Грузовик

2
2018

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

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

Редакционный совет

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

Корпункт:
Я.Е.Карповский (г.Минск)

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

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

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

Подписной индекс:
по объединенному каталогу
"Пресса России" 39799

ООО «Издательство «Инновационное машиностроение», "Грузовик", 2018

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

За содержание рекламных материалов ответственность несет рекламодатель

В НОМЕРЕ:

Конструкция

3 *Ерохов В. И.* Однотопливный газобаллонный автомобиль, работающий на компримированном природном газе. Часть 1

11 *Белоусов И. Я., Койдан И. М., Первушин В. В.* Применение технологий тиксоформования в современном двигателестроении

15 *Гребенников С. А., Гребенников А. С.* Экстремальный регулятор адаптивного управления двигателя внутреннего сгорания

21 *Лобах В. П., Коваленко Н. А., Геращенко В. В., Билык О. В.* Устройство для автоматического управления блокировкой межосевого дифференциала грузовых автомобилей

Энергетическое машиностроение

27 *Козловский В. Н., Заятров А. В., Васильев М. М., Полякова Е. В.* Этапы, проблемы и перспективы развития производственных проектов электромобилей и автомобилей с комбинированной энергоустановкой

33 *Антипенко В. С., Наумов Н. П., Строев А. А.* Влияние деформации при изготовлении вольфрамовых электродов на их термоэмиссию

Транспортный комплекс

37 *Дрейцен М. А.* Современное состояние и перспективы развития автомобильного пассажирского транспорта Республики Саха (Якутия)

Практика

42 *Комов А. Б., Комов П. Б.* Организация технической эксплуатации автомобилей в условиях формирования региональных навигационно-информационных систем

Профессия

46 *МАДИ:* конкурс "Юный автолюбитель"

Пресс-тур

48 *Электробус* в Подмосковье

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

2
2018

SCIENTIFIC-TECHNICAL AND INDUSTRIAL MAGAZINE

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

Editorial council

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

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

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

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

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

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

JSC Innovatsionnoye mashinostroyeniye Publishing House, "Truck", 2018

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

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

CONTENTS:

Design

3 *Erokhov V. I.* Single-fuel LPG car with CNG. Part 1

11 *Belousov I. Y., Koydan I. M., Pervushin V. V.* Thixoforming technologies in modern engine construction

15 *Grebennikov S. A., Grebennikov A. S.* Extreme regulator of adaptive control for the internal combustion engine

21 *Laubach V. P., Kovalenko N. A., Herashchenko V. V., Bilyk O. V.* Device for automatic Center differential lock control trucks

Energy engineering

27 *Kozlovskiy V. N., Zajatrov A. V., Vasiliev M. M., Polyakova E. V.* Stages, problems and prospects for the development of industrial projects for electric vehicles and hybrids

33 *Antipenko V. S., Naumov N. P., Stroev A. A.* Influence of deformation in course of production of tungsten electrodes on their thermoissue

Transportation complex

37 *Drazen M. A.* Modern state and prospects of development of road passenger transport in the Republic of Sakha (Yakutia)

Practice

42 *Komov A. B., Komov P. B.* Organization of technical exploitation of cars in the conditions of formation of regional navigation and information systems

Profession

46 *MADI:* "The Young Amateur" contest

Press Tour

48 *Jelektrobus* to Moscow region

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 629.113.004.55

В. И. Ерохов, д-р техн. наук, профессор, Московский политехнический университет

ОДНОТОПЛИВНЫЙ ГАЗОБАЛЛОННЫЙ АВТОМОБИЛЬ, РАБОТАЮЩИЙ НА КОМПРИМИРОВАННОМ ПРИРОДНОМ ГАЗЕ. ЧАСТЬ 1

Приведены конструктивные и функциональные особенности современного газобаллонного автомобиля для работы на компримированном природном газе (КПГ). Дан анализ топливно-знергетических и экологических параметров современных газовых двигателей. Приведены параметры технической, социально-экономической и экологической эффективности газобаллонного автомобиля на КПГ.

Ключевые слова: *компримированный природный газ, газовая система питания, двухступенчатый редуктор, система управления,функциональные датчики и исполнительные устройства,система рециркуляции ОГ, система управления, эффективность системы питания КПГ, скоростная характеристика двигателя.*

The structural and functional features of modern gas-cylinder vehicle to run on compressed natural gas (CNG). The analysis of the fuel sinergeticheskij and environmental parameters of modern gas engines.Given the parameters of the technical, socio-economic and environmental efficiency of LPG car on CNG.

Keywords: *compressed natural gas, gas supply system, two-stage reducer, control system, functional sensors and actuators, EGR, control system, efficiency of the power system CNG speed characteristic of the engine.*

Производство газобаллонных автомобилей для работы на КПГ является ведущей концепцией современного отечественного автомобилестроения. В предыдущие годы была разработана комплексная программа применения газа в качестве моторного топлива, предусматривающая широкое применение КПГ на автомобильном транспорте [1].

ПАО "КАМАЗ" разработал модельный ряд грузовых автомобилей, спецтехники и автобусов для работы на КПГ. Разработанные наземные транспортные средства (НТС) удовлетворяют современным топливно-энергетическим и экологическим требованиям [2].

Значительная часть НТС оснащена базовым двигателем КАМАЗ 820.60-260 (8VЧ 12/13), предназначенным для установки на шасси самосвала КАМАЗ-65115, седельного тягача КАМАЗ-65116, и спецтехники КАМАЗ-43118, -43114. Двигатель КАМАЗ 820.61-260 (8VЧ 12/13) предназначен для установки на автобусные шасси НЕФАЗ-5339 [3, 6].

Принципиальная схема системы питания и управления однотопливнымгазовым двигателем с принудительным воспламенением 8VЧ (12/13) для работы на КПГ приведена на рис. 1.

Газовый двигатель 8VЧ (12/13) содержит систему подачи воздуха, газового топлива, устройство рециркуляции ОГ и электронную систему управления. Техническая характеристика двигателей КАМАЗ при работе на КПГ приведена в табл. 1.

Газобаллонная установка автомобилей семейства "КАМАЗ" содержит кассету газовых баллонов *38*, сообщенных между собой с помощью трубопроводов высокого давления, заправочное устройство *33*, магистральный трубопровод высокого давления с магистральным вентилем *32* высокого давления, газовый редуктор *15* и *17*, сообщенный через общий газопровод *13* с газовым фильтром *29*. Газовые баллоны размещены в защитном кожухе за кабиной или в поддонах (слева или справа) на раме автомобиля.

Автомобильный баллон КПГ представляет собой наиболее металлоемкое изделие и является особо ответственным элементом конструкции ГБА. Баллон подвергают специальной термической обработке, обеспечивающей однородную структуру металла и безосколочность при его разрушении.

Заправочное устройство *33* содержит встроенную заглушку, размещенную на гибком шланге, обратный клапан, предотвращающий обратный поток газа при негерметичной системе, и устройство крепления. Газовый ЭМК *23* высокого давления обеспечивает подачу газа к первой ступени редукторов высокого давления (РВД) *15* и *17*.

gz218.indd 3 25.01.2018 8:18:02

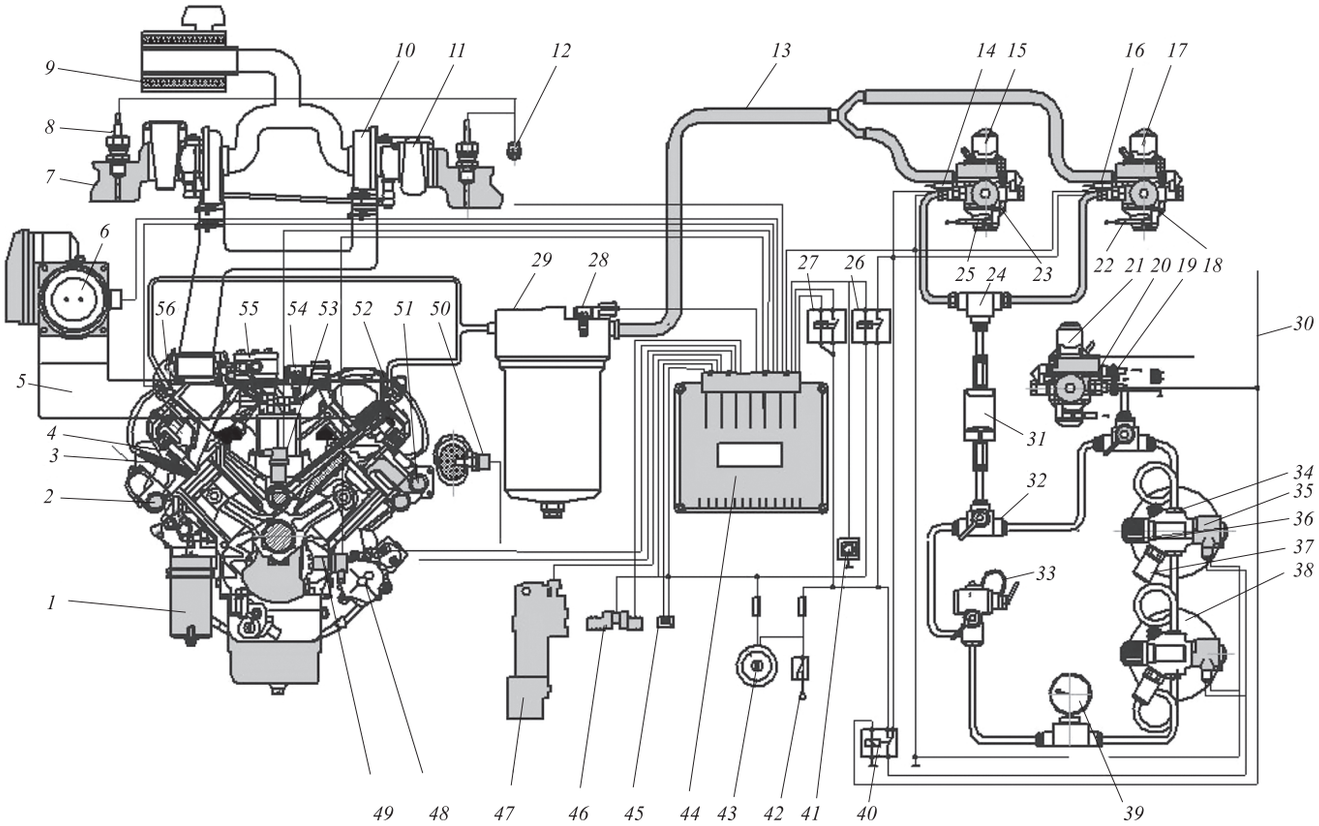


Рис. 1. Система питания газового двигателя КАМАЗ:

1 — масляный фильтр; *2* — трубопровод; *3* — свеча зажигания; *4* — впускной клапан; *5* — впускной трубопровод воздуха; *6* — узел дроссельной заслонки; *7* — выпускной трубопровод; *8* — датчик температуры ОГ; *9* — воздушный фильтр; *10* — правый ТРК; *11* — турбонагнетатель; *12* — электрический разъем; *13* — общий газопровод; *14* — штуцер; *15* — редуктор; *16* — штуцер; *17* — редуктор; *18* — ЭМК редуктора; *19* — штуцер подогрева; *20* — ЭМК подогревателя; *21* — редуктор; *22* — штуцер отвода ОЖ; *23* — ЭМК высокого давления; *24* — тройник; *25* — штуцер отвода ОЖ; *26* — реле топливное; *27* — главное реле; *28* — датчик давления; *29* — газовый фильтр низкого давления; *30* — электрическая цепь; *31* — газовый фильтр высокого давления; *32* — вентиль магистральный; *33* — заправочное устройство; *34* — вентиль баллона; *35* — ЭМК клапана вентиля; *36* — вентиль; *37* — предохранительный клапан; *38* — газовый баллон; *39* — манометр высокого давления; *40* — реле подогревателя; *41* — выключатель ЭМК; *42* — выключатель АКБ; *43* — замок зажигания; *44* — ЭБУ; *45* — лампа диагностики; *46* — колодка диагностики; *47* — электронная педаль; *48* — подогреватель; *49* — датчик синхронизации; *50* — датчик температуры ОЖ; *51* — трубопровод подачи наддувочного воздуха; *52* — газовая распределительная магистраль; *53* — датчик фазы; *54* — датчик давления и температуры воздуха; *55* — компрессор; *56* — газовая распределительная магистраль

В первой ступени РВД *15* и *17* происходит переход от высокого давления газа к низкому.

Система подачи наддувочного воздуха содержит воздушный фильтр *9*, ВТ с размещенными в нем левым и правым *10* нагнетательными турбокомпрессорами (ТРК).

Датчик давления и температуры *54* наддувочного воздуха обеспечивает измерение давления и температуры во впускном трубопроводе *5*.

Блок *6* дроссельной заслонки мод. "SiemensETC 5" объединяет в одном корпусе дроссельную заслонку, шаговый электродвигатель, редуктор привода заслонки и датчики положения заслонки, связанные электрической цепью *6* с ЭБУ 44 двигателя. Блок *6* ДЗ сообщен с трубопроводом 5 подачи наддувочного воздуха. При отключении электрического питания ДЗ устанавливается в положение около 3 % от полного ее закрытия.

Система управления двигателем содержит ЭБУ *44*, функциональные датчики и исполнительные устройства, связанные электрическими цепями с ЭБУ.

Электронный блок *44* управления обеспечивает сбор информации функциональных датчиков и исполнительных устройств для правильного расчета алгоритмов управления подачей требуемого количества газа и искрового разряда газового двигателя.

gz218.indd 4 25.01.2018 8:18:02

Таблица 1

Технические характеристики двигателей КАМАЗ на КПГ

Наименование основных параметров и размеров	Модель двигателя			
	820.60-260	820.61-260	820.62-300	820.63-300
Тип двигателя	Четырехтактный с принудительным искровым зажиганием			
Число и расположение цилиндров	V-8, с углом развала 90°			
Диаметр и ход поршня, мм (D/S)	120/130			
Рабочий объем цилиндров, л	11,76			
Степень сжатия	12,0			
Номинальная мощность, кВт (л.с.), не менее	191(260)		221(300)	2351(320)
Номинальная частота вращения КВ, мин$^{-1}$	2200			
Частота вращения КВ, соответствующая максимальному крутящему моменту, мин$^{-1}$	1300...1500			
Максимальный крутящий момент, Н·м (кгс·м)	1079(110)	932(95)	1226(125)	1373(140)
Давление масла в прогретом двигателе, МПа (кгс/см^2):				
при номинальной частоте вращения КВ	0,4...0,54 (4,0...5,5)			
при минимальной частоте вращения КВ	0,1 (1)			
Фильтр очистки газа	820.4411010			
с фильтрующим элементом	3707140			
Фильтр очистки газа	820.53-.4411010			
с фильтрующим элементом	820.53-4412040 (45104101704002)			
Температура ОЖ на выходе из двигателя должна быть, °С	80...100			

Электромагнитные форсунки расположены во впускных каналах блока цилиндров или впускных трубопроводах (в зависимости от модели форсунки). В режиме работы на газе они получают управление от ЭБУ *44* двигателя при помощи сигнала с широтно-импульсной модуляцией.

При пуске двигателя газовая форсунка работает в синхронном режиме, длительность импульса определяется ЭБУ в зависимости от температуры двигателя. В этом режиме ЭБУ использует информацию от датчика температуры (для определения длительности импульса) и датчика положения КВ (для определения частоты импульсов и их синхронизации с работой цилиндров).

Информация датчиков поступает в ЭБУ и преобразуется в управляющие сигналы для воздушной заслонки, газовых форсунок и катушек искровой системы зажигания. Главное реле *27* включается ЭБУ *44* при включении замка зажигания. При включении реле подается напряжение на цепи питания ЭБУ, функциональные датчики и часть исполнительных устройств. Выключение реле производится ЭБУ после выключения замка зажигания *43* с задержкой 10—20 с.

Топливное реле *26* мод. S12 быстро отключается после остановки двигателя, даже если замок зажигания остался во включенном положении.

Лампа диагностики *45* предназначена для информирования об обнаруженных ЭБУ неисправностях и расположена на панели приборов. При включении зажигания лампа *45* загорается на короткое время и гаснет.

Датчик частоты вращения КВ (синхронизации) *49* обеспечивает согласование работы дозаторов газа с фазами открытия и закрытия впускных клапанов. Датчик синхронизации — индуктивного типа. Он установлен над диском синхронизации с числом зубьев 60-2. Датчик синхронизации установлен в передней крышке двигателя в районе левого кронштейна крепления. Расстояние

gz218.indd 5 25.01.2018 8:18:02

от торца датчика до зубчатого венца составляет 0,5—1 мм. Сигнал датчика *46* используется для определения частоты вращения КВ и положения в ВМТ 1 (6) цилиндра. При вращении диска изменяется магнитный поток в магнитопроводе датчика и наводятся импульсы переменного тока. В его обмотке два пропущенных зуба на диске служат для определения ВМТ первого цилиндра. При выходе из строя датчика или неисправности его цепей работа двигателя невозможна.

Датчик *53* фазы обеспечивает согласование работы дозаторов газа и катушек зажигания с фазами открытия и закрытия впускных клапанов. Датчик установлен на верхней части картера маховика. Датчик работает на эффекте Холла. При неправильной установке датчика фазы двигатель может не пуститься, так как нарушается порядок искрообразования в цилиндрах. При отсутствии сигнала датчика ЭБУ *44* наступает режим нефазированного (неуправляемого) впрыска газа.

Датчики температуры ОГ *8* размещены в приемных патрубках выпускного трубопровода вблизи корпусов турбин. В качестве датчиков используют термопары.

Датчик *50* температуры ОЖ корректирует продолжительность открытого состояния газовых форсунок. По результатам показаний датчика *2* температуры ОЖ ЭБУ проводит расчет положения ДЗ и необходимой топливоподачи при пуске двигателя, расчет заданных оборотов холостого хода (обороты увеличиваются для холодного двигателя и снижаются до 800 мин$^{-1}$ при прогреве), а также проводится обогащение горючей смеси для холодного двигателя (табл. 2).

Датчик *54* давления предназначен для определения абсолютного давления воздуха во ВТ. Датчик давления терморезистивного типа. На основании показаний датчика *10* температуры и давления *54* воздуха корректируется время открытого состояния газовых форсунок для поддержания необходимого состава газовоздушной смеси при изменении внешних условий.

Электронная педаль *47* снабжена двумя датчиками положения, связанными электрической цепью с ЭБУ *44*. Датчики положения педали встроены в корпус педального модуля. Два независимых датчика положения педали работают параллельно и повышают надежность системы управления.

Таблица 2

Характеристика датчика температуры

Температура, °С	100	80	42	19	−10
Напряжение на выходе датчика, В	0,32	0,62	1,88	3,12	4,38

На основании показаний датчика ЭБУ производит расчет заданного положения ДЗ, а также производится переход в режимы поддержания заданной частоты вращения холостого хода и торможения двигателем.

Свечи зажигания *3* обеспечивают надежное воспламенение горючей смеси в цилиндрах двигателя. Двигатель комплектуется свечами зажигания BRISK SILVER LR14YS (LR15YS). Зазор между электродами свечи составляет 0,3—0,4 мм.

Электронная система управления содержит ЭБУ *44*, связанный электрической цепью с функциональными электрическими датчиками и исполнительными элементами, диагностическую лампу, кислородный датчик, газовый клапан, клапан измерения давления воздуха и клапан-дозатор холостого хода.

Блок управления *44* двигателя подает сигнал на магистральный клапан 32 отключения подачи газа. Магнитное поле клапана обеспечивает перемещение запорного элемента вверх, открывая доступ к газовому баллону *38*.

Электромагнитные газовые форсунки по сигналам ЭБУ *44* открывают каналы выхода газа во ВТ. В зависимости от частоты вращения КВ и давления во ВТ блок управления рассчитывает продолжительность открытия электромагнитных газовых форсунок. Объем дозируемого газа определяется величиной длительности импульса и величиной давления газа в газовой распределительной магистрали.

Газовый баллон выполнен в виде бесшовного алюминиевого лейнера с оболочкой из композиционного материала по всей поверхности лейнера (тип 3 по ГОСТ Р 51753). Коррозионно-устойчивый алюминиевый сплав позволяет хранить в баллонах газ под высоким давлением.

Баллон имеет две горловины с резьбой, в одну из которых устанавливают пробку, а в другую — запорный вентиль. Баллоны рассчитаны на рабочее давление 19,6 МПа (200 кгс/см^2) и используются для длительного хранения КПГ. Баллоны имеют надпись "МЕТАН".

На испытанный баллон наносят клеймо. На переднем днище баллона указывают: марку завода-изготовителя; порядковый номер баллона; массу баллона в кг; дату (месяц и год) изготовления и последующего испытания; значения рабочего и пробного давления; объем баллона в литрах; клеймо ОТК завода-изготовителя; номер стандарта на баллон.

gz218.indd 6 25.01.2018 8:18:02

Маркировку баллона для КПГ размещают в информационной зоне, очерченной белой полосой, отчетливо выбивают следующие паспортные данные: товарный знак завода-изготовителя, месяц и год изготовления и следующего переосвидетельствования, рабочее давление и давление гидравлических испытаний, объем баллона в литрах, массу баллона в кг, клеймо ОТК [2].

Даты первого и последующего гидравлических испытаний баллона указывают: месяц и год первого, затем год последующего. Повторные гидравлические испытания проводятся в установленные сроки на специально организованных испытательных пунктах по специальной программе.

