdf.
- Кочетков А. В., Федотов П. В. О соотношении методов расчета движения планет по Птолемею и Кеплеру (часть 2) // Интернет-журнал "Науковедение". 2014. Том 7. № 5. [Электронный ресурс]. URL: http://naukovedenie.ru/PDF/20TVN515.pdf.
- 10. **Кочетков А. В., Федотов П. В.** О соотношении методов расчета движения планет по Птолемею и Кеплеру (часть 3) // Интернет-журнал "Науковедение". 2014. Том 7. № 5. [Электронный ресурс]. URL: http://naukovedenie.ru/PDF/21TVN515.pdf.
- 11. **Птолемей К.** Альмагест или математическое исследование в тринадцати книгах / Перевод с др. греческого Веселовского. М.: Наука. Физматлит. 1998. 672 с
- 12. **Кочетков А. В., Федотов П. В.** Анализ понятия "пространство" в общей теории относительности // Пространство и время. 2013. № 4 (10). С. 42—49.
- 13. **Балк М. Б.** Элементы динамики космического полета. М.: Наука. 1965. 338 с.
- Субботин М. Ф. Введение в теоретическую астрономию. М.: Наука. 1968. 800 с.
- Краснов М. Л. Вся высшая математика. Т. 3 / М. Л. Краснов, А. И. Кисилев, Г. И. Макаренко, Е. В. Шикин, В. И. Заляпин, С. К. Соболев. М.: Эдиториал УРСС, 2001. 240 с.

УДК 656.13;656.13.08

А. В. Постолит, д-р техн. наук, профессор, **А. Л. Прушак**, ООО "P-Телематика" E-mail: gis@r-telematica.ru

МОНИТОРИНГ ПРОФИЛЯ ВОДИТЕЛЬСКОГО ПОВЕДЕНИЯ КАК ИНСТРУМЕНТ ВЛИЯНИЯ НА ПОКАЗАТЕЛИ АВАРИЙНОСТИ И ЭКОНОМИЧНОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Вероятность попадания автомобиля в ДТП и расходы на его эксплуатацию в значительной степени зависят от манеры управления автомобилем. Для снижения аварийности и эксплуатационных затрат нужно управлять манерой вождения, а для оценки манеры вождения необходимы соответствующие программно-технические средства. В данной статье рассматривается техническое решение, которое позволяет оценить манеру управления автомобилем с учетом не только скорости и ускорений, но и внешних условий в месте нахождения автомобиля (параметры и загруженность улично-дорожной сети, погодные условия и т.п.).

Ключевые слова: автомобиль, водитель, правила дорожного движения, дорожно-транспортное происшествие, опасное вождение, манера вождения, стиль вождения, профиль водительского поведения, дорожные условия, условия движения, эксплуатационные затраты.

Drivers behavior affects the chance of emergency incidents and vehicle cost of ownership. Driving manner should be managed in order to decrease the number of road accidents or minimize vehicle operating costs, special hardware and software may help. The article describes engineering solution which allows to calculate the vehicle drivers behavior using not only the speed and acceleration data but taking into account external conditions of vehicle location (road networks parameters and density, weather conditions etc.).

Keywords: vehicle, driver, traffic code, road accident, dangerous driving, driving habit, driving behavior, road conditions. traffic conditions. exploitation costs.

(Рисунки на 3-й, 4-й полосах обложки)

По данным ГИБДД, в России только за 2014 г. зарегистрировано 199 720 ДТП, в которых погибло 26 963 чел., ранено 251 785 чел. (рис. 1). Вследствие нарушения водителями ПДД произошло 175 862 ДТП (88 %), в них погибло 23 143 чел. (86 %), ранено 230 617 чел. (92 %).