Конструкция баллонов обеспечивает эксплуатацию от минус 40 °С до плюс 45 °С. Газовые баллоны *38* рассчитаны на 20 лет непрерывной эксплуатации ГБА. Периодичность обслуживания баллонов один раз в три года (15 000 заправок при рабочем давлении 19,6 МПа). Баллоны испытывают на герметичность при полностью открытом и закрытом положениях вентилей с помощью сжатого воздуха, очищенного от масла и механических примесей, или азота методом омыливания или погружения его в воду под давлением 20 МПа. В процессе испытаний не допускается пропуск воздуха под клапаном и по резьбовому соединению. Запрещается установка баллонов с истекшим сроком периодического освидетельствования.

ЭБУ *33* через электрические цепи связан с внешними параметрами и функциональными датчиками. ЭМК по сигналам ЭБУ *33* открывает каналы выхода газа к газовой форсунке *41.* В зависимости от частоты вращения КВ и давления во ВТ рассчитывает продолжительность открытия газовой форсунки. После достижения частоты вращения КВ свыше 400 мин ЭБУ переходит в рабочий диапазон управления ЭБУ. Первоначально ЭБУ рассчитывает продолжительность открытого состояния ЭБУ (длительность импульса), используя сигналы датчика температуры датчика двигателя и датчика давления во ВТ.

Изменение длительности управляющего импульса обусловлено изменением нагрузки двигателя и давления газа во ВТ. Через определенное время (при достижении двигателем заданной температуры) ЭБУ начинает принимать сигнал от датчика кислорода, расположенного в системе выпуска ОГ. В зависимости от концентрации кислорода в ОГ ЭБУ изменяет длительность импульса для обеспечения оптимального состава ОГ.

Компьютерная система выберет необходимый режим работы двигателя для его прогрева и затем устанавливает обороты ХХ. Система диагностики во время движения контролирует все детали и устройства, влияющие на состав ОГ. Эта система сохраняет ошибки, связанные с составом ОГ, и отображает их при помощи контрольной лампы (MIL).

Система управления содержит карту впрыскивания и зажигания. Трехмерная таблица, хранящаяся в памяти ЭБУ, содержит оптимальные значения длительности впрыскивания топлива в зависимости от скорости и нагрузки двигателя. Получив сигналы от соответствующих датчиков, ЭБУ обращается к этой таблице, из которой выбирается требуемое значение длительности впрыскивания газа, соответствующее текущим условиям работы двигателя. На режиме холостого хода ЭБУ переводит двигатель на специальную карту системы ХХ.

Управление процессом впрыскивания по типу обратной замкнутой связи протекает в соответствии с программой, хранящейся в памяти ЭБУ. ЭБУ контролирует и обрабатывает входящие сигналы измерительных датчиков. ЭБУ может хранить в памяти информацию, содержащую специфические схемы работы для получения разнообразных параметров. Основными параметрами являются частота вращения КВ двигателя и нагрузка, на которые водитель оказывает непосредственное влияние посредством педали газа. Контролируемые параметры также включают температуру воздуха, топлива, охлаждающей жидкости и давление турбокомпрессора [4].

Блок управления двигателя использует сигналы датчика для расчета и управления временем открытия клапанов подачи газа. Длительность управляющих импульсов и подача топлива определяются величиной расхода воздуха во ВТ двигателя.

Компоненты современных отечественных и зарубежных газобаллонных автомобилей в значительной мере унифицированы, имеют общее техническое и конструктивное решение. Универсальное заправочное устройство КПГ современных ГБА приведено на рис. 2.

Устройство содержит шаровой кран, размещенный в корпусе *3* и управляемый рукояткой *1.* Заправочное отверстие закрыто технологической пробкой *10*, размещенной в канале корпуса *4.* Перед заправкой технологическую пробку *10* извлекают и в канал корпуса *4* устанавливают наконечник заправочного шланга.

Технологическая пробка выполнена таким образом, что давление газа, подводимое к кольцевой проточке в корпусе *3* устройства, действует на нее

gz218.indd 7 25.01.2018 8:18:02

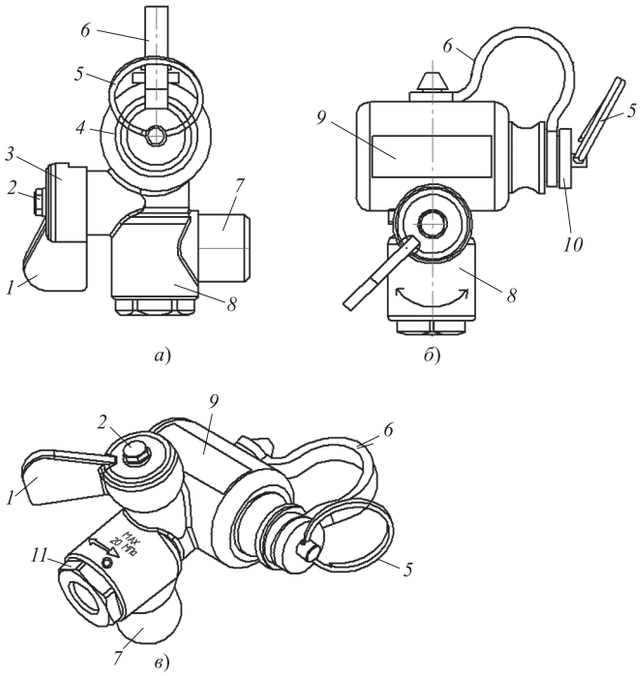


Рис. 2. Заправочное устройство КПГ:

а — размещение рукоятки ручной заправки; *б* — размещение функциональных компонентов заправочного устройств; *в* — общий вид заправочного устройств;
1 — рукоятка ручной заправки; *2* — стопорная гайка; *3* — корпус крана; *4* — корпус технологической пробки; *5* — предохранительное кольцо; *6* — резиновая пластина; *7* — штуцер подачи газа; *8* — корпус шарового клапана; *9* — паспорт заправочного устройства; *10* — технологическая пробка; *11* — штуцер подачи газа

с одинаковым осевым усилием в обоих направлениях. Последнее обеспечивает безопасность заправки, исключая выбивание пробки отверстия путем выполнения сквозного отверстия в корпусе.

При извлечении пробки или заправочного шланга ее торец открывает верхнюю кромку проточки, позволяя остаточному газу свободно выходить в атмосферу, предотвращая "выстреливание" пробки.

Перед заправкой пробку извлекают и на ее место устанавливают наконечник заправочного устройства. После открытия наполнительного вентиля АГНКС газ высокого давления поступает к баллонам. По окончании заправки вентиль закрывают, наконечник заправочного шланга извлекают из отверстия заправочного устройства. В заправочное устройство устанавливают технологическую пробку.

Заправочное устройство обеспечивает возможность заправки баллонов КПГ на стационарных или передвижных газонаполнительных станциях (АГНКС или ПАГЗ).

Двухступенчатый РВД обеспечивает снижение давления КПГ, поступающего из баллонов, с 19,6 МПа (200 кгс/см^2) до (0,26—0,30) МПа (2,6—3,0) кгс/см^2 и поддержание его постоянным на всех режимах работы двигателя; подогрев газа для предотвращения обмерзания в процессе редуцирования и аварийный сброс давления газа из первой ступени при повышении выше допустимых пределов. РВД обеспечивает понижение давления до требуемой величины на выходе для обеспечения двигателя газом

Технические характеристики двухступенчатого РВД приведены в табл. 3.

Двухступенчатый РВД (рис. 3) содержит первую *15* и вторую *5* редуцирующие ступени, а также подогревающую полость *25*. РВД снабжен штуцером подвода *24* и отвода *36* подогревающей жидкости, трубопровод *8* высокого давления и выходной газовый патрубок *6*. В корпусе *38* первой ступени *15* размещен предохранительный клапан *35*, обеспечивающий аварийный сброс газа в атмосферу.

Мембрана *20* первой ступени размещена между нажимной шайбой и упором штока *19* первой ступени. Шток *19* кинематически связан с рычагом клапана *12* первой ступени. Нажимная пружина *16* первой ступени передает через мембрану *20* и шток *19* усилие на поворотный рычаг. Рычаг поворачивается на неподвижной оси и отходит от клапана *12* первой ступени *15*. При перемещении клапана *12* под давлением газа образуется зазор между ним и седлом *11*, через который газ поступает в полость первой ступени *15*.

Понижение давления газа с 20 МПа до 0,6 МПа сопровождается расширением газа в полсти первой ступени и поглощением тепловой энергии от окружающих компонентов.

Природный газ с большим содержанием влаги и углекислоты предварительно подогревают, так как наличие влаги в РВД может привести

Таблица 3

Технические характеристики двухступенчатого редуктора высокого давления, МПа (кгс/см^2)

Давление на входе в редуктор	20 (200)
Давление газа в первой ступени	0,59...0,88 (6...9)
Давление газа во второй ступени	0,26...0,30 (2,6...3,0)
Давление срабатывания предохранительного клапана в редукторе высокого давления	1,18...1,77 (12...18)

gz218.indd 8 25.01.2018 8:18:02

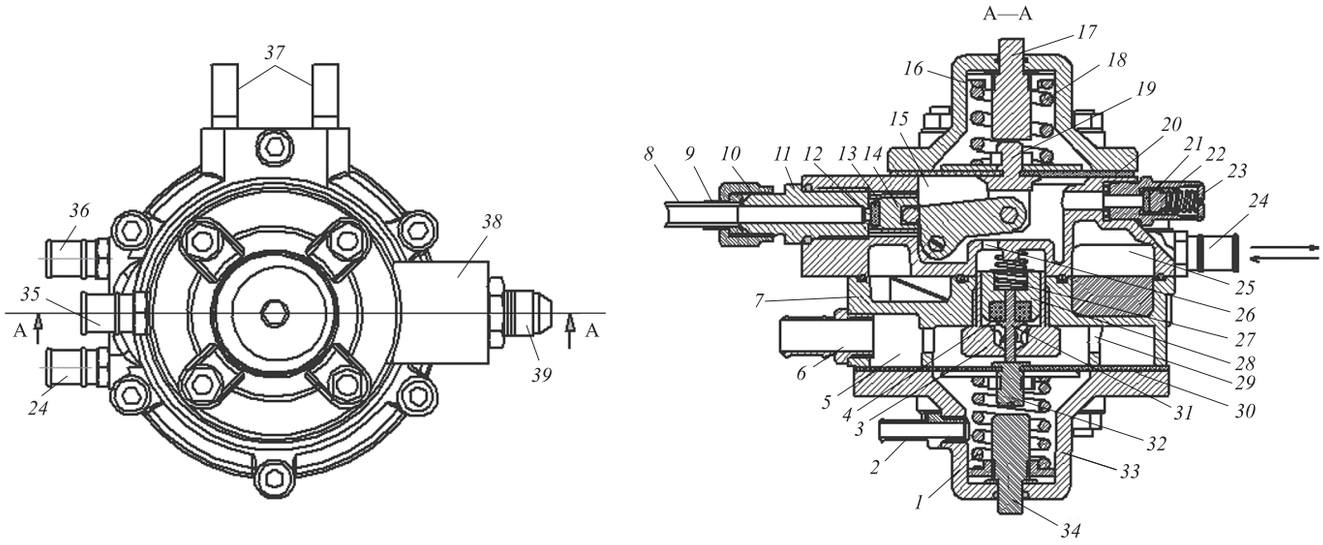


Рис. 3. Двухступенчатый газовый редуктор высокого давления:

1 — пружина второй ступени; *2* — штуцер разрежения; *3* — седло клапана второй ступени; *4* — клапан второй ступени; *5* — вторая ступень; *6* — выходной газовый патрубок; *7* — корпус РВД второй ступени; *8* — входной трубопровод высокого давления; *9* — ниппель; *10* — накидная гайка; *11* — седло клапана; *12* — клапан первой ступени; *13* — кольцевой зазор; *14* — шарик; *15* — первая ступень; *16* — пружина первой ступени; *17* — регулировочный винт первой ступени; *18* — крышка первой ступени; *19* — шток первой ступени; *20* — мембрана первой ступени; *21* — предохранительный клапан; *22* — корпус предохранительного клапана; *23* — регулировочный винт предохранительного клапана; *24* — штуцер подвода ОЖ; *25* — подогревающая полость; *26* — соединительный канал; *27* — возвратная пружина; *28* — корпус клапана второй ступени; *29* — дозирующее отверстие; *30* — мембрана второй ступени; *31* — шток второй ступени; *32* — упор штока второй ступени; *33* — крышка второй ступени; *34* — регулировочный винт второй ступени; *35* — предохранительный клапан; *36* — штуцер отвода ОЖ; *37* — шпилька; *38* — корпус редуктора первой ступени; *39* — входной штуцер подачи газа

к замерзанию и нарушению нормальной работы двигателя. Для предотвращения подобного явления автомобиль оборудован подогревателем газа. При редуцировании КПГ происходит снижение его температуры на 65—70 °С. Предварительный подогрев КПГ осуществляется за счет теплоты охлаждающей жидкости, циркулирующей в системе охлаждения двигателя.

Входная первая ступень снабжена подогревающей полостью *25*, сообщенной через входной штуцер *24* с системой охлаждения двигателя. Подогрев газа во входной ступени *15* обеспечивает компенсацию понижения температуры расширяющегося газа, вызванного значительным перепадом давления до и после запорного клапана *12*.

Подогревающая полость *25* ОЖ содержит штуцеры *24* и *36* соответственно подвода и отвода охлаждающей жидкости двигателя.

При повышении давления газа в полости первой ступени *15* выше 1,2—1,4 МПа усилие давления газа преодолевает усилие пружины *16* первой ступени, клапан *21* открывается, газ через дренажное отверстие регулировочного винта *23* предохранительного клапана и шланг системы вентиляции отводится в безопасном месте в атмосферу, предотвращая прорыв мембраны *20* первой ступени.

Газ в полость первой ступени *15* РВД поступает по впускному штуцеру через кольцевой зазор *13* между клапаном *12* и седлом *11*, где расширяется с понижением давления и температуры, а через зазор между клапаном *4* и седлом *3* поступает в полость второй ступени *5*. Газ из полости второй ступени *5* через выходной патрубок *6* поступает в систему питания двигателя.

При работе двигателя количество газа, проходящего через редуктор, изменяется при сохранении постоянного давления в полости первой ступени равного 0,6 МПа (6,0 кгс/см^2), а во второй ступени — 0,26—0,3 МПа (2,6—3,0) кгс/см^2.

В зависимости от режимов работы двигателя происходит изменение проходного сечения редуктора, которое определяется положением клапанов *12* и *4* первой и второй ступеней относительно седел *11* и *3* соответственно. Когда давление газа под мембраной *30* второй ступени достигает 0,26—0,3 МПа (2,6—3,0 кгс/см^2), сила давления газа на мембране *30* уравновесит усилие пружи-

gz218.indd 9 25.01.2018 8:18:02

ны *1*, мембрана с упором штока второй ступени отходит от штока *31*, клапан второй ступени *4* под действием возвратной пружины *27* переместится и закроется.

После закрытия клапана *4* второй ступени в полости первой ступени *15* давление начинает подниматься. Мембрана *20* первой ступени перемещается вверх, сжимая пружину *16*, и при превышении давления 0,6 МПа сила давления газа на мембрану *20* преодолевает усилие пружины *16*. В дальнейшем мембрана *20* со штоком *19* первой ступени, перемещаясь вверх, поворачивает рычаг клапана первой ступени вокруг неподвижной оси и коротким плечом рычаг клапана *12* первой ступени упирается на корпус клапана первой ступени и его закрывает.

Информация о нагрузке двигателя поступает на РВД в виде разрежения во ВТ, которое участвует в управлении подачей газа в двигатель. Для этого на крышке второй ступени *33* вмонтирован штуцер разрежения *2*, который соединяет надмембранную полость второй ступени с ВТ двигателя. Изменение разрежения в ВТ автоматически отслеживается второй ступенью РВД, корректирующей расход газа.

Регулировка давления РВД осуществляется изменением усилия пружин *16* и *1* путем вращения регулировочных винтов *17* и *34*. При вращении по резьбовой поверхности регулировочного винта *17* упор пружины *16* перемещается, изменяя ее упругость.

Давление срабатывания предохранительного клапана *21* регулируют винтом *23* предохранительного клапана, при вращении винта по часовой стрелке давление срабатывания предохранительного клапана увеличится, так как увеличиваются усилия сжатия пружины и увеличится уравновешивающая сила давления газа.

Нарушение баланса расхода и поступления газа в камере рабочего давления сопровождается изменением в ней давления. В результате действия системы регулирования рабочее давление восстанавливается до заданного. При этом мембрана перемещается вверх и образуемый зазор между седлом и клапаном уменьшается. В результате в полость поступает газа меньше и рабочее давление в ней восстанавливается.

Фильтры высокого и низкого давления *31* и *9* (см. рис. 1) соответственно служат для очистки поступающего к двигателю газа от твердых частиц, паров масла и воды. Фильтр расположен непосредственно за регулятором давления и предназначен для снижения содержания масел в газе и предотвращения залипания клапанов впуска (наддува). В зависимости от содержания масла в системе газоснабжения фильтр должен регулярно обслуживаться. Одновременно объем фильтра демпфирует скачки давления в системе низкого давления.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Ерохов В. И.** и др. Перспективы использования природного газа на автомобильном транспорте // Автодорожник Украины. — 1981. № 2. — С. 21—23.
2. **Ерохов В. И.** Газобаллонные автомобили (конструкция, расчет, диагностика): учебник для вузов. — М.: Горячая линия —Телеком, 2016. — 598 с.
3. **Молибога А. Г., Хафизов Р. Х.** ОАО "КАМАЗ": решение проблем экологии больших городов России // Транспорт на альтернативном топливе. — 2010. — № 6 (18). — С. 19—21.
4. **Валеев Д. Х., Гатауллин Н. А.** и др. Влияние конструктивных факторов на образование вредных веществ в газовом двигателе КАМАЗ // Транспорт на альтернативном топливе. — 2011. — № 1. — С. 52—56.
5. **Автомобили КАМАЗ-65115, -65116** с газовым двигателем 65115-39020001 РТ /Под ред. Д. Х. Валеева. — 2010. — 79 с.
6. **Ерохов В. И.** Экологическая эффективность газобаллонного автомобиля на компримированном природном газе // Транспорт на альтернативном топливе. — 2017. — № 2. — С. 21—32.

Заседание совета директоров

В Москве состоялось очередное заседание совета директоров ПАО "КАМАЗ" под председательством генерального директора Госкорпорации "Ростех" Сергея Чемезова.

Члены совета директоров заслушали и приняли к сведению информацию об исполнении бизнес-плана организаций ПАО "КАМАЗ" и о совмещении генеральным директором ПАО "КАМАЗ" и членами правления ПАО "КАМАЗ" должностей в органах управления других организаций.

В заключение состоялась встреча с руководителем команды "КАМАЗ-мастер" Владимиром Чагиным, который рассказал об итогах ралли "Шелковый путь", подготовке к ралли-рейду "Дакар-2018" и о ходе реализации программы по развитию детского и молодежного картинга в г. Набережные Челны.

Пресс-служба ПАО "КАМАЗ

gz218.indd 10 25.01.2018 8:18:02

УДК 621.73

И. Я. Белоусов, И. М. Койдан, В. В. Первушин, АО АХК "ВНИИМЕТМАШ" им. А. И. Целикова
E-mail: vladimir.markov58@yandex.ru

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ТИКСОФОРМОВАНИЯ В СОВРЕМЕННОМ ДВИГАТЕЛЕСТРОЕНИИ

Современный уровень развития технологий твердожидкого формования алюминиевых сплавов в нашей стране, несмотря на сохраняющееся отставание от стран Запада, уже сейчас может предложить новые технологические решения для двигателестроения. В статье представлены результаты экспериментальных исследований, направленных на разработку промышленной технологии изготовления поршней методами тиксоформования. Показана возможность применения данной технологии как для обработки алюминиевых литейных сплавов, так и деформируемых сплавов. Результаты механических испытаний подтверждают перспективность применения технологий тиксоформования для изготовления поршней двигателя внутреннего сгорания.

Ключевые слова: *тиксоформование, твердожидкое формование, поршень, алюминиевый сплав, глобулярная структура.*

The actual level of semi-solid forming technologies of aluminium in our country, despite the lag from the Western countries, can now offer new technological solutions for the engine construction. The article presents the results of experimental researches aimed at the development of manufacturing technologies for the production of pistons by thixoforming technologies. The possibility of application of this technology for processing of aluminum cast alloys and wrought alloys is shown. The results of the mechanical tests confirm the availability of application of thixoforming technologies for the production of pistons for internal combustion engine.

Keywords*: thixoforming, semi-solid forming, piston, aluminum cast alloys, globular microstructure.*

(Рисунки 1—4 на 3—4-й полосах обложки)

Развитие автомобильной техники на современном высококонкурентном рынке с учетом повышающихся требований к надежности, экономичности, экологичности невозможно без соответствующих достижений в области двигателестроения. Успешная реализация новых конструкторских разработок зачастую зависит от наличия технологий, которые позволяют изготовить компоненты создаваемых механизмов с заданными эксплуатационными свойствами. Вместе с тем обладание современными технологиями способно повысить конкурентоспособность уже существующих разработок двигателей путем снижения массы компонентов, повышения их эксплуатационных характеристик, снижения стоимости изготовления.

Одним из наиболее нагруженных компонентов двигателя внутреннего сгорания является поршень. Поршень представляет собой деталь, испытывающую в процессе работы двигателя экстремально высокие механические и тепловые нагрузки. Эксплуатационные и физико-механические свойства этой детали во многом определяют рабочие характеристики двигателя.

На сегодняшний день наибольшее распространение для изготовления алюминиевых поршней двигателей внутреннего сгорания получили технологии литья в кокиль, горячей объемной штамповки и жидкой штамповки [1].

Выбор технологии изготовления в каждом конкретном случае опирается на оптимальное сочетание требуемых эксплуатационных характеристик детали и стоимости ее изготовления. Так, высокие физико-механические характеристики штампованных поршней сопряжены с высокой стоимостью их изготовления. Стоимость изготовления поршня снижается при применении технологии литья в кокиль. Однако при этом физико-механические характеристики изделия также снижаются, в том числе вследствие использования литейных алюминиевых сплавов, менее жаропрочных в сравнении с деформируемыми сплавами. С другой стороны, применение литейных технологий в производстве поршней

gz218.indd 11 25.01.2018 8:18:02

позволяет изготавливать цельные поршни с галерейным охлаждением, упрочняющими керамическими вставками и нирезистовым кольцом.

Повысить физико-механические механические характеристики литого поршня позволяет приложение дополнительной сдавливающей силы на формообразующий инструмент во время кристаллизации металла. Жидкая штамповка алюминиевых поршней допускает применение как литейных, так и деформируемых сплавов, позволяет использовать упрочняющие керамические вставки и нирезистовые кольца. АО АХК "ВНИИМЕТМАШ" имеет богатый опыт изготовления таких поршней. В институте разработаны и отработаны технологии изготовления поршней ДВС методами жидкой штамповки различных типоразмеров как с применением упрочняющих вставок, так без них (рис. 1).

Появление и развитие новых технологий твердожидкого формования создало условия для разработки перспективных технологических процессов изготовления деталей машин и механизмов. Большая группа технологических процессов, таких как тиксоштамповка, реолитье, тиксомолдинг, новое реолитье и другие, объединены общим принципом формования изделия из металлического сплава, находящегося в твердожидком состоянии. Это позволяет объединить в одном технологическом процессе основные преимущества общеизвестных технологий горячей объемной штамповки и литья. Содержание твердой фазы в заготовке позволяет минимизировать характерные для литейных технологий дефекты, в то время как содержание жидкой фазы позволяет заполнять сложную геометрию формообразующей полости за один штамповочный переход [2].

Такие характеристики тиксотехнологии получили благодаря наличию в материале заготовки мелкозернистой глобулярной микроструктуры. Равномерное распределение глобулярных зерен в эвтектической матрице, имеющей более низкую температуру плавления, обеспечивает переход заготовки в устойчивое твердожидкое состояние в течение определенного промежутка времени при нагреве до заданной температуры. Существенным плюсом технологий твердожидкого формования является возможность изготавливать детали как из алюминиевых деформируемых, так и алюминиевых литейных сплавов.

В АО АХК "ВНИИМЕТМАШ" на основе технологий твердожидкого формования были разработаны и предложены технологические процессы тиксоштамповки различных деталей, в том числе поршней различного типоразмера для двигателей внутреннего сгорания из алюминиевого литейного сплава АК4. Технологическая схема тиксоформования поршня представлена на рис. 2.

Твердожидкая заготовка со специально подготовленной глобулярной структурой устанавливается в штамп, после чего за один штамповочный переход выполняется формование с последующей кристаллизацией металла под давлением.

Сходство технологической схемы тиксоформования заготовки поршня ДВС как с объемной горячей штамповкой, так и жидкой штамповкой, позволяет избежать существенных затрат при переводе производства с этих технологий на тиксоформование. Процесс формирования глобулярной микроструктуры в тиксозаготовке заключается в создании различного рода воздействий на расплав, препятствующих образованию дендритных зерен во время кристаллизации. На сегодняшний день существует ряд различных способов изготовления заготовок с глобулярной структурой, однако, как отмечается в литературе [3, 4], в мировой практике наибольшее распространение получили методы кристаллизации жидкого металла, затвердевающего в условиях механического или магнитогидродинамического (МГД) перемешивания. В России основная часть работ ведется в направлении изучения методов разливки на наклонный охлаждаемый желоб [5] и МГД-перемешивания [6].

Технологические режимы литья тиксозаготовок из различных алюминиевых сплавов были разработаны в МГТУ им. Н. Э. Баумана под руководством профессора Б. И. Семенова. На рис. 3 представлена микроструктура тиксозаготовок из сплава АК12М2МгН, изготовленных в МГТУ им. Н. Э. Баумана методом разливки на наклонный водоохлаждаемый желоб для проведения экспериментальной штамповки.

Технологический процесс тиксоформования заготовки поршня включает в себя:

— нагрев тиксозаготовки до твердожидкого состояния;

— установка твердожидкой заготовки в штамп;

— формование изделия за один рабочих ход пресса;

— выдержка кристаллизующегося металла под давлением;

— извлечение изделия из штампового пространства.

Изготовление опытных образцов заготовок поршней проводилось на универсальном гидравлическом прессе ДБ 2436 усилием 4 МН с инструментальной

gz218.indd 12 25.01.2018 8:18:02

оснасткой, предназначенной для жидкой штамповки. Нагрев тиксозаготовок перед штамповкой до требуемой температуры проводился в муфельной печи сопротивления модели ЮТ-217 "ЮНИТЕРМ", оснащенной программируемым устройством поддержания температуры. Для контроля температуры нагрева заготовок использовалась зачеканенная в заготовку кабельная термопара в комплекте с измерительным прибором. С целью минимизации влияния оксидной пленки на качество изделия нагрев заготовки осуществлялся в защитной среде аргона.

В результате проведения опытной штамповки были получены образцы заготовок поршней. Точное соблюдение всех технологических режимов позволяло получать бездефектные изделия требуемого качества (рис. 4).

Дальнейшая термообработка образцов заготовок поршней перед проведением механических испытаний проводилась в соответствии с режимом Т6. Результаты механических испытаний, представлены на рис. 5 и 6.

Анализ результатов механических испытаний показал, что физико-механические характеристики деталей, полученных тиксоштамповкой из алюминиевого литейного сплава АК12М2МгН, превышают аналогичные характеристики деталей, изготовленных традиционными методами литья и жидкой штамповки. В то же время применение технологии тиксоформования для переработки деформируемого алюминиевого сплава АК4 на данный момент не позволило комплексно увеличить физико-механические характеристики изделия в сравнении с аналогичными характеристиками, обеспечиваемыми горячей объемной штамповкой. Предполагается, что наиболее вероятной причиной такой разницы между свойствами деталей является наличие зернограничной

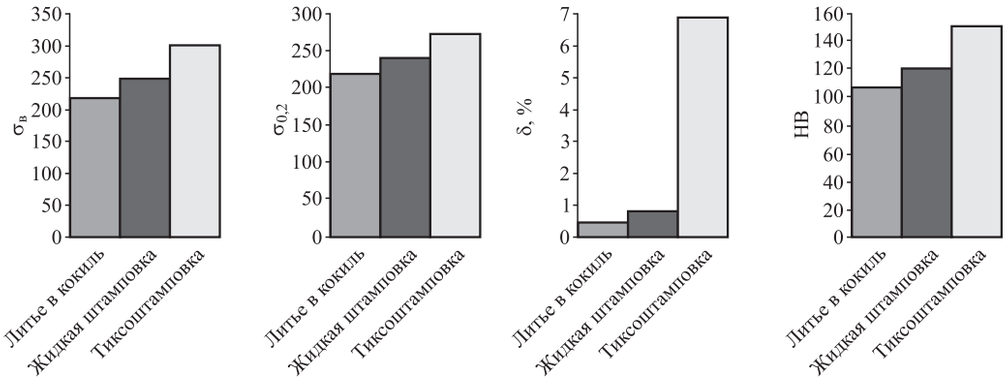


Рис. 5. Результаты механических испытаний для сплава АК12М2МгН

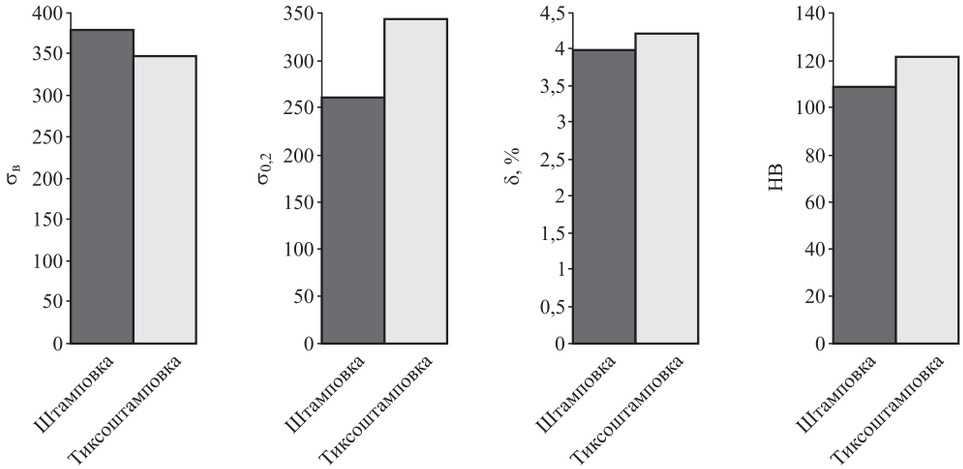


Рис. 6. Результаты механических испытаний для сплава АК4

gz218.indd 13 25.01.2018 8:18:02

пористости в структуре тиксозаготовки, формируемой на этапе разливки в форму. Кроме того, допускается возможность попадания части оксидной пленки с поверхности тела заготовки, что отрицательно сказывается на ее механических свойствах.

Вместе с тем следует учесть, что, несмотря на незначительный проигрыш в показателях механических свойств тиксоштампованных поршней в сравнении с горячештампованными, применение технологии твердожидкого формования имеет потенциал по значительному снижению стоимости изготовления единицы изделия. Вопрос отставания механических свойств тиксоштампованных изделий от горячештампованных на сегодня остается открытым и является предметом дальнейших исследований, имеющих, как показали результаты уже выполненных работ и исследований, высокие перспективы преодоления этого отставания.

Заключение

Результаты экспериментальных исследований подтвердили перспективность применения технологий тиксоформования для изготовления поршней двигателей внутреннего сгорания. Потенциальные возможности для дальнейшего повышения физико-механических характеристик тиксоштампованных изделий одновременно со снижением затрат на изготовление единицы изделия представляются существенным стимулом для дальнейшего развития и широкого применения этих технологий в двигателестроении. При этом следует отметить, что успешность работы в данном направлении во многом опирается на широкую кооперацию и тесное сотрудничество производственных предприятий с научно-исследовательскими институтами и университетами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Басюк Т. С., Бузинов В. Г., Поседко В. Н., Федоренко И. Н., Шибаев О. В.** Технология изготовления кованых поршней // Автомобильная промышленность. — 2012. — № 4. С. 29—31.
2. **Wahlen A.** Modeling the thixotropic flow behavior of semi-solid aluminum alloys // Proc. of 6-th Intern. Conf. Semi-Solid Processing of Alloys and Composites. Turin (Italy), 2000. P. 565—570.
3. **Семенов Б. И., Мельников Н. А.** Принципы и техпроцессы получения точных заготовок из сплавов, находящихся в твердожидком состоянии // Металлургия машиностроения. — 2001. — № 1. — С. 36—43.
4. **Moschini R.** Manufacture of Automotive Components by Semi-Liquid Forming Process // Proceedings of the international conference on the semi solid processing of alloys and composites. — 1992. — P. 149—158.
5. **Семенов Б. И., Куштаров К. М.** Производство изделий из металла в твердожидком состоянии. Новые промышленные технологии: учеб. пособие. — М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2010. — 223 с.
6. **Борисов В. Г.** Технология производства фасонных изделий из алюминиевых сплавов методом тиксоформовки. Проблемы и решения // Технология легких сплавов. — 2016. — № 2. — С. 71—79.

Лучший по профессии

На "КАМАЗе" проходит конкурс профессионального мастерства "Лучший по профессии". За звание "Лучший по профессии" борются молодые специалисты из различных подразделений "КАМАЗа". Примечательно, что концепция конкурса основана на стандартах WorldSkills компетенции "Управление жизненным циклом". Мероприятие пройдет в формате соревнования сборных проектных команд, сформированных жеребьевкой.

Конкурсантам предстоит решить инженерно-изобретательскую задачу. Помимо этого им придется разобраться с сущностью изобретаемого изделия, его функционалом, потребностями потребителя и разработать проект изделия. Проекты будет оценивать компетентное жюри, в состав которого войдут приглашенные внешние эксперты, представители от подразделений ПАО "КАМАЗ", а также организаторы мероприятия.

По итогам конкурса будут определены лучшая команда и лучший специалист по каждому направлению деятельности. Все победители получат денежные премии и дипломы.

Пресс-служба ПАО "КАМАЗ"

gz218.indd 14 25.01.2018 8:18:02

УДК 629.113.539

С. А. Гребенников, канд. техн. наук, **А. С. Гребенников,** д-р техн. наук,
СГТУ имени Гагарина Ю. А.
E-mail:asg@sstu.ru

ЭКСТРЕМАЛЬНЫЙ РЕГУЛЯТОР АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Предложен адаптивный способ управления углом опережения зажигания бензиновых двигателей внутреннего сгорания по показателям внутрицикловых изменений угловой скорости коленчатого вала, что повышает точность управления, позволяет учитывать неравномерность распределения рабочей смеси по цилиндрам и изменять их техническое состояние. Для экстремального регулятора адаптивного управления углом опережения зажигания обоснована оптимизация регулируемого параметра по критерию минимального коэффициента неравномерности угловой скорости коленчатого вала.

Ключевые слова: *двигатель внутреннего сгорания, неравномерность рабочих процессов, угловая скорость, неравномерность угловой скорости, адаптивное управление, экстремальный регулятор.*

Propose the adaptive method to improve the accuracy of the control advance angle of ignition of gasoline internal combustion engines (ICE) on indicators intracyclic changes in the angular velocity of the crankshaft, allowing to take into account the uneven distribution of the working mixture in the cylinders and change their technical condition. For the extreme regulator of adaptive control for the internal combustion engine justified optimization of the controlled parameter on the basis of the minimum of the coefficient of non-uniformity of the angular velocity of the crankshaft.

Keywords: *internal combustion engine, uneven of working processes, angular speed, uneven of rotation, adaptive control, extreme regulator.*

Одна из главных проблем обеспечения динамичной и экономичной работы двигателя внутреннего сгорания (ДВС) — оптимизация управления его системами в широком диапазоне нагрузочных и скоростных режимов работы с учетом того, что в процессе эксплуатации непрерывно изменяется техническое состояние двигателя вследствие износа сопряжений и других причин. Меняющийся характер протекания рабочих процессов индивидуален как по отдельным цилиндрам в конкретно взятом двигателе, так и по совокупности одной модели двигателей с одинаковым пробегом. Поэтому среднестатистические закономерности электронных управляющих систем работой ДВС, установленные фирмами-изготовителями, требуют корректировки.

Прежде всего это касается систем управления цикловой подачей топлива и моментом его воспламенения — углами опережения зажигания (УОЗ) или впрыска. Для решения такой задачи необходимы критерии оптимизации, по которым оценивается эффективность работы систем и механизмов ДВС и вырабатываются соответствующие управляющие действия, направленные на обеспечение предельно возможных (оптимальных) технико-экономических показателей работы в условиях сложившегося технического состояния.

Считается, что многофакторность возмущающих воздействий по природе и причинам (физико-химическим, структурным и иным) затрудняет определение единого параметра оптимизации и вызывает необходимость использования нескольких одновременно работающих систем (контуров) адаптации ДВС. При этом существенно усложняются программные устройства их реализации, снижается надежность и повышаются затраты на обеспечение работоспособности ДВС.

По этой причине существующие электронные системы управления двигателем (ЭСУД) используют многомерные матрицы памяти, в которые занесены, в соответствующих кодах, массивы сочетаний усредненных значений наиболее важных и критических параметров, характерных для различных режимов работы ДВС. По сути, с точки зрения теории систем автоматического управления (САУ), эти системы не считаются адаптивными, а относятся к системам программного управления с известными их недостатками.

Например, значение угла $\varphi_{о.з}$ опережения зажигания (рис. 1) определяется по критерию достижения максимального крутящего момента двигателя по сигналам датчиков частоты вращения коленчатого вала и нагрузки (разрежения во

gz218.indd 15 25.01.2018 8:18:02

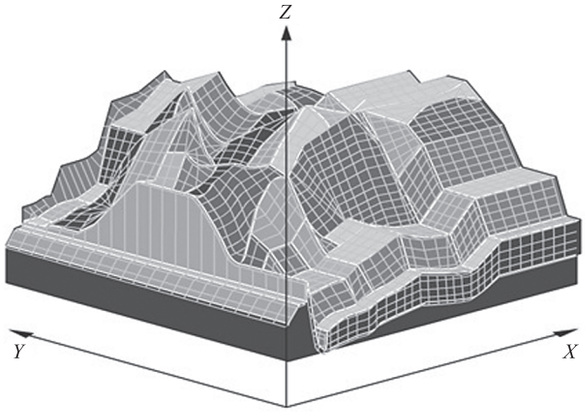


Рис. 1. Зависимость $\varphi_{о.з}$ (*Z*) от частоты вращения двигателя (*X*) и нагрузки (*Y*) по критерию максимума крутящего момента M_{max}

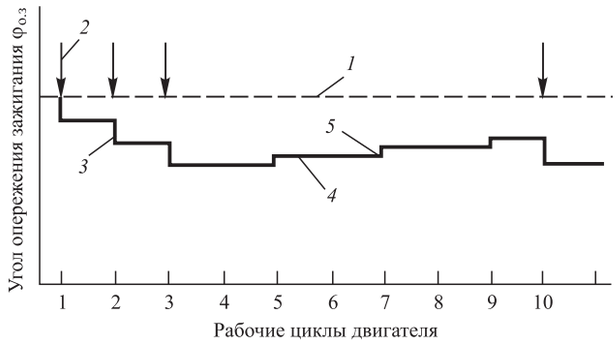


Рис. 2. Работа контура подавления детонации в одном из цилиндров двигателя [1]:

1 — УОЗ $\varphi_{о.з}$, устанавливаемый по программе; *2* — сигнал появления детонации; *3* — уменьшение УОЗ $\varphi_{о.з}$ при возникновении детонации; *4* — время сохранения УОЗ $\varphi_{о.з}$; *5* — шаг возврата УОЗ $\varphi_{о.з}$ к исходному значению

впускном трубопроводе) на двигатель с учетом температуры охлаждающей жидкости и состава топливовоздушной смеси. Полученная на основе экспериментальных данных, такая многофакторная модель не позволяет учитывать индивидуальные особенности рабочих процессов в цилиндрах ДВС, ее потенциальные управляющие возможности ограничены, так как идентификация состояния осуществляется по конкретному объекту, а управляющее воздействие формируется по среднестатистическому нормативу и распространяется на все цилиндры в одинаковой мере. В результате погрешность управления системой относительно оптимальных параметров работы ДВС одной модели даже на установившихся режимах работы достигает более 10 %.

С целью более полного учета изменения технического состояния ДВС и условий эксплуатации предложен ряд корректирующих, частично приспосабливающихся систем управления. Примером подобных систем может служить контур ограничения детонации при управлении работой ДВС по параметру $\varphi_{о.з}$ УОЗ [1], реализуемый на основе базовой и корректирующей матриц (рис. 2), которые имеют ограничения для случаев работы ДВС с детонационным сгоранием топливовоздушной смеси в цилиндрах. При возникновении детонации в цилиндрах ДВС сигнал от датчика-акселерометра, регистрирующего рост ускорения вибраций поверхности головки блока цилиндров, поступает в блок управления, который меняет алгоритм работы: сначала значение угла $\varphi_{о.з}$ резко уменьшается, а затем постепенно увеличивается до значения $\varphi_{о.з.max}$, предусмотренного основной программой. Величина снижения значения угла $\varphi_{о.з}$ определяется показателем интенсивности детонации, независимо от того в каком цилиндре оно возникло. Хотя полностью исключить все циклы работы двигателя с детонацией в этом случае нельзя, число их заметно сокращается.

Для дальнейшего снижения числа циклов работы ДВС с детонацией и улучшения управления УОЗ на неустановившихся режимах в контур ограничения детонации дополнительно включают обучающиеся матрицы (рис. 3). Существенным недостатком при этом является то, что обучающаяся корректирующая матрица формирует одинаковые значения угла $\varphi_{о.з}$ для всех цилиндров, что не эффективно вследствие присущей ДВС неравномерности работы цилиндров, достигающей 15 %. Примеры таких ЭСУД и их недостатки рассмотрены в [3—5].