То есть из общего количества аварий около 90 % связаны с виной водителя (нарушения ПДД, превышение скорости). Эти цифры говорят о том, что стиль, манера управления автомобилями являются важнейшим фактором, управляя которым можно значительно снизить аварийность, и, как следствие, смертность, травматизм и материальные потери от ДТП. На этот фактор, наконец, обратило внимание и правительство Российской Федерации, выпустив постановление № 447 от 30 мая 2016 г., изменив п. 2.7 ПДД, дополнив его понятием опасное вождение. Однако на сегодняшний день отсутствуют как сертифи-

цированные технические средства, так и узаконенные перечень и значения параметров, которые позволяли бы сделать однозначную оценку, является ли стиль вождения опасным и агрессивным, и определить, какова потенциальная вероятность конкретного водителя спровоцировать ДТП. Решением этих проблемами уже достаточно продолжительное время занимается компания Р-Телематика, итогам и результатам этих работ и посвящена настоящая статья.

Опасность, или агрессивность вождения, а как следствие — вероятность возникновения ДТП, зависят не только от индивидуальных, личностных параметров водителя, но и от внешней среды, в которой он находится в момент управления автомобилем (рис. 2).

Как видно из рис. 2, на стиль вождения и вероятность возникновения ДТП влияют:

— тип управляемого транспортного средства (лег-ковой, грузовой, автобус);

- вид владения (автомобиль свой чужой);
- дорожные условия статичные (количество и ширина полос, величина уклонов, радиусы поворотов, тип местности горы равнина и т.п.);
- динамичные дорожные условия (появление выделенных полос, пешеходных переходов, остановок, лежачих полицейских, смена дорожных знаков и указателей и т.д.);
- другие условия движения (интенсивность потока и наличие пробок, время года зима—лето, время суток день—ночь, закрытие проезда для выполнения ремонтных работ и т.п.);
- личные качества водителей (острота зрения, скорость реакции, выносливость, черты характера);
- физическое состояние водителя во время движения (ухудшение здоровья, степень утомления при непрерывном управлении, ушибы и травмы, полученные в дороге, и т.п.);
- уровень подготовки водителя (базовое образование, повышение квалификации и прохождение стажировок):
- стаж работы (общий, на одном виде перевозок, на одной модели транспортного средства).

При наличии всех этих данных можно расчетным путем получить Профиль водительского поведения — это персональная, связанная с конкретным водителем суммарная оценка безопасности и экономичности управления транспортным средством, выраженная в процентах соответствия реального вождения транспортного средства "идеальному". В начале каждой поездки профиль водителя равен 100 %. Действия водителя — резкие ускорения или торможения, резкие перестроения, нарушения скоростного режима, опасные маневры облагают его текущий профиль условными штрафами, снижая значение профиля поездки от 100 % в сторону уменьшения. Величина каждого накладываемого штрафа зависит от "тяжести нарушения". Например, величина штрафа за резкое торможение перед пешеходным переходом больше величины штрафа за торможение на загородном шоссе. То есть при расчете штрафов учитывается не только то, как едет водитель, но и то, где он едет, в каких дорожных условиях. Результаты каждой поездки суммируются и анализируются в системе. На основе этих данных рассчитывается значение профиля за определенный период.

Для расчета профиля водительского поведения используется патентованный интеллектуальный алгоритм, на вход которого поступают:

- индивидуальные данные движения автомобиля (скорость движения и ускорения в трех плоскостях);
- картографическая база данных (типы и классы дорог, скоростные ограничения, данные по пропуск-

ной способности дорог, сведения о разрешенных маневрах, аварийно-опасные участки и т.д.);

— дополнительные данные (погодные условия, время суток, время года).

Для обеспечения возможности управления профилем водительского поведения компанией Р-Телематика разработан уникальный программнотехнический комплекс, который включает в себя:

- бортовое устройство;
- серверное программное обеспечение;
- web-интерфейс для пользователей персональных компьютеров;
- мобильное приложение для смартфонов, планшетов и других мобильных устройств.