Основным препятствием на пути улучшения адаптивных свойств ЭСУД является отсутствие единого интегрального показателя мгновенной

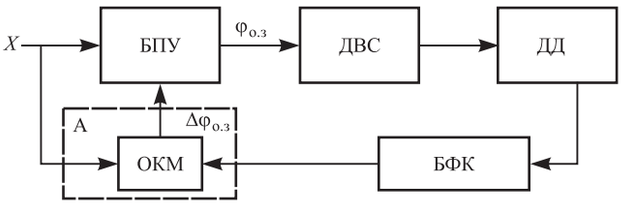


Рис. 3. Схема программного управления УОЗ с локально-замкнутым контуром ограничения угла $\varphi_{о.з}$ по началу детонации [2]:

X — сигнал возмущения; БПУ — блок программного управления УОЗ $\varphi_{о.з}$; ДВС — двигатель; ДД — датчик детонации; БФК — блок программной коррекции УОЗ $\varphi_{о.з}$; А — контур обучающейся коррекции УОЗ $\varphi_{о.з}$; ОКМ — обучающаяся корректирующая матрица

gz218.indd 16 25.01.2018 8:18:02

оценки эффективности рабочих процессов в каждом цилиндре ДВС. Такой показатель в качестве обобщенного параметра — критерия оценки оптимальности процесса управления — позволил бы: во-первых, упростить алгоритм поиска оптимального режима работы ДВС и сократить время срабатывания исполнительного механизма (ИМ); во-вторых, повысить точность определения значений регулируемого параметра по каждому из цилиндров.

На основе результатов комплекса проведенных в СГТУ имени Гагарина Ю. А. аналитических и экспериментальных работ по определению единого интегрального критерия оптимальности рабочих процессов в цилиндрах ДВС установлено, что таковым может быть внутрицикловой коэффициент δ неравномерности изменения угловой скорости [6]:

$$\delta = \frac{\omega_{max} - \omega_{min}}{\overline{\omega}}, \qquad (1)$$

где ω_{max}, ω_{min}, $\overline{\omega}$ — соответственно максимальное, минимальное и среднее значения угловой скорости коленчатого вала в пределах одного цикла работы ДВС.

Этот показатель позволяет в пределах цикла оценить эффективность рабочих процессов в цилиндрах ДВС, что подтверждается данными анализа регулировочных характеристик по УОЗ, снятых при различных сочетаниях индивидуальных технических состояний цилиндров и режимов работы нескольких моделей ДВС, в том числе с индивидуальными отличиями в техническом состоянии цилиндров. Обобщенный анализ этих характеристик (рис. 4) по нескольким моделям ДВС показывает, что максимально высокие технико-эксплуатационные показатели работы ДВС соответствуют оптимальному значению $\varphi_{о.з} = \varphi_{opt}$, при котором значение коэффициента δ минимально. Следовательно, минимизация значения коэффициента δ неравномерности угловой скорости отвечает принципу адаптивности системы управления значением УОЗ, по которому достигаются максимальные потенциальные возможности всей совокупности цилиндров ДВС с текущим техническим состоянием.

Приведенное утверждение не распространяется на режимы работы ДВС с детонацией (на рис. 4 — зона с θ > 40°) или с явно поздним зажиганием (θ < 25°), при которых значение коэффициента δ также может иметь экстремум $\delta = \delta_{min}$, но с другими значениями $\theta \neq \theta_{opt}$.

Устранение подобной ошибки — неверного заключения о величине УОЗ, отличной от θ_{opt}, —

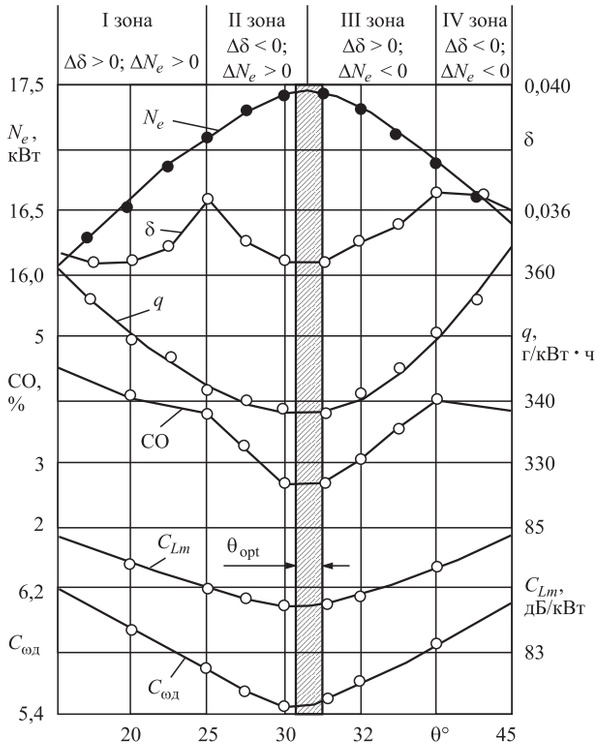


Рис.4. Зависимость эффективной мощности N_e, удельного расхода топлива *q*, содержания CO в отработавших газах, удельного значения среднего уровня звукового давления C_{Lm} и виброускорения $C_{ωд}$, коэффициента δ неравномерности угловой скорости коленчатого вала двигателя 4Ч 7,6/7,5 от угла опережения зажигания θ° при *n* = 2500 мин$^{-1}$

достигается применением соответствующего логического алгоритма. Его принцип работы основан на выделении четырех зон регулировочной характеристики по УОЗ, отличающихся комбинациями знаков производных показателей коэффициента δ и эффективной мощности N_e в допустимом диапазоне регулирования угла θ. При увеличении угла θ° — УОЗ: в зоне I знаки приращений $\Delta\delta = \delta_i - \delta_{(i-1)} > 0$, $\Delta N_e = N_{ei} - N_{e(i-1)} > 0$; в зоне II — $\Delta\delta < 0$, $\Delta N_e > 0$; в зоне III — $\Delta\delta > 0$, $\Delta N_e < 0$; в зоне IV — $\delta < 0$, $\Delta N_e < 0$. Исходя из этих различий, рабочим диапазоном системы регулирования ЭСУД являются зоны II и III, в пределах которых оптимальные режимы однозначно соответствуют минимальным значениям коэффициента δ неравномерности угловой скорости при изменении значений УОЗ $\varphi_{о.з} = \theta$ (25° < θ < 40°), характеризующихся противоположными знаками приращений (производных) показателей δ и N_e.

Аналогичные выводы сделаны и по другим регулируемым системам и механизмам ДВС, а также элементам автомобиля, для которых оптимальное

gz218.indd 17 25.01.2018 8:18:02

значение регулируемого параметра или состояние системы также соответствуют минимальному значению коэффициента δ неравномерности угловой скорости вращающихся элементов в сложившихся различиях структурных и рабочих параметров [6, 7].

Разработанная авторами адаптивная САУ реализуется как система экстремального регулирования (СЭР), поскольку в точке экстремума (рис. 4, граница зон II и III) знаки приращений параметров δ и *Ne* меняются на противоположные [8]. Определение условий экстремума предполагает проведение вычислений в соответствии с алгоритмом сформулированной экстремальной задачи, а именно: реализовать управление так, чтобы при смене знака приращения Δδ (производной) параметра δ с отрицательного на положительный СЭР отрабатывало значение $\varphi_{о.з}$ в сторону уменьшения, а при противоположном изменении — в сторону увеличения. Создавая такие колебания значений управляющего воздействия, система обеспечивает изменение значений УОЗ, соответствующих диапазону значений параметра δ в окрестности θ_{opt} точки экстремума. При изменении параметров работы ДВС процесс настройки системой повторяется, добиваясь минимального значения критерия δ путем изменения параметров коррекции, обеспечивая приближение рабочих процессов в цилиндрах к оптимальному режиму.

В соответствии с принятой в теории САУ классификацией [8], предлагаемая СЭР относится к аналитическим замкнутым активным самонастраивающимся самоприспосабливающимся САУ. Их особенность состоит в том, что контролируемые изменения свойств систем осуществляются в результате аналитического определения условий экстремума, обеспечивающих достижение цели и требуемого качества управления.

Положительным свойством СЭР с подстройкой по входному сигналу является то, что для вычисления оптимального решения необходима информация о происходящих в системе процессах (включая информацию о внешних воздействиях на объект управления), но не требуется дополнительного времени на поиск решения.

Для реализации алгоритма подстройки необходимая информация о внешних возмущающих воздействиях на объект управления поступает через соответствующие датчики, обеспечивающие так называемое приведение возмущений ко входу системы, т. е. введение во входной сигнал составляющих, зависящих от возмущения.

К сожалению, в реализуемой СЭР зависимости основных параметров ДВС от УОЗ носят нелинейный характер. При этом в системе возможны режимы автоколебаний, что отрицательно влияет на работу исполнительных устройств. Поэтому алгоритмом системы рабочий диапазон смещен от границы автоколебаний — не в точке экстремума, а вблизи ее зоны, в так называемой ε-окрестности, ограниченной ±0,5°. С уменьшением величины ε-окрестности процесс управления становится качественнее, однако свести ее значение к нулю невозможно в силу потери устойчивой (без автоколебаний) работы системы.

Коррекция управляющих воздействий адаптивной системы управления СЭР осуществлена путем применения алгоритма подстройки по методу градиента, структурно-функциональная схема которого представлена на рис. 5.

Особенностью работы системы является различие алгоритмов формирования задающего сигнала $Y_з$ в начальный момент (при пуске двигателя) и в рабочем режиме. При пуске двигателя блок формирования задающего сигнала (БФ $Y_з$) получает сигнал, соответствующий начальному возмущающему воздействию X_1, с выхода блока датчиков БД, контролирующего возмущающие воздействия, и формирует некоторое значение $Y_з$

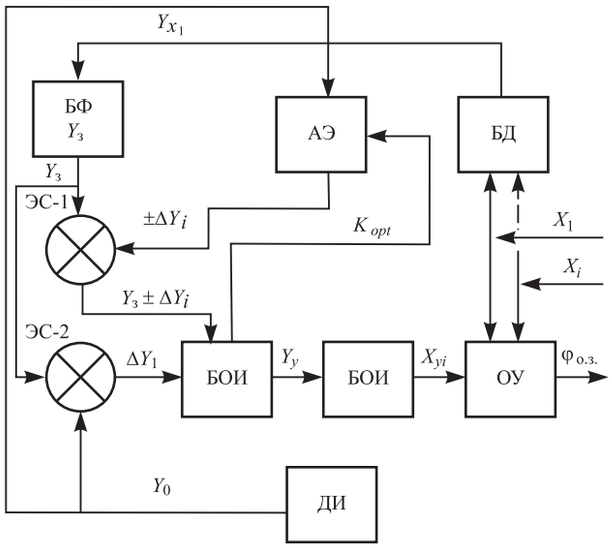


Рис. 5. Структурно-функциональная схема адаптивной системы управления ДВС:

ОУ — объект управления; БД — блок датчиков; ДИ — датчик информации; ЭС-1 — элемент сравнения; ЭС-2 — элемент сравнения и суммирования; БФ $Y_з$ — блок формирования задающего сигнала; БОИ — блок обработки информации; ИМ — исполнительный механизм; АЭ — анализатор эффективности

gz218.indd 18 25.01.2018 8:18:03

задающего сигнала, который поступает на сравнивающие ЭС-1 и ЭС-2. Этот сигнал определяется условиями окружающей среды и состоянием ДВС после предыдущей его работы. Одновременно на ЭС-2 поступает сигнал Y_0 с выхода датчика информации ДИ, контролирующего выходной сигнал ОУ, соответствующий начальному значению $\varphi_{о.з}$ УОЗ. Сигнал Y_0, по сути, представляет собой выходной сигнал цепи обратной связи. В результате на выходе ЭС-2 формируется сигнал $\Delta Y_1 = Y_з - Y_0$ первичного рассогласования как сигнал разности желаемого $Y_з$ и текущего Y_0 значений.

Сигнал ΔY_1 поступает в блок обработки информации (БОИ), представляющий собой вычислительное устройство с разветвленной алгоритмической логикой на базе микропроцессора. БОИ вырабатывает сигнал $Y_у$ управления ИМ, который, в свою очередь, формирует сигнал $X_{уi}$ управляющего воздействия ОУ.

Следует заметить, что БФ $Y_з$ непрерывно реагирует на индивидуальное изменение состояния ДВС как ОУ. Значение его выходного параметра не является фиксированным в процессе управления и может меняться в зависимости от получаемого эффекта по достижении максимально возможных значений технико-экономических и экологических показателей работы ДВС в условиях изменяющихся значений возмущающего воздействия X_i.

Одновременно в БОИ вычисляются значения критериального параметра, и сигнал, соответствующий значению коэффициента оптимальности K_{opt}, передается в анализатор эффективности АЭ, представляющий собой логический (вычислительный) блок анализа поступающей в него информации.

После пуска ДВС в рабочем режиме ДВС, в зависимости от эффективности корректирующего воздействия $X_{y(i-1)}$ управляющего сигнала, АЭ, сравнивая значения критериального параметра оптимальности в предыдущем $(i - 1)$-м и текущем i-м циклах работы, вырабатывает сигнал $\pm\Delta Y_i$ текущего рассогласования и команду на увеличение (уменьшение) значения регулируемого параметра $Y_з$; в результате на выходе ЭС-1 формируется его новое значение $Y_з \pm \Delta Y_i$, обеспечивая выработку корректирующего управляющего сигнала $X_{уi}$, соответствующего текущему значению X_i возмущающего воздействия.

Лавинообразный процесс изменения управляющих воздействий со сменой текущего значения параметра $Y_{зi} = Y_{з(i-1)} \pm \Delta Y_{зi}$ продолжается до тех пор, пока критерий оптимальности K_{opt} (коэффициент δ) не достигнет своего экстремального значения, обеспечивая заранее рассчитанное значение параметра ε-окрестности. В дальнейшем корректирующие действия регулируемого параметра будут меняться исполнительным механизмом в обе стороны от экстремума на величину установленного шага ($\varphi_{о.з} = \pm 0{,}5°$) его изменения, определяющего точность управления.

При вариации условий эксплуатации или режима работы ДВС (ОУ) под воздействием возмущающих внешних или внутренних факторов X_i процесс оптимального управления (параметром $Y_з$) повторяется вновь, но на ином уровне перебора оперативных оценок состояний корректирующего элемента ДВС с целью достижения максимальной эффективности его функционирования.

Если считать основным параметром настройки СЭР задающее воздействие $Y_{зi}$, а мерой качества — значение коэффициента δ_i неравномерности изменения угловой скорости в пределах цикла работы ДВС, то скорость изменения параметра $Y_{зi}$, пропорциональная соответствующему компоненту вектора градиента, представляется в виде:

$$Y_{зi} = A\frac{\partial\delta_i}{\partial Y_{зi}}. \qquad (2)$$

Мера качества δ_i, являясь функцией настраиваемого параметра, вычисляется через ошибку $\Delta Y_{зi}$ системы (здесь и далее $\Delta Y_{зi}$ — ошибка, характеризующая погрешность задания параметра $Y_{зi}$):

$$\delta_i = B\,f(\Delta Y_{зi}), \qquad (3)$$

где $f(\Delta Y_{зi})$ равна $(\Delta Y_{зi})^2$ — мгновенному значению квадрата ошибки системы, тогда:

$$\delta_i = B(\Delta Y_{зi})^2. \qquad (4)$$

В общем случае $f(\Delta Y_{зi})$ может быть и более сложной функцией ошибки.

Так как априорная информация обо всех блоках системы на рис. 5 известна, то известны операторы (передаточные функции) этих блоков:

W_0 — передаточная функция ДИ;

W_1 — передаточная функция БОИ;

W_2 — совместная передаточная функция ИМ и ОУ;

W_3 — передаточная функция БФ $Y_з$;

W_4 — передаточная функция АЭ;

W_5 — передаточная функция БД.

Следовательно, реализация вычислительного устройства с некоторым оператором (передаточной функцией) W_k, применительно к ошибке $\Delta Y_{зi}$

gz218.indd 19 25.01.2018 8:18:03

системы дает возможность вычислить необходимый компонент градиента по упрощенному варианту алгоритма.

Продифференцируем выражение (3):

$$\frac{\partial \delta_i}{\partial Y_{зi}} = B\frac{\partial f(\Delta Y_i)}{\partial(\Delta Y_{зi})}\frac{\partial(\Delta Y_i)}{\partial Y_{зi}}. \quad (5)$$

Дифференцирование выражения (4) дает:

$$\frac{\partial \delta_i}{\partial Y_{зi}} = 2B\frac{\partial(\Delta Y_i)}{\partial Y_{зi}}. \quad (6)$$

Преобразовывая структурную схему рис. 5 и определяя передаточную функцию системы, производную от ошибки вычисляем:

$$\frac{\partial(\Delta Y_i)}{\partial Y_{зi}} = -\frac{W_1W_2(1+W_4)}{1+W_0W_1W_2(1+W_4)}\frac{\partial W_1}{\partial Y_{зi}}\Delta Y_{зi}. \quad (7)$$

Вводя обозначение:

$$W_k = -\frac{W_1W_2(1+W_4)}{1+W_0W_1W_2(1+W_4)}\frac{\partial W_1}{\partial Y_{зi}}, \quad (8)$$

получим выражение для производной от ошибки в виде:

$$\frac{\partial(\Delta Y_i)}{\partial Y_{зi}} = -W_k\Delta Y_{зi}. \quad (9)$$

После подстановки выражения (9) в формулу (6), получим:

$$\left.\begin{aligned}\frac{\partial(\delta_i)}{\partial Y_{зi}} &= -2BW_k\Delta Y_{зi}\\ Y_{зi} &= -2ABW_k\Delta Y_{зi}\end{aligned}\right\}. \quad (10)$$

Система уравнений (10) дает возможность оптимизировать процесс адаптивной настройки СЭР с использованием метода градиента. Коэффициенты A и B подбираются (вычисляются) по известным соотношениям между рабочими параметрами конкретных моделей ДВС и коэффициенту δ неравномерности угловой скорости коленчатого вала.

Вывод формул (10) не учитывает наличия в структуре системы БД, так как не всегда этот блок имеется в явном виде, но его не сложно учесть: при этом в формуле (8) появится дополнительно оператор W_5.

Проведенные эксперименты с микропроцессорной системой адаптивного управления основными элементами и механизмами ДВС, использующей в качестве критерия оптимальности показатель внутрицикловой неравномерности угловой скорости δ, показали ее высокую эффективность. По сравнению с аналогами предложенная методология адаптивного управления ДВС позволяет уменьшить расход топлива на 2—3 %, токсичность отработавших газов — на 0,3—0,4 %, уровень шума и вибрации — на 3—5 %, повысить ресурс и снизить затраты на поддержание работоспособности ДВС.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Двигатели внутреннего сгорания.** В 3 кн. Кн. 1. Теория рабочих процессов / Под ред. В. Н. Луканина и М. Г. Шатрова. — М.: Высшая школа, 2007. — 479 с.
2. **Системы управления бензиновыми двигателями** / Пер. с нем. — М.: ООО "Книжное изд-во "За рулем"", 2005. — 432 с.
3. **Zhang F., Grigoriadis K., Franchek M., Makki I.** Linear Parameter Varying Lean Burn Air-Fuel Ratio Control for a Spark Ignition Engine // Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control. — 2007. — Vol. 129. — P. 404—414.
4. **Yildiz Y., Annaswamy A., Yanakiev D., Kolmanovsky I.** Adaptive Idle Speed Control for Internal Combustion Engines // American Control Conference. — 2007. — P. 3700—3705.
5. **Gruenbacher E., Marconi L.** Idle Mode Control on a Combustion Engine Test Bench via Internal Model Control // American Control Conference. — 2009. — P. 2045—2050.
6. **Гребенников А. С.** Диагностирование автотракторных двигателей динамическим методом. — Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2002. — 196 с.
7. **Гребенников С. А., Гребенников А. С., Никитин А. В.** Адаптивное управление топливоподачей ДВС по показателям неравномерности вращения коленчатого вала // Вестник Саратовского государственного технического университета. — 2013. — Вып. 2. — № 2 (71). — С. 86—90.
8. **Яковлев В. Б.** Адаптивные системы автоматического управления. — Л.: Изд-во Ленинградского ун-та, 1984. — 204 с.

gz218.indd 20 25.01.2018 8:18:03

УДК 629.114

В. П. Лобах, канд. техн. наук, доцент, **Н. А. Коваленко,** канд. техн. наук, доцент,
В. В. Геращенко, канд. техн. наук, доцент, **О. В. Билык,** канд. техн. наук, доцент, ГУ ВПО "Белорусско-Российский университет"
E-mail: mogilev-kovalenko@rambler.ru

УСТРОЙСТВО ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ БЛОКИРОВКОЙ МЕЖОСЕВОГО ДИФФЕРЕНЦИАЛА ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

Разработано устройство для автоматического управления блокировкой межосевого дифференциала автомобиля.

Ключевые слова: *грузовой автомобиль, межосевой дифференциал, блокировка, проходимость, устройство автоматического управления, датчик частоты вращения, дифференцирующая цепь, электромагнитный кран, сумматор. транзисторный усилитель.*

Developed a device to automatically control locking center differential of the truck.

Keywords: *truck, center differential, locking, throughput, automatic control device, a speed sensor, a differentiating circuit, electromagnetic valve, accumulator, transistor amplifier.*

Трансмиссия современных грузовых автомобилей с колесной формулой 6×4, как правило, содержит сцепление, раздаточную коробку, межосевой дифференциал, муфту блокировки дифференциала, приводные валы среднего и заднего мостов, сами ведущие мосты и устройство ручного управления блокировкой межосевого дифференциала [1, 2].

Такие автомобили отличаются недостаточной проходимостью, повышенным износом шин, деталей трансмиссии вследствие циркуляции мощности в ней, а также повышенным расходом топлива. Объясняется это тем, что устройство для блокирования межосевого дифференциала управляется водителем, который интуитивно выбирает момент времени для включения и выключения межосевого дифференциала. Водитель может запаздывать в принятии этого решения и осуществлять блокирование при достижении большой разности частот вращения валов. Поэтому происходит повышенный износ шин, трансмиссия испытывает повышенные нагрузки, расход топлива повышается.

Для повышения проходимости, снижения износа шин и деталей трансмиссии, а также расхода топлива авторами было разработано устройство для автоматической блокировки межосевого дифференциала, применение которого на грузовых автомобилях позволяет устранить или снизить недостатки, обусловленные применением ручной блокировки межосевого дифференциала.

Устройство автоматической блокировки состоит (рис. 1) из чашки *3* с венцом *4* установленных внутри четырех конических шестерен-сателлитов *5* и двух конических шестерен *6*, *7*, приводных валов *8*, *9* среднего *2* и заднего *10* мостов соответственно, механизма блокировки, включающего в себя кран *11* ручного управления, подвижной муфты *12* с осевым перемещением, соединенной вилкой *13* и стержнем *14* с диафрагмой пневмокамеры *15* с пружиной, муфты *16* привода среднего моста, пневмобаллона *17*, электромагнитных клапанов *18*, *19*, установленных на пневмомагистралях к пневмокамере *15*, переключателя *20* выбора ручного или автоматического режима управления блокировкой дифференциала *1*, крана *21* автоматической блокировки с обмоткой *22*, первого датчика *23* частоты вращения, установленного на первом карданном валу привода среднего моста *2*, второго датчика *24* частоты вращения, установленного на втором карданном валу привода заднего моста *10*, сумматора *25* с двумя входами и выходом, выполненного на двух встречно включенных резисторах *26*, *27*, первым входом соединенного с выходом первого датчика *23* частоты вращения, вторым входом — с выходом второго датчика *24*

gz218.indd 21 25.01.2018 8:18:03

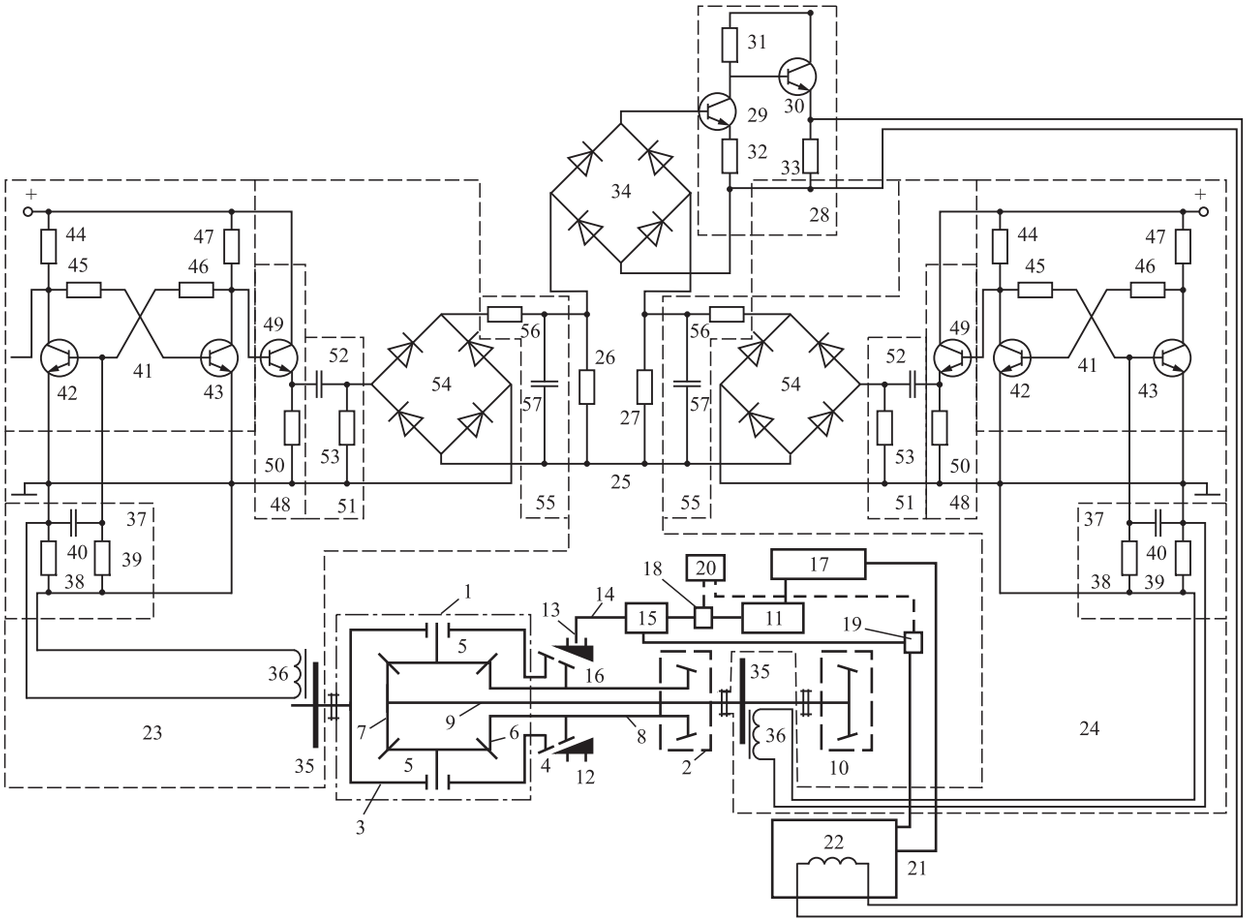


Рис. 1. Схема устройства для автоматической блокировки и разблокировки межосевого дифференциала

частоты вращения, транзисторного усилителя *28*, выполненного на первом *29* и втором *30* последовательно соединенных транзисторах и трех резисторах *31*, *32* и *33*, входом соединенного посредством выпрямителя *34*, выполненного на четырех диодах, с выходом сумматора *25*. При этом обмотка *22* крана *21* автоматической блокировки дифференциала *1* соединена с выходом транзисторного усилителя *28*.

Каждый из датчиков *23* и *24* содержит металлический диск *35* с выступами и прорезями, катушку *36* индуктивности с магнитным сердечником, установленную возле металлического диска *35*, первую дифференцирующую цепь *37*, входом соединенную с выходом катушки *36* индуктивности и выполненную на резисторах *38*, *39* и конденсаторе *40*, триггер *41* с одним входом, выполненный на транзисторах *42*, *43* и резисторах *44*, *45*, *46*, *47*; при этом база транзистора *42* соединена с выходом первой дифференцирующей цепи *37*; последовательно соединенные согласующий усилитель *48*, выполненный на транзисторе *49* и резисторе *50*; вторая дифференцирующая цепь *51*, выполненная на конденсаторе *52* и резисторе *53*; выпрямитель *54*, выполненный на четырех диодах; интегрирующая цепь *55*, выполненная на резисторе *56* и конденсаторе *57*; при этом вход согласующего усилителя *48* соединен с выходом триггера *41* с одним входом.

Кран *21* автоматической блокировки состоит из корпуса *1* (рис. 2) с перегородками *2* и *3*, которые образуют камеры *А*, *Б*, *В*. Камера *А* высокого давления имеет два отверстия: верхнее — для подвода сжатого воздуха из пневмобаллона *17* (см. рис. 1), нижнее — в перегородке *2* (см. рис. 2), закрываемое клапаном *4* с пружиной *5*, для сообщения с камерой *Б*, которая имеет перегородку *3* с отверстием для полого штока *6*, являющегося одновременно атмосферным клапаном, и боковое отверстие для подвода сжатого воз-

gz218.indd 22 25.01.2018 8:18:03

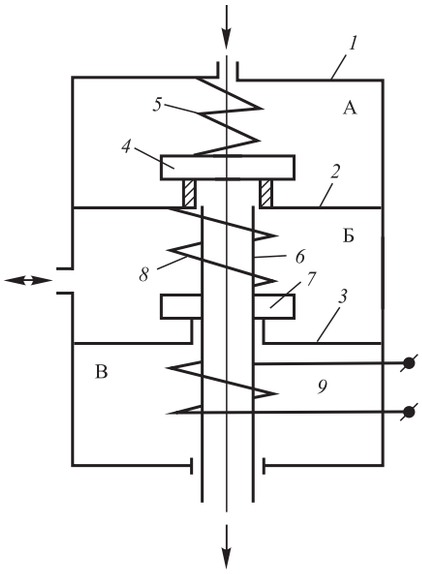


Рис. 2. Схема крана автоматической блокировки и разблокировки межосевого дифференциала с его обмоткой

духа в пневмокамеру *15* (см. рис. 1) механизма блокировки дифференциала. Шток *6* (см. рис. 2) имеет упор *7* для пружины *8* и ограничивает ход штока вниз. В камере *В* размещен электромагнит с обмоткой *9*, а шток *6* является одновременно и сердечником этого электромагнита.

Наличие устройства автоматической блокировки и разблокировки межосевого дифференциала, состоящего из электромагнитных клапанов, установленных на пневмомагистралях, идущих к пневмокамере, переключателя выбора ручного или автоматического режима блокировки и разблокировки дифференциала позволяет обеспечить возможность выбора с помощью переключателя режимов ручного или автоматического блокирования и разблокирования дифференциала.

Наличие крана автоматической блокировки и разблокировки с обмоткой позволяет обеспечить автоматическое блокирование межосевого дифференциала по сигналу измерительной системы, оценивающей разность частот вращения карданных валов приводов среднего и заднего моста соответственно.

Наличие первого датчика частоты вращения, установленного на первом карданном валу привода среднего моста, второго датчика частоты вращения, установленного на втором карданном валу привода заднего моста, сумматора с двумя входами и выходом, выполненного на двух встречно включенных резисторах, первым входом соединенного с выходом первого датчика частоты вращения, вторым входом — с выходом второго датчика частоты вращения, транзисторного усилителя, выполненного на первом и втором последовательно соединенных транзисторах и трех резисторах, входом соединенного посредством выпрямителя, выполненного на четырех диодах, с выходом сумматора, крана автоматической блокировки, обмотка которого соединена с выходом транзисторного усилителя, позволяет получить на выходе первого датчика частоты вращения напряжение, пропорциональное частоте вращения первого карданного вала привода среднего моста.

Наличие второго датчика частоты вращения, установленного на втором карданном валу привода заднего моста, позволяет получить на выходе второго датчика частоты вращения напряжение, пропорциональное частоте вращения второго карданного вала привода заднего моста. Сумматор с двумя входами, первый из которых соединен с выходом первого датчика частоты вращения, а второй — с выходом второго датчика частоты вращения, позволяет непрерывно получать на выходе сумматора разность напряжений, подаваемых на его входы. Эта разность напряжений подается через выпрямитель, выполненный на четырех диодах, на вход усилителя. Полученное усиленное напряжение на выходе усилителя далее подается на обмотку крана автоматической блокировки дифференциала.

Каждый из датчиков *23*, *24* частоты вращения валов (см. рис. 1) [3] работает следующим образом. При вращении вала с металлическим диском *35* с выступами и прорезями на выходах катушки индуктивности *36* формируются разнополярные импульсы, которые дифференцируются первой дифференцирующей цепью *37*. На рис. 3, *а* представлена осциллограмма остроконечных импульсов, пригодных для пуска триггера *41* (см. рис. 1).

В исходном состоянии триггера *41* считается, что транзистор *42* закрыт, тогда транзистор *43* триггера *41* — открыт. При вращении вала *8* и поступлении на базу транзистора *42* положительного импульса *А* в момент времени t_1 (см. рис. 3, *а*, *б*) транзистор *42* (см. рис. 1) открывается, а транзистор *43* закрывается (см. рис. 3, *б*, *в*). При последующем поступлении в момент времени t_2 отрицательного импульса *Б* (см. рис. 3, *а*) на базу транзистора *42* (см. рис. 1)

gz218.indd 23 25.01.2018 8:18:03

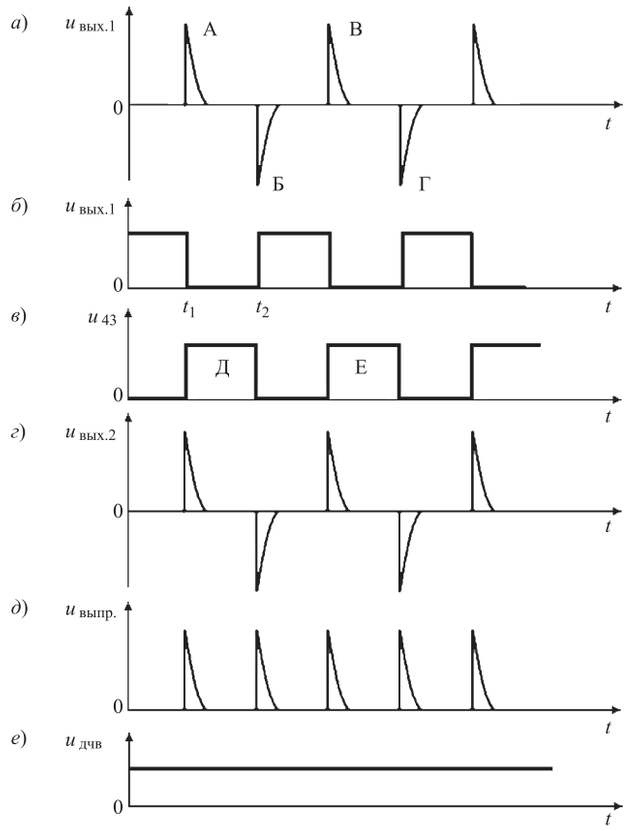


Рис. 3. Электрические сигналы в цепях устройства:

а — остроконечные импульсы на выходе первой дифференцирующей цепи; *б* — напряжение на коллекторе транзистора *42* (см. рис. 1); *в* — напряжение на коллекторе транзистора *43* (см. рис. 1); *г* — напряжение на выходе второй дифференцирующей цепи; *д* — напряжение после выпрямления; *е* — напряжение на выходе датчика частоты вращения

этот транзистор закрывается, а транзистор *43* открывается. В результате на выходе транзистора *43* триггера *41* формируется прямоугольный импульс *Д* (см. рис. 3, *в*).

При поступлении от первой дифференцирующей цепи *37* (см. рис. 1) остроконечных импульсов *В* и *Г* (см. рис. 3, *а*) на базу транзистора *42* (см. рис. 1) происходит формирование прямоугольного импульса *Е* на выходе триггера *41* (см. рис. 3, *в*). Далее формирование прямоугольных импульсов на выходе транзистора *43* (см. рис. 1) триггера *41* происходит аналогично описанному выше. Так как при изменении частоты вращения вала изменяется длительность полученных прямоугольных импульсов, а следовательно, и их площадь, то с помощью второй дифференцирующей цепи *51*, соединенной с выходом триггера *41* согласующим усилителем *48*, из прямоугольных импульсов формируются одинаковые по площади разнополярные экспоненциальные импульсы (см. рис. 3, *г*), что обеспечивает возможность применения операции их интегрирования цепью *55* (см. рис. 1) после выполнения операции выпрямления (см. рис. 3, *д*). На выходе цепи *55* (см. рис. 1) формируется напряжение, уровень которого пропорционален частоте вращения валов (см. рис. 3, *е*).

При равных частотах вращения n_1 и n_2 (рис. 4), промежуток времени от 0 до t_1 приводных валов *7*, *8* среднего *2* и заднего *10* мостов (см. рис. 1), и включенном автоматическом режиме блокировки, который задается переключателем *20,* электромагнитный клапан *18* закрыт, а электромагнитный клапан *19* открыт. В верхнее отверстие камеры *А* (см. рис. 2) крана *21* автоматической блокировки поступает сжатый воздух из баллона *17*. Камера *Б* (см. рис. 2) сообщается с атмосферой через полый шток *6* и с пневмокамерой *15* (см. рис. 1), в результате чего вилка *13* перемещается в крайнее правое положение под действием пружины пневмокамеры *15*. Венец *4* чашки *3* и муфта привода среднего моста разведены, а значит, дифференциал разблокирован.

Если появляется разность частот вращения приводных валов *8* и *9*, то на выходе сумматора появляется управляющее напряжение, пропорциональное разности частот вращения валов *8* и *9*, это напряжение усиливается транзисторным усилителем *28* и подается на обмотку *22* крана *21* автоматической блокировки. При достижении разностью частот вращения валов *8* и *9* заданной предельной величины (см. рис. 4, момент времени t_2) напряжение на выходе усилителя (рис. 5, момент времени t_2) становится равным напряжению срабатывания $u_{ср}$ (рис. 6) электромагнита крана *21* (см. рис. 1). Кран срабатывает, и шток *6* (см. рис. 2) перемещается вверх на величину $h_{шт}$ (см. рис. 6),

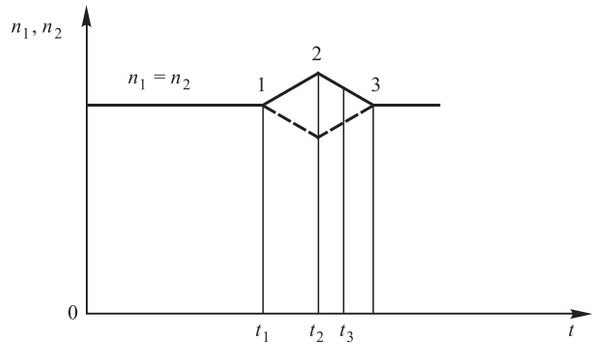


Рис. 4. Изменения частот вращения карданных валов среднего и заднего мостов

gz218.indd 24 25.01.2018 8:18:03

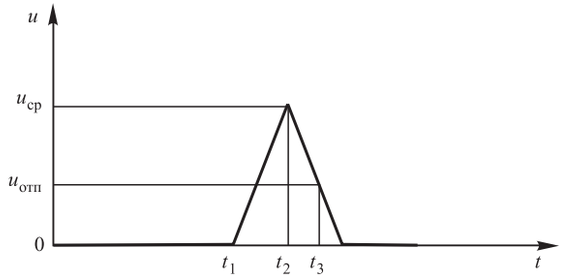


Рис. 5. Напряжение на выходе транзисторного усилителя устройства автоматического управления блокировкой межосевого дифференциала

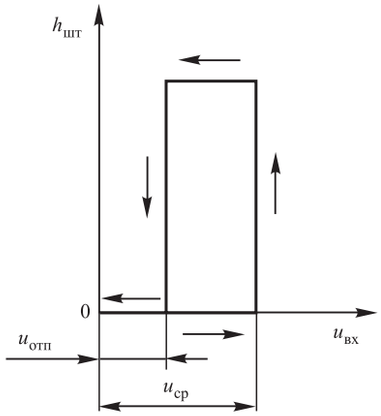


Рис. 6. Нелинейная статическая характеристика крана автоматической блокировки межосевого дифференциала

закрывая атмосферный клапан и открывая воздушный клапан. Сжатый воздух из камеры *А* (см. рис. 2) крана *21* (см. рис. 1) поступает в камеру *Б* (см. рис. 2) и далее через ее боковое отверстие в пневмокамеру *15* (см. рис. 1). Вилка *13* под действием силы сжатого воздуха, действующего на диафрагму пневмокамеры *15*, перемещается влево с подвижной муфтой *12*, соединяя венец *4* чашки *3* муфты привода, с муфтой *16* привода среднего моста *2*, тем самым блокируя дифференциал независимо от водителя.

При снижении разности частот вращения n_1 и n_2 (см. рис. 4) приводных валов *8* и *9* (см. рис. 1) до определенной величины (момент времени t_3, рис. 4) напряжение на выходе (рис. 5, момент времени t_3) сумматора снижается, а следовательно, снижается и напряжение на выходе усилителя *28* (см. рис. 1). Когда напряжение на выходе усилителя становится равным напряжению $u_{отп}$ (см. рис. 5 и рис. 6) электромагнита крана *21* (см. рис. 1) в исходном состоянии, шток *6* (см. рис. 2) опускается вниз на величину перемещения $h_{шт}$, открывая атмосферный клапан и закрывая воздушный клапан *4* под действием пружины *9*. В камеру *Б* крана *21* (см. рис. 1) автоматической блокировки не поступает сжатый воздух из баллона *17*, а камера *Б* (см. рис. 2) сообщается с атмосферой через полый шток *6* и с пневмокамерой *15* (см. рис. 1), в результате чего вилка *13* перемещается в крайнее правое положение с подвижной муфтой *12* под действием пружины пневмокамеры *15*. Венец *4* чашки *3* и муфта *16* привода среднего моста разведены, а значит, дифференциал разблокирован.