Бортовое устройство представляет собой портативный навигационно-связной блок со встроенным трехплоскостным акселерометром. Это устройство фиксирует и отправляет на сервер параметры, позволяющие сделать оценку стиля вождения автомобиля (координаты на местности, время, пробег, скорость, ускорения и замедления). Эти данные накладываются на картографическую базу данных, где указаны: населенные пункты, участки дорог с ограничением скорости, пешеходные переходы, "лежачие полицейские", перекрестки и т.д. Кроме того, к месту нахождения транспортного средства "привязываются" и погодные условия во время движения (дождь, снег, ветер, гололед и пр.). На основе этих данных система делает как интегрированную оценку стиля вождения автомобиля (агрессивное, уверенное, неуверенное) и рассчитывает и фиксирует ряд других параметров движения:

- нарушение скоростного режима;
- резкие торможения, ускорения, повороты;
- наезды на препятствия;
- коды диагностических ошибок и выход технических параметров элементов автомобиля за допустимые нормативы;
 - время движения;
 - пробег автомобиля и ряд других.

Пользователи системы через web-интерфейс или мобильное приложение получают доступ к обработанным данным как по отдельному водителю, так и по группе водителей предприятия. На основе этих данных можно административными или поощрительными мерами управлять стилем поведения водителей на дороге, обеспечивая:

- снижение количества нарушений скоростного режима движения и, как следствие, числа ДТП;
- снижения расхода топлива, износа двигателя, шин и других эксплуатационных расходов;
- снижение расходов на ликвидацию последствий ДТП, расходов на страхование автомобилей (умное страхование).

На рис. 3 приведен пример отчета о местоположении и оценке манеры управления транспортным средством водителем, полученного через web-интерфейс системы, а на рис. 4 — портативный навигационно-связной блок.

Кроме того, в системе хранятся и могут быть детально восстановлены треки движения и ускорения (замедления) автомобиля в момент аварии. Сведения о большинстве событий (авария, нарушение скоростного режима, диагностическая ошибка и ряд других) автоматически отправляются удаленным пользователям на их мобильные устройства (рис. 5).

Еще один уникальный элемент, который имеется в системе, — это картографическая база данных вместе с картой-подложкой. Они позволяют отобразить статистику и динамику ДТП, загруженность дорожной сети, места инцидентов на улично-дорожной сети — ДТП, ремонт дорог, закрытие движения (рис. 6).

На данной карте отражаются наиболее опасные участки улично-дорожной сети (с учетом времени года, дня недели, времени суток), те места, где в текущий момент времени произошла авария и возникли проблемы с пропускной способностью улицы или

дороги. Данная карта позволяет и водителям, и диспетчерам транспортных организаций таким образом планировать и корректировать маршруты движения, чтобы обходить особо опасные участки дорог и тем самым минимизировать вероятность попадания автомобилей в ДТП.

Потенциальными пользователями системы являются:

- физические лица и страховые компании (умное страхование);
- транспортные предприятия (служба эксплуатации, служба безопасности движения);
 - автошколы;
 - органы ГИБДД.

Зарубежный и отечественный опыт показывает, что применение подобных систем контроля и управления стилем вождения обеспечивает снижение ДТП на 30—40 %, эксплуатационных расходов корпоративных автопарков до 1 руб. на 1 км пробега. ООО Р-телематика предлагает транспортным компаниям пробную установку бортовых устройств, подключение перевозчиков к облачному сервису для тестирования системы, анализа и оценки ее эффективности.

В Ставрополе открылся индустриальный парк "Мастер"

В Ставрополе состоялось открытие первой очереди краевого индустриального парка "Мастер", созданного по инициативе ПАО "КАМАЗ".

В торжественной церемонии открытия приняли участие губернатор Ставропольского края Владимир Владимиров, генеральный директор "КАМАЗа" Сергей Когогин, представители правительства края, а также резиденты парка.

Губернатор поздравил присутствующих с открытием Индустриального парка и выразил уверенность в его успешном развитии и дальнейшей деятельности.

Технопарк общей площадью 127 760 кв. м расположился на территории бывшего завода "КАМАЗ-Автоприцеп". Производство автоприцепов ранее было перенесено на камазовское дочернее предприятие "НЕФАЗ" (Башкирия) в рамках масштабной программы Реинжиниринга "КАМАЗа". Чтобы исключить негативные последствия предпринятых действий для местных жителей, "КАМАЗ" и Правительство Ставропольского края договорились создать на месте бывшего завода краевой индустриальный парк "Мастер". Открытие СКИП позволит диверсифицировать экономику города и края, создать около 700 новых рабочих мест и увеличить валовый региональный продукт.