На рис. 7 приведена компоновочная схема устройства, включающая средний *1* и задний *2* мосты грузового автомобиля с колесной формулой 6×4, с указанием мест установки первого *3* и второго *4* датчиков частоты вращения соответствующих карданных валов. На ней также представлена функциональная схема разработанного устройства автоматического управления блокировкой дифференциала, включающая в себя последовательно соединенные сумматор *5*, выпрямитель *6*, транзисторный усилитель *7*, электромагнитный

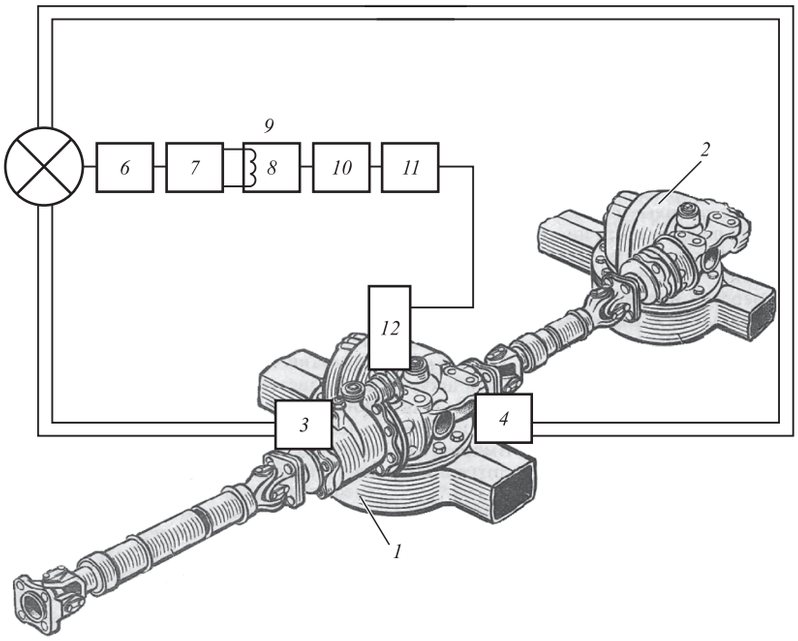


Рис. 7. Компоновочная схема устройства автоматической блокировки межосевого дифференциала грузового автомобиля

gz218.indd 25 25.01.2018 8:18:03

кран *8* с обмоткой *9*, пневмокамеру *10*, подвижную муфту *11*, муфта привода *12*.

Экономический эффект при установке предлагаемого устройства на автомобиль достигается путем снижения затрат на его эксплуатацию благодаря улучшению проходимости, уменьшению износа шин и деталей трансмиссии, а также снижению расхода топлива вследствие своевременному блокированию межосевого дифференциала, что снижает уровень циркуляции мощности в трансмиссии.

Выводы по работе

1. Отсутствие у современных грузовых автомобилей с колесной формулой 6×4 автоматической блокировки межосевого дифференциала приводит к ухудшению их эксплуатационных свойств, таких как проходимость и топливная экономичность.

2. Разработано устройство автоматического управления блокировкой межосевого дифференциала, работающее на основе анализа разности частот вращения приводных валов среднего и заднего мостов грузового автомобиля.

3. Применение такого устройства позволяет повысить проходимость автомобиля, снизить затраты на его эксплуатацию благодаря улучшению топливной экономичности и снижению затрат на обслуживание и ремонт вследствие уменьшения износа шин и деталей трансмиссии.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Передерий В. П.** Устройство автомобиля. — М.: Форум: ИНФРА-М, 2005. — 288 с.
2. **Роговцев В. Л.** Устройство и эксплуатация транспортных средств. — М.: Транспорт, 2000. — 430 с.
3. **Геращенко, В. В., Коваленко Н. А., Щур А. В., Гуменюк В. И.** Усовершенствованная система автоматического управления скоростью движения автомобиля // Автомобильная промышленность. — 2017. — № 2. — С. 11—13.

Второй офис "ЛОНМАДИ"

В конце прошлого года компания "ЛОНМАДИ", официальный дилер строительной и землеройной техники JCB, открыла новый, уже второй офис в Санкт-Петербурге. Дилерский центр, общая площадь которого составляет 1500 м², расположен в промышленной зоне с развитой транспортной инфраструктурой, в шаговой доступности от станции метро "Парнас".

На территории нового центра находятся склад запасных частей и расходных материалов общей площадью 500 м², сервисная зона и офисные помещения. Здесь клиентам будет оказан полный спектр услуг, включающий в себя продажу новой и подержанной техники JCB, а также сервисную поддержку машин британского производителя.

Заказчикам будут поставляться все машины из строительного модельного ряда спецтехники JCB: экскаваторы-погрузчики, гусеничные, колесные, фронтальные, промышленные вилочные и телескопические погрузчики, мини-экскаваторы, мини-погрузчики с бортовым поворотом, вилочные погрузчики высокой проходимости, тандемные, грунтовые вибрационные и траншейные катки.

На торжественной церемонии открытия присутствовало около 200 гостей, в том числе клиенты и партнеры компании. Кульминационной частью мероприятия стало легендарное "Шоу танцующих экскаваторов" под управлением операторов из Великобритании и инженеров-механиков компании "ЛОНМАДИ": машины выполняли различные трюки под классическую музыку. Представление позволило специалистам продемонстрировать все преимущества использования гидравлической системы, которой оснащены экскаваторы JCB.

В заключение торжества состоялся розыгрыш ценных призов от "ЛОНМАДИ" и JCB Russia. Его участники могли выиграть фирменные часы, кожаную сумку JCB или побороться за главный приз — поездку на завод JCB в Великобритании. Гости могли также записаться на бесплатный тест-драйв колесного мини-погрузчика JCB 225 ECO, позволяющий оценить технические характеристики машины и опробовать ее в работе.

"Основная цель открытия второго офиса в Санкт-Петербурге — быть ближе к заказчику, — сказал руководитель АО "ЛОНМАДИ Парнас" Алексей Килевой. — Обслуживать крупнейший город с населением в 5 млн человек силами одного подразделения компании практически невозможно. Кроме того, север Санкт-Петербурга продолжает интенсивно строиться и развиваться. Территория покрытия нашего офиса также включает Республику Карелия и заканчивается у границы с Финляндией. Это перспективное направление, которое ранее было слабо охвачено".

gz218.indd 26 25.01.2018 8:18:03

ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 629.113

В. Н. Козловский, д-р техн. наук, СамГТУ, г. Самара, **А. В. Заятров,** канд. техн. наук, ТГУ, г. Тольятти, **М. М. Васильев,** канд. эконом. наук, МИР, г. Самара, **Е. В. Полякова,** канд. техн. наук, ПВГУС, г. Тольятти
E-mail: kozlovskiy-76@mail.ru

ЭТАПЫ, ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЕКТОВ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ И АВТОМОБИЛЕЙ С КОМБИНИРОВАННОЙ ЭНЕРГОУСТАНОВКОЙ

В работе представлены результаты исследования в области развития производственных технологий создания электромобилей и автомобилей с комбинированной энергоустановкой.

Ключевые слова: *автомобилестроение, электромобиль, автомобиль с комбинированной энергоустановкой.*

The paper presents the results of research into the development of production technologies for the creation of electric vehicles and hybrids.

Keywords: *motor industry, electric car, hybrid.*

(Рисунки на 2-й полосе обложки)

История развития проектов электромобилей начинается в 1835 г., когда профессор Страйтинг продемонстрировал небольшой электрический автомобиль в г. Гронинген (Нидерланды). Автомобиль, по сути, представлял собой концептуальную модель, в которой было необходимо решить множество перспективных задач связанных, например, с обеспечением хранения электроэнергии. Данная задача была решена с помощью разработки тяговой свинцово-кислотной аккумуляторной батареи (ТАБ) бельгийским ученым Гастоном Планте в 1859 г. А в совокупности с разработанной Жэнобе Теофилем Граммом более совершенной конструкции тягового электродвигателя полученный комплекс, охватывающий тяговую аккумуляторную батарею (ТАБ) — тяговый электродвигатель, сформировал предпосылки для развития процессов проектирования и производства электромобилей [2, 8].

Примерно в 1870 г. братья Сименс запатентовали двойные Т-образные железно-арматурные генераторы в Англии, и в 1890-х годах француз Г. Трове использовал пару модифицированных двигателей Сименс и батарею Планте в мотоцикле с коляской, который развивал скорость до 12 км/ч. Похожие мотоциклы появились в США и Великобритании, и к 1896 г. партнеры Моррис и Салом произвели 13 электрических автомобилей, которые работали в Нью-Йоркском такси, с циклом пробега до полной разрядки ТАБ — 48 км.

К концу 1890-х годов на автомобильном рынке появились более высокотехнологичные двигатели внутреннего сгорания (ДВС), которые напрямую конкурировали с электроприводами. Начался этап соперничества технологий. Уже в 1896 г. испанским инженером Г. Хульеном была разработана батарея с цинковыми пластинами в щелочном электролите, конструкция которой актуальна и сегодня. А в 1897 г. Дараком был построен электромобиль, имеющий достаточно высокие показатели энергосбережения. В этот период времени в Великобритании наблюдается всплеск интереса к электромобилям, которые использовались, например, в такси. Благодаря чему в 1897 г. в Лондоне была создана ассоциация "Red Flag Act" (Красный Флаг Закона), и к лету 1897 года, 15 электромобилей уже работали в Лондоне.

gz218.indd 27 25.01.2018 8:18:04

Важным достижением электромобилестроения являются технологии французского изобретателя Ками Женази, благодаря которым в 1899 г. был достигнут рекорд скорости на электромобиле — 98 км/ч Фердинанд Порше построил первый Lohner-Wagen в 1900 г. с электродвигателями на передней ступице колес, а уже в следующем году был разработан Lohner-Porsche Rennwagen с батареями общей массой 1800 кг и питанием электропривода в 1,5 кВт. Порше также разработал первую модель автомобиля с комбинированной энергоустановкой — MixtWagen, в которой использовал бензиновый двигатель для привода генератора, с которого электроэнергия снималась ТАБ, питающей электропривод транспортного средства.

До первой мировой войны в США и Великобритании эксплуатировалось около 30 тыс. электромобилей. Автомобилей с ДВС в этот период времени было уже не менее 900 тыс.

Причиной бурного роста технологий проектирования и производства автомобилей с ДВС множество. В 1908 г. Генри Форд запустил "Model T", что обозначило век массового производства автомобилей с низкой себестоимостью. В этот период в Техасе и на Ближнем Востоке были обнаружены обширные залежи нефти. В 1911 г. Чарльз Кеттеринг внедрил электрический стартер на Cadillac, благодаря чему из конструкции исчез ручной пуск. По большей части приведенные факторы способствовали снижению инженерной активности в вопросах создания электромобилей, и уже к 1935 г. соответствующие технологии не обновлялись. Однако были и исключения: после Второй мировой войны в Японии был небольшой процент электромобилей, а в Великобритании некторое количество электромобилей обеспечивало решение транспортных задач городского сервиса.

В 60-х годах XX века, проблема развития экологичного транспорта вновь стала актуальной. Электромобили стали рассматриваться как потенциально необходимые транспортные средства. Так, в связи с ростом количества автомобилей, эксплуатируемых в штате Калифорния (США), в 1966 г. президентом Никсоном был подписан первый пакет законов, который определял экологические требования к автомобильному транспорту. В 1970 г. в США была сформирована служба по охране окружающей среды (EPA).

Первые попытки возрождения проектов электромобилей были реализованы в виде глубоких инженерных изменений стандартных автомобильных платформ. Например: электромобиль Иллинойс (Illinois-based) корпорации Eureka Williams; электромобиль Enfield производства Центральной Электропроизводящей компании Англии. Enfield имел массу 975 кг и мог развивать скорость до 64 км/ч при пробеге до полной разрядки ТАБ — 90 км. Тем не менее стоимость такого электромобиля в 2 раза превышала стоимость аналогичного автомобиля с ДВС.

В 1967 г. компания Ford в Великобритании представила электромобиль Comuta, с заявленным циклом пробега до перезарядки, равным 64 км при обеспечении средней скорости движения — 40 км/ч. В этот же период в США компания GM запустила проект электромобиля на базе модели Corvair, оцененный в 15 млн долл. Сначала в качестве основного накопителя энергии использовалась цинк-воздушная ТАБ, а уже во второй итерации автомобилей данной марки использовалась серебряная батарея с примесью цинка, расположенная в переднем и заднем отсеках салона автомобиля.

Серебряные батареи с цинком были использованы потому, что они обладали высокой мощностью в пиковых режимах и обеспечивали достаточный уровень сохранения энергии, но они были дорогими, а характеристики надежности и стабильности работы резко ухудшались уже после 100 циклов перезарядки. Пробег электромобилей до полного разряда ТАБ был ограничен 129 км, а бензиновая версия автомобиля обеспечивала движение на расстояние в 480 км.

В Европе GM электрифицировала Opel Kadette с двигателем постоянного тока с использованием как свинцово-кислотных, так и воздушно-цинковых батарей. В последнем варианте компания заявляла повышенный пробег между подзарядками — 240 км при средней скорости движения 48 км/ч [1, 3]. В 1970 г. Генеральная Электрическая компания показала электромобиль GE Delta, в котором была использована комбинация свинцово-кислотных и никель-кадмиевых аккумуляторов.

Однако главными проблемами электромобилей оставались не высокая энергоэффективность, а значительная стоимость и слабая динамика движения.

В 1972 г. компания Sebring-Vanguard, основанная в штате Флорида (США), выпустила на рынок двухместный Citicar: электромобиль особо малого класса с максимальной скоростью движения 72 км/ч и пробегом между перезарядкой ТАБ —

gz218.indd 28 25.01.2018 8:18:04

40 км. В течение следующих четырех лет компания продала 2500 машин стоимостью 3000 долл. США.

Одним из лидеров в области разработки электромобилей является компания GE, которая активно работает совместно GM в течение последних четырех десятилетий. В 1978 г. компания в сотрудничестве с Chrysler EV реализовала проект по использованию свинцово-кислотных аккумуляторов, а спустя шесть лет данные технологии были использованы в Ford Mercury, где был реализован электропривод передних колес от трубчатых свинцово-кислотных ТАБ. Далее компанией Ford в проекте Aerostar van были предложены натриево-серные аккумуляторы, работающие при высоких температурах. При этом были достигнуты значительные характеристики пробега до полной разрядки ТАБ — 160 км, при максимальной скорости движения 96 км/ч.

Во Франции к концу 80-х годов XX века эксплуатировалось около 500 электромобилей. В основном это были реинжиниринговые проекты Peugeot 205 и Citroën C15. В это же время в Германии VW запускает проект электромобиля на платформе Golf. Автомобиль был оснащен свинцово-кислотными ТАБ. Компания Siemens разрабатывает синхронный двигатель трехфазного переменного тока с постоянным магнитом, который использует водяное охлаждение, а также реализует процесс генерации энергии в режимах торможения (рекуперация).

В 1990-х годах в США и Западной Европе был проведен ряд законодательных и регулятивных мер, направленных на улучшение экологической обстановки. При этом происходило возрождение интереса к технологиям электромобилестроения у ключевых автопроизводителей.

В 1990 г. в США были приняты экологические поправки Clean Air Act, а в 1992 г. там же был принят закон об энергетической политике, а также нормативные акты Калифорнийского совета по воздушным ресурсам (CARB). В дополнение к строгим запретам на вредные выбросы в атмосферу, были добавлены требования и правила, требующие сокращение потребления бензина.

В 1990 г. Калифорния приняла свой мандат Zero Emission Vehicle (ZEV), который определил 2-процентный сегмент транспортных средств с нулевым выбросом к 1998 г. и 10-процентный — к 2003 г. В соответствии с мандатом компания Ford разработала проект Ecostar, результатом которого стал электромобиль с 105-сильным двигателем. Важной особенностью Ecostar является его "горячая" с рабочей температурой 315 °С натрий-серная ТАБ, конструкция и технология производства которой была разработана специалистами компании еще в 1960 г.: аккумулятор работает при высокой температуре, обеспечивая молекулярную реакцию между расплавленными натрием и серой. Достоинством данного типа ТАБ является обеспечение высоких динамических свойств электромобиля (время разгона от 0 до 96 км/ч составляет всего 15 с). Однако специфический температурный режим и технология производства подобных ТАБ ограничивают их применение.

В настоящее время появляются конструкции и технологические проекты, обеспечивающие достаточную эффективность работы электромобилей без указанных выше специфических особенностей. При этом все больше усиливается конкуренция между традиционными марками автомобилей с ДВС, электромобилями и автомобилями с комбинированной энергоустановкой. По сути, сегодня наблюдается переломный момент в автомобильных технологиях, так же как это было в начале XX века. И обострение экологических проблем может обеспечить еще более бурный рост соответствующих "зеленых технологий" на транспорте [2, 8].

Впервые о вредности отработавших газов автомобильных двигателей заговорили в начале 60-х годов XX века, когда резко увеличилось число заболеваний органов дыхания у людей, вызванных, как установили специалисты, смогом, который начал часто появляться в городах штата Калифорния в результате работы автомобильных двигателей.

С тех пор этой проблемой занялись всерьез. Вопросы экологии транспортного средства на стадии его проектирования теперь стоят в одном ряду с его потребительскими свойствами и безопасностью.

Систематическое исследование проблемы привело к появлению юридических документов (нормативов), ограничивающих концентрацию вредных веществ в отработавших газах. Наиболее требовательными в этом плане являются нормативы "Евро" в странах Европейского союза и законы штата Калифорния США.

Правила R 83-02 ЕЭК ООН, известные как Евро 1, вступили в действие в 1993 г. С момента их введения автомобильные фирмы Европы выпускали только машины, отвечающие этим требованиям. Прошло почти 20 лет, и сегодня мировые лидеры автомобильной промышленности

gz218.indd 29 25.01.2018 8:18:04

уже ориентируют свою продукцию на перспективные требования стандарта "Евро" пятой версии (рис. 1).

За время действия стандартов "Евро" с 1993 года количество вредных веществ в отработанных газах (ОГ) снизилось более чем в 2 раза. Всего за последние 40 лет содержание токсичных компонентов в ОГ одного автомобиля уменьшилось на 70 %.

Несмотря на уменьшение вредных выбросов отдельными автомобилями, за последние 40 лет из-за роста их количества общие выбросы углекислого газа, монооксида углерода, углеводородов, уровень шума в городах мира удвоились.

На долю автомобильного транспорта приходится 80 % всех выбросов вредных веществ в крупных городах. Автомобили не только загрязняют воздух токсичными газами, они еще и сжигают кислород. Для сжигания одного килограмма бензина требуется 13,7 кг воздуха, т. е. 2,9 кг кислорода. Уже сейчас на планете сжигается около 90 % всего кислорода, вырабатываемого наземной растительностью. Проблема экологичности автомобильного транспорта в настоящее время приобретает все большую актуальность.

С учетом всего вышеизложенного становится понятно, что направление, связанное с так называемыми "зелеными технологиями" в автомобилестроении — это наиболее перспективный путь развития автомобильного транспорта.

Сегодня с точки зрения экологичности наилучшие показатели имеют автомобили с водородным двигателем и работающие на топливных элементах, но на пути их внедрения стоят многочисленные проблемы, преодоления которых может потребовать массу времени, которого, возможно, уже нет.

У электромобилей (ЭМБ) нет конкурентов по части загрязнения, но и тут не все так просто. Сторонники этого вида транспортного средства часто не учитывают, что электричество для подзарядки электромобиля вырабатывают электростанции, которые для этого, в основном, сжигают топливо. То есть вред природе не уменьшится, просто места выброса вредных веществ сильнее локализованы. Выбросы электромобиля меньше, но все же не равны нулю.

Наиболее реальной альтернативой автомобилю, на наш взгляд, является транспорт с комбинированной (гибридной) энергоустановкой (АКЭУ). По многим показателям он превосходит не только автомобиль с обычным приводом, но и ЭМБ.

Таким образом, на фоне продолжающегося ужесточения экологических норм законодательством промышленно развитых стран и, как следствие, усовершенствования конструкций серийно выпускаемых автомобилей продолжаются исследования для замены источников энергии транспортных средств. Среди возможных на сегодняшний день вариантов наиболее перспективными по-прежнему являются проекты ЭМБ и АКЭУ. В подтверждение нашего вывода приведем мнение экспертной группы Международного Энергетического Агентства (МЭА).

Группа МЭА прогнозировала всплеск количества и типов ЭМБ и АКЭУ, доступных на рынке, к 2015 г. Крупные корпорации, такие как Coca-Cola, AT&T, FedEx и Wal-Mart в настоящее время включают АКЭУ в свои автопарки. Вследствие роста производства коммерческих автомобилей с применением "зеленых технологий", таких как Renault, затраты на обслуживание и сервис падают. Администрация президента США на основании данных о существенном росте продаж электромобилей занимается разработкой целевой программы модернизации и развития энергетической инфраструктуры страны.

ЭМБ — автомобиль, приводимый в движение одним или несколькими электродвигателями с питанием от аккумуляторов. Сравнение энергетической эффективности обычного автомобиля и электромобиля, приведенное на рис. 2, показывает, что существующий уровень научного и технологического развития автомобильной отрасли не позволяет существенно снизить уровень потребления энергии ЭМБ в сравнении с обычным транспортным средством.

Именно поэтому удельная энергоемкость аккумуляторной батареи сильно влияет на область эффективного использования электромобилей и ее повышение — одно из наиболее перспективных направлений развития науки и технологий. Кроме того, для повышения эффективности электромобилей требуется решить проблему снижения удельной цены источника тока, а также повышения срока службы ТАБ.

На рис. 3 представлена диаграмма сравнения потребительских характеристик обычного автомобиля и ЭМБ. Анализ данных рис. 3 показывает, что по целому ряду показателей электромобиль превосходит обычное транспортное средство:

gz218.indd 30 25.01.2018 8:18:04

рекуперация энергии торможения, экологичность, ускорение, энергетическая эффективность летом.

Автомобиль с комбинированной энергоустановкой (АКЭУ) — автомобиль, использующий для привода ведущих колес не только энергию ДВС, но и накопленную в электрохимических, электростатических или механических устройствах энергию. По методу подключения ДВС и накопителя к приводу выделяют такие схемы.

Параллельная — двигатель и накопитель соединены дифференциалом, который соединен с приводом колес (рис. 4). Ее используют в автомобилях Integrated Motor Assist (Honda). Схема характеризуется простотой и низкой стоимостью.

Последовательная — двигатель соединен только с накопителем, который, в свою очередь, соединен с приводом колес (рис. 5). Близкий принцип используется в электрической трансмиссии, которая применяется в случаях, когда необходимо передать большой момент с ДВС на колеса.

Последовательно-параллельная — система может работать как последовательно, так и параллельно, в зависимости от режима работы. Эта схема реализована в автомобилях с Hybrid Synergy Drive (Toyota). Например, Toyota Prius.

Перечислим некоторые достоинства автомобилей с КЭУ: в настоящее время у большинства новых моделей мощность достигает 100 кВт, в то время как средняя используемая мощность составляет в черте города около 7,5 кВт. Коэффициент полезного действия при этом очень мал и составляет 20 %. В АКЭУ устанавливается небольшой ДВС, работающий в режиме, близком к максимальному КПД, при этом КПД будет почти так же высок, как и у тепловой электростанции, благодаря оптимальной конструкции двигателя. Расход топлива у АКЭУ может быть на 90 % меньше, чем у аналогичного по характеристикам автомобиля. По сравнению с электромобилем АКЭУ при одинаковых габаритах обладает большей эксплуатационной эффективностью. В настоящее время многотопливные двигатели обычно конструируют таким образом, чтобы оптимальные параметры достигались при работе на бензине, в то время как многие типы двигателей (например, газотурбинный) можно сконструировать так, чтобы они эффективно работали на альтернативном топливе. В АКЭУ гораздо легче добиться топливной экономичности на уровне 1,5—2 л/100 км.

Среди достоинств АКЭУ следует выделить и то, что постройка автомобиля с гибридным приводом на основе серийно выпускаемой модели не требует дополнительных затрат по разработке кузова и механической части. Изменения, вносимые в конструкцию, минимальны. Поэтому АКЭУ может выпускаться как одна из модификаций существующей модели автомобиля. Без применения дополнительных приводных валов и раздаточных механизмов удается получить автомобиль, обладающий полным набором преимуществ полноприводных машин, таких как лучшая управляемость и курсовая устойчивость, лучшая проходимость и реализация момента и мощности, подводимых к колесам.

По сравнению с обычным полноприводным автомобилем улучшается эластичность, в частности, разгон с места занимает меньше времени благодаря тому, что электродвигатель развивает максимальный крутящий момент почти сразу после начала набора оборотов. Кроме того, уменьшается уровень шума. Расход топлива снижается еще и потому, что отсутствуют механические потери в приводе от ДВС к мосту. Электродвигатель лучше поддается электронному управлению, что создает дополнительные возможности регулирования реализации крутящего момента на осях и колесах. Схема не требует установки дополнительных ТАБ, автомобиль всегда может двигаться в моноприводном варианте только от ДВС.

Несмотря на существенный прогресс развития ЭМБ и АКЭУ, наблюдаемый в настоящее время, существуют мнения западных и российских экспертов о невысокой перспективности развития данных технологий как на территории РФ, так и в мире.

Президент альянса Renault-Nissan не видит предпосылок развития производства гибридных автомобилей в России. По его словам, в России на данном этапе нет предпосылок для развития направления электромобилей и гибридов. "Во-первых, Россия добывает много нефти, во-вторых, Россия — очень большая страна, в-третьих, в России пока никто не стимулирует развитие рынка гибридов и электромобилей, — сказал К. Гон. — По этим причинам я не думаю, что Россия будет в первых рядах в том, что касается электромобилей и гибридов. Конечно, Россия сможет потом быстро догнать другие страны, если правительство в какой-то момент решит поддержать развитие этих технологий" [4].

gz218.indd 31 25.01.2018 8:18:04

Президент Mazda Такаши Яманучи считает, что цель развития марки Mazda — улучшение базовых технологий. Что будет потом — водород, топливные элементы, биотопливо или электричество, пока говорить рано. Если к 2030 г. сбыт новых машин вырастет до 100 млн, то, согласно прогнозам, в лучшем случае лишь четверть из них окажется полностью на электротяге. Остальные 75 % автомобилей в том или ином виде продолжат использовать традиционные дизельные и бензиновые моторы, и в количественном выражении это больше, чем сегодня продается машин во всем мире. Сейчас даже в Японии нет достаточного числа людей, готовых отдать свои деньги за электромобиль [5].

Глава автомобильного концерна Daimler AG Дитер Цетше на Женевском автосалоне сказал: "Пока, несмотря на все достоинства электромобилей, у них есть и свои ограничения. Например, необходимость тратить время на подзарядку. И хотя технологии постоянно совершенствуются, естественный рост до 20 % рынка к 2020 г. мне кажется практически недостижимым" [6].

Темпы производства и внедрения электромобилей в России будут отставать от других развитых стран, считает партнер и руководитель практики по оказанию услуг компаниям автомобильной отрасли PwC Стенли Рут. В России в настоящее время обеспокоенность вредными выбросами не столь остра, как в Европе или США. Что касается инфраструктуры, то перед Россией и так стоят серьезные задачи в области развития дорожной сети. Самая обширная по территории страна в мире ежегодно затрачивает колоссальные средства на транспортные цели [7].

Таким образом, проведенный анализ текущей ситуации и тенденций развития производства электромобилей и автомобилей с комбинированной энергоустановкой показывает:

— в последние 10 лет происходит беспрецедентное развитие "зеленых технологий" в автомобильном транспорте, а внимание к "зеленым технологиям" со стороны крупнейших мировых компаний с каждым годом возрастает;

— наблюдается системная интеграция лидеров автомобильного рынка и компаний, разрабатывающих и выпускающих высокотехнологичную инновационную продукцию для решения проблемы повышения эффективности автомобильного транспорта с "зелеными технологиями"; при этом особую роль приобретают электротехнические комплексы и системы, образующие так называемые электротехнологии на транспорте;

— параллельно с развитием производства автомобилей с применением "зеленых технологий" происходит быстрое развитие сферы услуг использующей и (или) базирующейся на соответствующем фундаменте технологий;

— на государственном уровне в развитых странах разрабатываются программы стратегического развития экологических видов транспорта и инфраструктурных проектов энергообеспечения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Строганов В. И., Козловский В. Н., Воловач В. И.** Проблемы и тенденции проектно-технологического развития электромобилей // Автомобильная промышленность. — 2014. — № 4. — С. 1—6.
2. **Строганов В. И., Козловский В. Н.** Инновационные методы исследования качества и надежности электромобилей и автомобилей с гибридной силовой установкой: монография. — М.: ФГБОУ ВПО "Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет" (МАДИ), 2012. — 228 с.
3. **Строганов В. И., Козловский В. Н.** Итоги и перспективы развития электромобилей и автомобилей с гибридными силовыми установками // Электроника и электрооборудование транспорта. — 2012. — № 2. — С. 2—8.
4. **AK&MK:** Переговоры о приобретении альянсом Renault-Nissan контрольного пакета акций АВТОВАЗа — вопрос нескольких месяцев [Электронный ресурс] / К. Гон. 14.09.2011. URL: http://www.akm.ru/rus/news/2011/september/14/ns_3703358.htm (дата обращения 15.04.2014).
5. **MOTORPAGE.RU:** Интервью с Такаши Яманучи, президентом, главным управляющим Mazda [Электронный ресурс]. 11.07.2011. URL: http://motorpage.sitewin.ru/Mazda/interview/yearvse_goda/ (дата обращения 25.06.2013).
6. **AUTONEWS:** Автосалон в Женеве—2011: все премьеры [Электронный ресурс]. 02.03.2011. URL: http://www.autonews.ru/ first_look/news/1649260/ (дата обращения 15.04.2014).
7. **AUTONEWS:** PwC: Внедрить электромобили в России будет сложно [Электронный ресурс]. 31.01.2011. URL: http://www.autonews.ru/automarket_news/news/1683358/ (дата обращения 15.04.2014).
8. **The electric vehicles report:** 2011 edition.

gz218.indd 32 25.01.2018 8:18:04

УДК 539.379

В. С. Антипенко, канд. техн. наук, **Н. П. Наумов,** канд. техн. наук,
Московский государственный университет транспорта, РУТ (МИИТ), e-mail: antipenkovs7@mail.ru,
А. А. Строев, АО "ГНЦ РФ-ФЭИ", e-mail: aastroev@mail.ru

ВЛИЯНИЕ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ВОЛЬФРАМОВЫХ ЭЛЕКТРОДОВ НА ИХ ТЕРМОЭМИССИЮ

Рассматриваются термоэмиссионные свойства вольфрамовых катодов, легированных различными присадками. На основе классических положений теории активированного катода Лэнгмюра предложена модель структурных изменений катодов в процессе их работы. Рассмотрены поверхностные явления, протекающие в процессе работы катодов. Изучено влияние деформации сплавов на основе вольфрама на их термоэмиссионные свойства, электросопротивление, пористость и другие свойства, влияющие на качество их работы, а также влияние на структуру, свойства и распределение легирующих добавок. Определены рекомендуемые степени деформации и содержание легирующих добавок для увеличения срока службы катодов плавильных плазмотронов при их длительной работе в среде аргона.

Ключевые слова: *катод, деформация, электросопротивление, легирование, термоэмиссия.*

Thermal stability and thermoionic emission properties of tungsten cathodes alloyed by various additives have been considered. The model of structural changes of cathodes in the course of their work is proposed, based upon classical theory of activated Lengmyur's cathode. The phenomena have been considered occuring on the surface of cathodes in the course of their operation. Regularities have been obtained of solid-phase interaction between the basis and alloying elements, as well as the time of alloying elements de-enrichment of matrix.
The effect has been considered of deformation of tungsten — base alloys on their thermoissue, electrical resistance and other properties effecting the quality of their work, as well as its influence on structure, properties and distributions of the alloying elements. The rates of deformation and concentration of alloying elements have been recommended to increase the service life of cathodes for melting plasmotrons during their long work in argon atmosphere.

Keywords: *electrode, deformation, electroresistance, alloying, thermoissue.*

Для изготовления высокотемпературных катодов, работающих в инертной среде, в качестве основы главным образом используют вольфрам, легированный различными присадками, способствующими повышению термоэмиссии [1].

Наиболее стойкими из используемых сегодня катодов в среде аргона являются электроды из итрированного вольфрама (с содержанием оксидной добавки 1,8—3,5 %).

В связи с этим вопрос создания катодов, способных сохранять длительное время свои термостойкие и эмиссионные свойства, приобретает большое значение. Однако, если успехи в решении вопросов повышения жаропрочности тугоплавких металлов значительны, то изучению повышения эмиссионных свойств катодов посвящено относительно мало работ.

В работе [5] было отмечено, что увеличение плотности катодного материала (чистого вольфрама и чистого молибдена) на 15 % повышает его термостойкость на 30 %.

Целью настоящей работы является определение влияния деформации легированных вольфрамовых электродов при изготовлении на их свойства и структурные изменения и выявление оптимальных степеней деформации для улучшения термоэмиссионных свойств катодов.

В классических работах Лэнгмюра и других исследователей [6] было показано, что при адсорбции на поверхности металла атомов или ионов постороннего вещества существенно меняется работа выхода основы, причем при соответствующем подборе материала катода можно получить значительное увеличение эмиссионного тока.

По теории Лэнгмюра, адсорбированный на поверхности катода атом электроположительного металла поляризуется адсорбционными силами и обращается в электрический диполь, направленный к поверхности катода отрицательным полюсом. Совокупность таких диполей образует двойной электрический слой. Образуется скачок потенциала и работа выхода электрона с катода, покрытого слоем атомов электроположительного металла, изменяется на величину $\Delta\varphi$.

В процессе работы электродных материалов происходит диффузия атомов легирующих

gz218.indd 33 25.01.2018 8:18:04

элементов к поверхности образца, т. е. адсорбция атомов из внутренних областей. Причем испарившиеся атомы ионизируются в прикатодной области и в виде ионов возвращаются на катод, что обеспечивает создание металлопленочной системы, несмотря на уменьшение скорости подпитки поверхности катода атомами легирующих компонентов за счет диффузии, что подтверждается рядом экспериментальных данных.

Поэтому параметры диффузии и испарения с поверхности катодов атомов легирующих добавок напрямую влияют на характеристики жаропрочности и термоэмиссии. Параметры диффузии и испарения легирующего элемента зависят не только от состава сплава, но и от комплекса физико-механических характеристик, который можно изменить не только термической обработкой, но и при помощи деформации при изготовлении.

Для изучения физико-химических свойств сплавов на основе вольфрама и проведения различных исследований, в том числе влияния деформации, были подготовлены сплавы, представленные в таблице. Сплавы указанных композиций были приготовлены методами порошковой металлургии с механическим перемешиванием, гидропрессованием и косвенным спеканием в индукционных электропечах. Полученные прутки $d = 18$ мм, $l = 62 \pm 1$ мм подвергались токарной обработке, в результате которой получали катоды с размерами $d = 16$ мм, $l = 60$ мм.

Исследование физико-механических свойств сплавов, а также металлографический анализ проводились на образцах различной конфигурации, вырезанных электроэрозионным способом из полученных электродов. При этом свойства катодных материалов исследовались как в исходном, так и в деформированном состояниях.

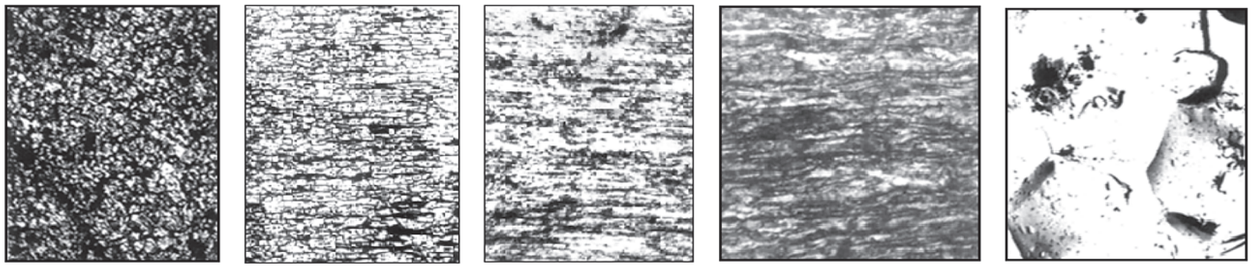
Анализ приведенных данных показал, что частицы второй фазы размером порядка микрона располагаются как по границам, так и по телу зерен, имеющих полиэдрическую форму с извилистыми границами, при этом состав второй фазы и ее морфология сильно влияют на особенности структуры сплавов. Так, в сплаве на основе вольфрама, легированного гексаборидом иттрия, наблюдались крупные сообщающиеся поры, для остальных сплавов была характерна мелкая, рассеянная пористость.

Отмеченные различия в структуре спеченных сплавов на основе вольфрама приводят к их неодинаковым физико-механическим характеристикам в исходном состоянии. Хотя все материалы имели значения плотности, отличающиеся от теоретической (таблица), что характерно для спеченных материалов и указывает на наличие пористости, однако наибольшие значения пористости наблюдались для сплава вольфрама с гексаборидом иттрия. При этом данные измерения удельного электросопротивления также показали максимальные значения этой характеристики у сплава W — 1,5 %YB_6. В соответствии с данными физико-химического анализа стабильности тугоплавких соединений в вольфрамовой матрице это указывает на более раннюю диссоциацию и последующее растворение гексаборида

Маркировка, состав и свойства спеченных сплавов на основе вольфрама

Сплав	Легирующие добавки, мас. %	Объемная доля включений f, %	Плотность ρ, г/см^3		Пористость, %	Удельное электросопротивление ρ = 1/σ, мкОм·см	
			теор.	эксп.		теор.	эксп.
ВИ5	0,4—0,7 Y_2O_3	1,9	19,03	18,27	4	5,92	5,95
ВИ10	0,8—1,1 Y_2O_3	3,7	18,77	17,91	4,5	6,16	6,2
ВИ15	1,3—1,5 Y_2O_3	5,5	18,52	17,65	4,7	6,38	6,42
ВИ20	1,9—2,2 Y_2O_3	8,5	18,2	17,26	5,16	6,74	6,8
ВИ25	2,3-2,5 Y_2O_3	9	18,02	16,7	6,3	7,01	7,25
ВИ30	2,9—3,2 Y_2O_3	11,5	17,37	16,05	7,6	7,49	7,7
ВЛ15	1,2—1,5 La_2O_3	4,8	18,75	17,57	6,3	6,42	6,8
ВИб15	1,2—1,5 YB_6	7,3	18,16	15,2	9,0	7,15	8,0
ВГМ15-5	1—3 HfO_2 5—10 Mo	5,89	18,48	17,64	4,5	6,45	6,67
ВЦН15	1,5 ZrN	4,46	18,72	17,58	6,1	6,47	6,74

gz218.indd 34 25.01.2018 8:18:04



а) *б*) *в*) *г*) *д*)

Рис. 1. Влияние степени деформации на микроструктуру иттрированного вольфрама (×200); сплав ВИ15:
а — ξ = 10 %; *б* — ξ = 35 %; *в* — ξ = 55 %; *г* — сплав ВИ5: ξ = 90 %; *д* — фрактограмма ВИ15: ξ = 55 %

иттрия в основе (уже на стадиях спекания), в отличие от других соединений, стабильность которых в вольфрамовой матрице выше.

В процессе исследований было установлено, что оптимальные характеристики жаропрочности (оцениваемой по стабильности структурного состояния) и термоэмиссии достигаются при содержании в вольфраме не менее 1 % (по массе) тугоплавких соединений переходных и редкоземельных металлов.

На рис. 1 представлены фотографии микроструктур сплава ВИ15 со степенью деформации 10, 35 и 55 % и сплава ВИ5 со степенью деформации ξ = 90 %, а также фрактограмма ВИ15 со степенью деформации ξ = 55 %.

Как следует из приведенных данных, по мере увеличения степени деформации образцов увеличивается степень ориентированности зерен и коэффициент ассиметрии их формы (рис. 1, *а*, *б*, *в*). Одновременно снижается выход годного металла, который составляет 95—97 % при ξ = 30—35 %, а при ξ = 55 % все образцы разрушались в процессе деформации, причем результаты фрактографического анализа показали наличие хрупкого интеркристаллитного разрушения (рис. 1, *д*). На образцах из сплава ВИ5 прокаткой с промежуточными отжигами была достигнута степень деформации ξ ≈ 90 %, при этом структура имела волокнистый характер с вытянутой формой второй фазы (рис. 1, *г*), что характерно для высоких степеней деформации.

На рис. 2 представлены данные, показывающие влияние степени деформации на плотность (ρ), электропроводность (δ), микротвердость (Н100), ширину рентгеновской линии (В110) и температуру начала рекристаллизации (*Tr*) сплавов ВИ5 и ВИ15.

Увеличение степени деформации приводит к уменьшению температуры начала рекристаллизации сплавов, при этом, если у сплава ВИ15, деформированном со степенью ξ ≈ 10 %, рекристаллизация начиналась при 2000 °С, то в сплаве ВИ5, подвергнутом деформации со степенью ξ ≈ 90 %, температура начала рекристаллизации снижалась до 1400 °С, т. е. приближалась к значениям, характерным для нелегированного вольфрама.

Измерения электропроводности образцов показали лучшую воспроизводимость результатов при нагреве и охлаждении деформированных образцов по сравнению с недеформированными,

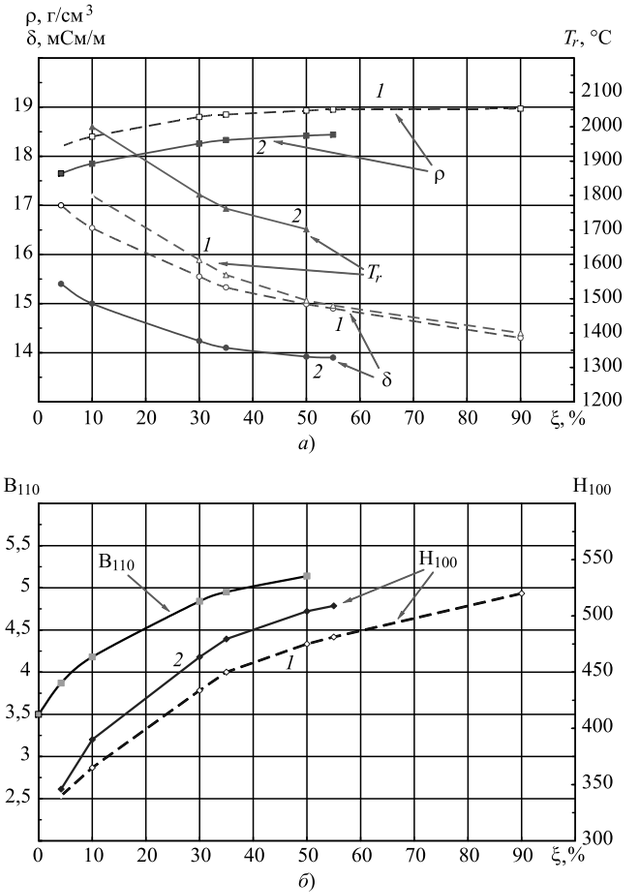


Рис. 2. Влияние степени деформации на: плотность, электропроводность и температуру начала рекристаллизации (*а*); микротвердость и ширину рентгеновской линии (*б*) сплавов ВИ5 (пунктирные линии — *1*) и ВИ15 (сплошные линии — *2*)

gz218.indd 35 25.01.2018 8:18:04

однако наблюдалось уменьшение абсолютных значений этих характеристик при увеличении степени деформации свыше $\xi \approx 10—15$ %, несмотря на меньшую пористость. Очевидно, это связано с сильными искажениями кристаллической решетки, созданием сильно развитой сетки границ, что в совокупности оказывает большое воздействие на характеристики электропроводности сплавов по сравнению с уменьшением пористости.