"По нашим прогнозам, благодаря деятельности технопарка бюджеты различных уровней будут ежегодно получать около 220 млн руб. Здесь разместятся более 70 резидентов — представителей малого и среднего бизнеса. Со своей стороны, мы будем их всячески поддерживать и постараемся сделать все возможное, чтобы обеспечить им комфортные условия работы", — отметил генеральный директор "КАМАЗа" Сергей Когогин.

Помимо аренды помещений с готовой инфраструктурой на самых выгодных условиях, арендаторам предложат удобный пакет комплексных услуг, включая организацию перевозок грузов железнодорожным транспортом и хранение товаров.

Оператором проекта выступил одноименный Камский индустриальный парк, расположенный в Набережных Челнах и входящий в структуру "КАМАЗа". КИП "Мастер" давно стал лидером в управлении промышленными парками и имеет богатый опыт по созданию и продвижению индустриальных парков не только на своей территории, но и за пределами Татарстана. Теперь его задача — развитие ставропольского партнера. Уже сегодня Камский индустриальный парк "Мастер" инвестировал в СКИП 141 млн руб., реконструировал более 17 тыс. кв. метров производственных площадей и разместил 14 резидентов с различной отраслевой специализацией и масштабами бизнеса. При этом проект реализации второй очереди предполагает подготовку уже 43 тыс. кв. метров производственных площадей.

Пресс-служба ПАО "КАМАЗ"

УДК 656.017:006.9 **Б. А. Крамаренко,** доцент, МАДИ

ТЕХНАДЗОР — ДОПУСК ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ К ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Одним из аспектов правовой деятельности по допуску транспортных средств (TC) к участию в дорожном движении, контролю за их конструкцией и техническим состоянием в период технической эксплуатации служит Положение о Госавтоинспекции Министерства внутренних дел Российской Федерации (Госавтоинспекция МВД России).

Ключевые слова: технадзор, допуск TC, техническая эксплуатация, сертификация TC, внесение изменений, конструкция TC.

One of aspects of legal activity on admitting of transport vehicles to participating in travelling motion, to control after their construction and tekhniche-skim state in the period of technical ekspluatacii Statute serves about Gosavtoinspekcii of Ministry of internal affairs of Russian Federa-cii (Gosavtoinspekciya of MVD of Russia).

Keywords: tekhnadzor, admittance of transport vehicles, technical exploitation, certification of TS, making alteration, construction of transport vehicles.

Организация контроля за внесением изменений в конструкцию ТС, зарегистрированных в Госавтоинспекции МВД России, а также за использованными при этом составными элементами и предметами оборудования, запасными частями и их конструктивной принадлежности ТС, требованием раздела 4 главы V Технического Регламента Таможенного Союза "О безопасности колесных транспортных средств", утвержденного решением Комиссии Таможенного Союза № 877 от 09.12.2011 г. и вступившего в законную силу с 1 января 2015 г., возложена на подразделения Госавтоинспекции МВД России, осуществляющих функции по техническому надзору независимо от места государственного учета ТС, а в случаях их отсутствия — в подразделениях, определяемых Главным государственным инспектором безопасности дорожного движения по субъекту РФ. Контроль качества технического состояния ТС можно осуществлять как на стадии проектирования ТС, так и на стадии его изготовления.

Перечень вносимых собственниками изменений в конструкцию транспортных средств постоянен и без труда поддается систематизации. Производители транспортных средств могли бы сами, учитывая имеющийся спрос, предлагать все большее количество модификаций, которые касаются как самих TC, так и элементов основного, дополнительного оборудования и аксессуаров.

Одна из важнейших государственных задач по допуску ТС к технической эксплуатации должна

быть направлена на обеспечение безопасности дорожного движения и охрану окружающей среды. Поэтому оценка вносимых владельцами ТС изменений в конструкцию должна быть объективна, так как ТС — это средства повышенной опасности. Такая оценка проводится как на стадии проекта и изготовления предшествующей реализации ТС (путем проведения обязательной сертификации), так и в процессе технической эксплуатации в соответствии с правилами и регламентами, утвержденными МВД России.

Упомянутым Положением на Госавтоинспекцию МВД России возлагаются обязанности по контролю за соблюдением нормативных правовых и регламентирующих документов в области обеспечения безопасности дорожного движения, устанавливающих требования к изменению конструкции зарегистрированных в Госавтоинспекции МВД России ТС и прицепов к ним.

Данная деятельность Госавтоинспекции МВД России была регламентирована Порядком контроля за внесением изменений в конструкцию транспортных средств, зарегистрированных в Госавтоинспекции МВД России, утвержденным приказом МВД России от 7 декабря 2000 г. № 1240, зарегистрированным в Минюсте России 25 января 2001 г., регистрационный № 2548.

Ему на смену пришло Положение "О контроле за внесением изменений в конструкцию зарегистрированных в Госавтоинспекции МВД России транс-

портных средств" № 13/5-у-1225 от 25.02.2015 г. до утверждения соответствующих нормативных правовых актов МВД России по техническому надзору в аспекте внесения изменений конструкции транспортного средства — это исключение предусмотренных или установка не предусмотренных конструкцией конкретного транспортного средства составных частей и предметов, влияющих на обеспечение безопасности дорожного движения. Изменение конструкции транспортного средства в сфере действия Положения относится только к тем транспортным средствам, которые зарегистрированы в Госавтоинспекции МВД России.

Если изменения вносятся в конструкцию вновь изготовленных ТС до стадии их регистрации в Госавтоинспекции МВД России, то на них распространяются требования Положения по проведению работ в системе сертификации ТС заводом-изготовителем.

Положение определяет процедуры контроля за внесением изменений в конструкцию зарегистрированных в Госавтоинспекции МВД России ТС и прицепов к ним. Поэтому Положение с одной стороны, устанавливает регламент работ, производимых сотрудниками Госавтоинспекции МВД России, а с другой — опосредованно определяет и действия собственников, которые вносят изменения в конструкцию принадлежащих им транспортных средств. Здесь очевидна проблема в нормативном регулировании правоотношений, возникающих между Госавтоинспекцией МВД России, собственником транспортного средства, а также прочими юридическими и физическими лицами, организациями, уполномоченными выдавать заключения экспертизы о возможности внесения изменений в конструкцию ТС, производителями работ по внесению изменений в конструкцию ТС.

Выходом из данной ситуации может быть новый нормативный и регламентирующий документ, уста-

навливающий правила внесения изменений в конструкцию зарегистрированных Госавтоинспекцией МВД России TC.

Нормативные правовые и регламентирующие документы, определяющие права и обязанности различных федеральных органов власти и управления, показывает, что новый нормативный документ должен охватывать вопросы нормативного регулирования в сфере эксплуатации ТС, их технического обслуживания и ремонта с учетом, что именно на Госавтоинспекцию МВД России возложены функции контроля за внесением изменений в конструкцию ТС.

Собственники ТС испытывают серьезные трудности с получением заключений экспертизы. Нередко они обращаются за этим документом лишь после того, как все необходимые работы по внесению изменений в конструкцию ТС уже выполнены, а эксплуатация ТС соответствующим образом запрещена. При этом имеют место случаи, когда внесенные изменения не являются допустимыми в сфере обеспечения безопасности дорожного движения.

Необходимо создать регламентирующий документ, цель которого заключается в повышении уровня безопасности дорожного движения при внесении изменений в конструкцию при технической эксплуатации ТС. Говоря об этом, нельзя связывать его положения с будущими правилами внесения изменений в конструкцию зарегистрированных в Госавтоинспекции МВД России ТС.

В сфере новых правил необходимо разработать функциональную схему и алгоритм системы по допуску ТС к участию в дорожном движении. Вполне естественно, что при этом необходимо будет изменить порядок проведения процедуры экспертиз конструкций ТС и прицепов к ним.