В работе [7] отмечалось, что в отличие от слаботочных электродов исследуемые катоды работали на токах 0,6—0,8 кА и выходили из строя вследствие расплавления или образования трещин, а не за счет уменьшения размеров путем эрозии.

Так, например, в сплаве вольфрама с содержанием 0,5 % Y_2O_3 количество второй фазы недостаточно для сдерживания роста зерен в процессе нагрева. В свою очередь укрупнение зерен и связанное с этим уменьшение общей протяженности их границ приводит к уменьшению количества атомов иттрия, поступающих к рабочему торцу в основном за счет граничной диффузии. Происходит значительное обеднение поверхности катода активирующими атомами, значения работы выхода электрона повышаются и, следовательно, возрастает рабочая температура на торце катода и происходит его оплавление и выход катода плазмотрона из строя.

В сплаве ВИ30 повышенное содержание Y_2O_3 наряду с благоприятным воздействием (уменьшение работы выхода электрона, снижение температуры рабочего торца) приводит к снижению характеристик теплопроводности, но при этом возникающие температурные градиенты вызывают образование трещин в катоде.

Сравнение значений термоэмиссии катодов из сплавов ВИ10, ВИ15 и ВИ20 показали преимущество сплава W—1,5 % Y_2O_3, что связано со структурой и благоприятным влиянием второй фазы на свойства вольфрама при оптимальном его содержании в сплаве.

Проведенные исследования показали, что при деформации катодов (на $\xi \approx 10—15$ %) повышается длительность их использования при различных режимах (ток, температура) на 5—20 % (в зависимости от сплава и режима) до начала момента оплавления, в отличие от недеформированных.

Это является существенным улучшением качества изготавливаемых изделий без усложнения их состава. При этом проводить деформацию со степенями выше $\xi \approx 10—15$ % нецелесообразно, так как это приведет к снижению термической стабильности структуры и ухудшению теплофизических свойств сплавов в рабочем диапазоне температур.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Справочник** по конструкционным материалам: Справочник / Б. Н. Арзамасов, Т. В. Соловьева, С. А. Герасимов и др.; под ред. Б. Н. Арзамасова, Т. В. Соловьевой. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2005. — 640 с.
2. **Тугоплавкие металлы** — применение и свойства тугоплавких металлов: учебник / В. С. Челноков, И. В. Блинков, В. Н. Аникин, А. О. Волхонский. — М: Изд-во Дом МИСиС, 2011. — 114 с.
3. **Дисперсноупрочненные материалы** / К. И. Портной, Б. Н. Бабич. — М.: Металлургия, 1974. — 200 с.
4. **Стрельников И. В., Коновалов А. В.** Определение оптимальной геометрии вольфрамового электрода при точечной сварке сжатой дугой // Машиностроение. — 2011. — № 6. — С. 53—57.
5. **Вольфрам и молибден** / К. Агте, И. Вацек. Пер. с чешск. — М.: Энергия, 1964. — 229 с.
6. **Эмиссионные и адсорбционные** свойства веществ и материалов / В. С. Фоменко, И. А. Подчерняева; Справочник под общ. ред. чл.-кор. АН УССР Г. В. Самсонова. — М.: Атомиздат, 1975. — 320 с.
7. **Электродные материалы** на основе тугоплавких металлов / В. М. Амосов, Б. А. Карелин, В. В. Кубышкин. — М.: Металлургия, 1976. — 224 с.
8. **Арзамасов В. Б., Смирнова Э. Е.** Принцип жаропрочного легирования и термоэмиссионные свойства сплавов // Металловедение. Термическая и химико-термическая обработка сплавов: сб. науч. тр. под ред. Б. Н. Арзамасова. — М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2003.— С. 226—231.
9. **Основы термоэмиссионного преобразования** энергии / Б. А. Ушаков, В. Д. Никитин, И. Я. Емельянов. — М.: Атомиздат, 1974. — 288 с.
10. **Основы физических процессов** в плазме и плазменных установках / С. К. Жданов, В. А. Курнаев, М. К. Романовский, И. В. Цветков; под ред. В. А. Курнаева. — М.: МИФИ, 2007. — 368 с.
11. **Низкотемпературная плазма**. Том 10. Теория и расчет приэлектродных процессов / И. Г. Паневин, В. И. Хвесюк, И. П. Назаренко, А. М. Зимин, В. Н. Аникеев, А. С. Коротеев. Отв. ред. И. Г. Паневин, В. И. Хвесюк. Новосибирск: Наука, Сиб. издат. Фирма, 1992. — 197 с.
12. **Диффузия атомов и ионов** в твердых телах / Б. С. Бокштейн, А. Б. Ярославцев. — М.: МИСиС, 2005. — 362 с.
13. **Гаврюшенко Б. С., Пустогаров А. В.** Исследование электродов плазмотронов // Приэлектродные процессы и эрозия электродов: сб. статей. — Новосибирск: ИТ СО АН СССР, 1977. — С. 85—122.
14. **Пустогаров А. В.** Экспериментальные исследования тугоплавких катодов плазмотронов // Экспериментальные исследования плазматронов. — Новосибирск: Наука. 1977. — С. 315—340.
15. **Физическое материаловедение.** Том 3. Методы исследования структурно-фазового состояния материалов / Н. В. Волков, В. И. Скрытный, В. П. Филиппов, В. Н. Яльцев; под ред. Б. А. Калина. — М.: МИФИ, 2008. — 808 с.
16. **Термодинамические свойства** неорганических веществ: Справочник / У. Д. Верятин, В. П. Маширев, Н. Г. Рябцев и др.; под общ. ред. А. П. Зефирова. — М.: Атомиздат, 1965. — 233 с.
17. **Рентгенографический и электронооптический анализ.** 2-е изд. / С. С. Горелик, Ю. А. Скаков, Л. Н. Расторгуев. — М.: Изд-во Металлургия, 1970. — 366 с.

gz218.indd 36 25.01.2018 8:18:04

УДК 339

М. А. Дрейцен, канд. эконом. наук, доцент, МАДИ
E-mail: valya74@rambler.ru

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ АВТОМОБИЛЬНОГО ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА РЕСПУБЛИКИ САХА (ЯКУТИЯ)

Транспорт в Якутии является важнейшей составляющей экономики Якутии и всего северо-востока России. Он обеспечивает перемещение жизненно важных грузов, товаров, людей, играет важнейшую роль в обеспечении так называемого "северного завоза" — обеспечиваемые государством поставки основных товаров в районы Крайнего Севера, Сибири, Дальнего Востока и Европейской части России. А также обеспечение комфортных условий проживания на Севере, бесперебойного снабжения стратегически важных отраслей экономики — предприятий горнодобывающей промышленности и других. Транспортная сеть не только обеспечивает потребность экономики и населения в перевозках, но и служит материальной базой для социально-экономического развития региона. Для построения долгосрочного планирования по развитию Республики Саха (Якутия) и совершенствованию отрасли транспорта, а также экономики в целом необходимо разрабатывать прогнозные модели, что является актуальным вопросом в любой отрасли экономики.

Ключевые слова: *транспорт, автомобильный транспорт, пассажирские перевозки, пассажирский транспорт, транспортная сеть, прогноз, Республика Саха.*

Transportation in Yakutia is the most important component of the economy of Yakutia and the North-East of Russia, it ensures the movement of vital goods, of goods, people, plays a critical role in ensuring the so-called "Northern delivery" — provide government supply of essential commodities in the far North of Siberia, the Far East and the European part of Russia. As well as provision of comfortable living conditions in the North, ensuring an uninterrupted supply of strategically important sectors of the economy — mining and others. The transport network not only meets the needs of the economy and population in transportation, but also serves as a resource base for socio-economic development of the region. To build long-term planning for the development of the Republic of Sakha (Yakutia) and the improvement of the transport industry and the economy as a whole, it is necessary to develop a predictive model that is relevant in any sector of the economy.

Keywords: *transport, road transport, passenger transport, passenger transport, transport network, forecast, Republic of Sakha.*

Автомобильный транспорт в Республике Саха является единственным видом наземного транспорта, не считая железной дороги. Главная проблема — это сезонность, очень мало хороших круглогодичных дорог. В масштабах республики слабо развита автодорожная сеть, некоторые дороги территориально изолированы. Пассажирооборот представлен в табл. 1.

Исходя из данных, представленных в табл. 1, можно сделать следующие выводы:

— в 2016 г. перевозки пассажиров увеличились на 3581,2 тыс. чел., в процентном соотношении к 2015 г. увеличение составило 3,87 %;

— пассажирооборот автомобильного транспорта общего пользования увеличился на 19,8 млн пасс-км, 4,27 %.

Таблица 1

Перевозки пассажиров и пассажирооборот автомобильного транспорта общего пользования

	2015 г.	2016 г.	Темп роста	Темп прироста, %
Перевозки пассажиров, тыс. чел.	92 613,4	96 194,6	103,87	3,87
Пассажирооборот, млн пасс-км	463,8	483,6	104,27	4,27

Источник: составлено автором по сведениям территориального органа Федеральной службы государственной статистики по РС (Я)

gz218.indd 37 25.01.2018 8:18:04

Рассмотрим таблицы динамики пассажирооборота автомобильным транспортом в 2017 г. (табл. 2 и 3).

Исходя из данных, представленных в табл. 2, можно сделать следующие выводы:

— пассажирооборот в феврале 2016 г. сократился на 999,5 тыс. пасс-км по сравнению с январем;

— пассажирооборот в феврале 2017 г. увеличился на 122,9 тыс. пасс-км по сравнению с январем.

Исходя из данных, представленных в табл. 3, можно сделать следующие выводы:

— увеличение пассажирооборота в феврале 2017 г. по сравнению с февралем 2016 г. составило 0,6 %;

— пассажирооборот в январе 2017 г. увеличился на 0,3 % по сравнению с январем 2016 г.;

— пассажирооборот в январе-феврале 2017 года уменьшился на 0,9 % по сравнению с январем-февралем 2016 г.

Темпы роста и прироста рассмотрены в табл. 4.

Исходя из данных, представленных в табл. 4, можно сделать следующие выводы:

— пассажирооборот в феврале 2016 г., по сравнению с февралем 2015 г., понизился на 2,6 %;

— пассажирооборот в феврале 2016 г. увеличился по сравнению с февралем 2016 г. на 0,32 %.

По данным государственного органа статистики Республика Саха значительно уступает по показателю плотности автомобильных дорог с твердым покрытием всем регионам Дальнего Востока (восьмое место из девяти), за исключением Чукотского автономного округа. В результате

Таблица 2

Динамика пассажирооборота автомобильным транспортом в 2016—2017 гг.

	Январь 2016 г.	Январь 2017 г.	Февраль 2016 г.	Февраль 2017 г.
Пассажирооборот, тыс. пасс-км	38 900,4	38 002,3	37 900,9	38 125,2

Источник: составлено автором по сведениям территориального органа Федеральной службы государственной статистики по РС (Я)

Таблица 3

Динамика пассажирооборота автомобильным транспортом в 2017 г.

Период	Динамика перевозок		
	тысяч пасс-км	к соответствующему периоду предыдущего года, %	к предыдущему периоду, %
Январь 2017 г.	38 002,3	100,3	93,6
Февраль 2017 г.	38 125,2	100,6	100,3
Январь-фераль 2017 г.	76 127,4	99,1	—

Источник: составлено автором по сведениям территориального органа Федеральной службы государственной статистики по РС (Я)

Таблица 4

Темп роста и темп прироста пассажирооборота автомобильного транспорта за февраль 2016—2017 гг., %

	2016 г.		2017 г.		Темп роста		Темп прироста	
	Январь	Февраль	Январь	Февраль	2016 г.	2017 г.	2016 г.	2017 г.
Пассажирооборот, млн пасс-км	38 900,4	37 900,9	38 002,3	38 125,2	97,4	100,32	−2,6	0,32

Источник: составлено автором по сведениям территориального органа Федеральной службы государственной статистики по РС (Я)

Таблица 5

Протяженность путей сообщения автомобильного транспорта общего пользования

Годы	2011	2012	2013	2014	2015
Автомобильные дороги с твердым покрытием, км	8330,8	10 280,2	11 048,5	11 366,8	11 714,5

Источник: составлено автором по данным Федеральной службы государственной статистики

gz218.indd 38 25.01.2018 8:18:04

Таблица 6

Темп роста и темп прироста протяженности путей сообщения автомобильного транспорта, %

Годы	2011	2012	2013	2014	2015
Темп роста	—	123,4	107,8	102,9	103,06
Темп прироста	—	23,4	7,8	2,9	3,06
Источник: рассчитано автором по данным табл. 5					

значительная часть населенных пунктов региона не обеспечена круглогодичной транспортной доступностью с дорогами общего пользования, имеющими твердое покрытие (табл. 5 и 6).

Исходя из данных, представленных в табл. 5, можно заключить:

— с 2011 по 2015 г. протяженность автомобильных дорог с твердым покрытием увеличилась на 3383,7 км;

— с 2011 по 2012 г. протяженность автомобильных дорог с твердым покрытием возросла на 1949,4 км;

— с 2012 по 2013 г. увеличчилась на 768,3 км;

— с 2013 по 2014 г. — на 318,3 км;

— с 2014 по 2015 г. — на 347,7 км.

Рассмотрим данные пассажирских перевозок автомобильным транспортом за период 2012—2016 гг. (табл. 7 и 8).

Данные табл. 7 позволяют заключить:

— перевозки пассажиров автомобильным транспортом увеличились с 2012 г. по 2013 г. на 2462 тыс. чел.;

— с 2013 по 2014 г. уменьшились на 973,1 тыс. чел.;

— с 2014 по 2015 г. увеличились на 176,5 тыс. чел.;

— с 2015 по 2016 г. увеличились на 3581,2 тыс. чел.;

— в целом, с 2012 по 2016 г. перевозки пассажиров увеличились на 5246,6 тыс. чел.

Рассмотрим данные пассажирооборота автомобильного вида транспорта за период 2012—2016 гг. (табл. 9 и 10).

По данным табл. 9 можно заключить:

— пассажирооборот автомобильного транспорта с 2012 по 2013 г. увеличился на 20 млн пасс-км;

— с 2013 по 2014 г. уменьшился на 22,9 млн пасс-км;

— с 2014 по 2015 г. увеличился на 16,7 млн пасс-км;

— с 2015 по 2016 г. увеличился на 19,8 млн пасс-км;

— в целом, с 2012 по 2016 год пассажирооборот увеличился на 33,6 млн пасс-км.

Проанализировав состояние автомобильного транспорта за последние пять лет, разработаем прогноз на 2017 г., используя методы экономического прогнозирования такие, как методы экстраполяции (метод скользящей средней, метод экспоненциального сглаживания и метод наименьших квадратов). Данные методы используем, так как они показывают высокую точность расчетов, не требуют учета внешних факторов, а развитие автомобильного транспорта имеет четко выражен-

Таблица 7

Перевозки пассажиров автотранспортом за 2012—2016 гг.

Годы	2012	2013	2014	2015	2016
Перевозки пассажиров (тыс. чел)	90 948	93 410	92 436,9	92 613,4	96 194,6
Источник: составлено автором по сведениям территориального органа Федеральной службы государственной статистики по РС (Я)					

Таблица 8

Темп роста и темп прироста перевозок пассажиров автомобильным видом транспорта, %

Годы	2012	2013	2014	2015	2016
Темп роста	—	102,7	98,95	100,2	103,7
Темп прироста	—	2,7	−1,05	0,2	3,7
Источник: рассчитано автором по данным табл. 7					

Таблица 9

Пассажирооборот автомобильного транспорта за 2012—2016 гг.

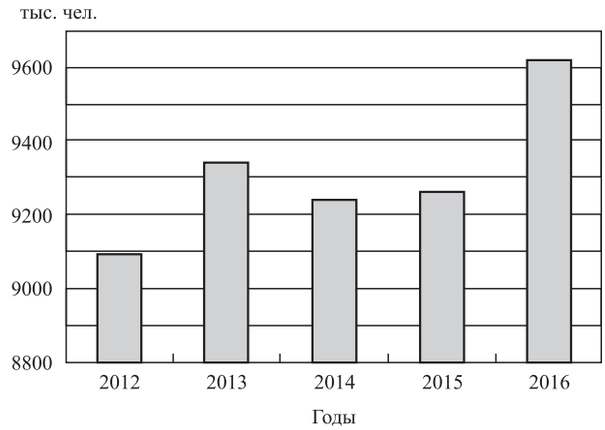
Годы	2012	2013	2014	2015	2016
Пассажирооборот, млн пасс-км	450	470	447,1	463,8	483,6
Источник: составлено автором по сведениям территориального органа Федеральной службы государственной статистики по РС (Я)					

gz218.indd 39 25.01.2018 8:18:04

Таблица 10

Темп роста и темп пассажирооборота автомобильного транспорта, %

Годы	2013	2014	2015	2016
Темп роста	104,4	95,12	103,7	104,3
Темп прироста	4,4	−4,9	3,7	4,3
Источник: рассчитано автором по данным табл. 9				



Количество перевезенных пассажиров автомобильным транспортом, тыс. чел.

Таблица 11

Количество перевезенных пассажиров автомобильным транспортом в Республике Саха (Якутия) 2012—2016 гг., тыс. чел.

Годы	2012	2013	2014	2015	2016
Количество перевезенных пассажиров	90 948,0	93 410,0	92 436,9	92 613,4	96 194,6
Источник: составлено автором по сведениям территориального органа Федеральной службы государственной статистики по РС (Я)					

Таблица 12

Расчетная таблица по методу скользящая средняя

Год	$Y_{факт}$ (фактические данные)	m	Средняя относительная ошибка
2012	90 948,0	—	—
2013	93 410,0	92 264,97	1,23
2014	92 436,9	92 820,1	0,41
2015	92 613,4	93 748,3	1,23
2016	96 194,6	—	—
Σ			2,87

Таблица 13

Расчетная таблица

Год	$Y_{факт}$ (фактические данные)	U (экспоненциальная взвешенная средняя)	Средняя относительная ошибка
2012	90 948,0	93 120,58	2,39
2013	93 410,0	92 468,81	1,0
2014	92 436,9	92 751,16	0,34
2015	92 613,4	92 656,88	0,05
2016	96 194,6	92 643,84	3,69

ную динамику. Исходные данные для прогноза представлены в табл. 11.

Более наглядно зависимость изменения количества перевезенных пассажиров автомобильным транспортом в Республике Саха (Якутия) за 2012—2016 гг. показано на рисунке.

Сначала проведем расчеты по методу скользящей средней (табл. 12, формула (1)).

$$Y_{t+1} = m_{t-1} + \frac{1}{n}(Y_{t-1}), \qquad (1)$$

где Y_{t+1} — прогнозный период; m — скользящая средняя; n — интервал сглаживания.

Рассчитав среднюю относительную ошибку, получаем 0,96. А значит, точность прогноза высокая. Рассчитаем прогноз по формуле (1):

$$Y_{2017} = 93\ 748{,}3 + 1/3 \cdot (96\ 194{,}6 - 92\ 613{,}4) = 94\ 942{,}03 \text{ тыс. чел.}$$

Таким образом, прогноз по методу скользящей средней равен 94,9 млн чел.

gz218.indd 40 25.01.2018 8:18:04

Таблица 14

Расчетная таблица

Год	$Y_ф$ (фактические данные)	x	x^2	$Y_ф x$	$Y_{расчет}$	Ошибка
2012	90 948,0	1	1	186 820	91 181,32	0,26
2013	93 410,0	2	4	277 310,7	92 150,95	1,35
2014	92 436,9	3	9	370 453,6	93 120,58	0,74
2015	92 613,4	4	16	480 973	94 090,21	1,59
2016	96 194,6	5	25	186 820	95 059,84	1,18
Σ	465 602,9	15	55	1 406 505	465 602,9	5,12

Следующий метод — метод экспоненциального сглаживания (формула (2), табл. 13).

$$U_{t+1} = \lambda Y_t + U_t(1-\lambda), \quad (2)$$

где U_{t+1} — прогнозный период; λ — параметр сглаживания (3).

$$\lambda = \frac{2}{n+1}, \quad (3)$$

где n — количество лет в базе прогноза.

Средняя относительная ошибка равна 1,5, а значит, точность прогноза высокая.

Рассчитаем прогноз по формуле 2:

$$U_{2017} = 96194{,}6 \cdot 0{,}3 + 92643{,}84 \cdot 0{,}7 = \\ = 93709{,}07 \text{ тыс. чел.}$$

Таким образом прогноз по методу экспоненциального сглаживания равен 93,7 млн чел.

Следующий метод — метод наименьших квадратов (табл. 14, формула (4)).

$$Y_{t+1} = ax + b, \quad (4)$$

где Y_{t+1} — прогнозный период; a и b — коэффициенты (5), (6); x — номер по порядку года.

$$a = \frac{\sum(Y_ф x) = \sum x \sum Y_ф / n}{\sum x^2 - (\sum x) 2/n}; \quad (5)$$

$$b = \frac{\sum Y_ф}{n} - \frac{a \sum x}{n}. \quad (6)$$

Для составления прогноза на 2017 г. необходимо рассчитать коэффициенты a и b по формулам (5) и (6).

$$a = \frac{1\ 406\ 505 - (15 \cdot 465\ 602{,}9)/5}{55 - 15^2/5} = 969{,}63;$$

$$b = \frac{465\ 602{,}9}{5} - \frac{969{,}63 \cdot 15}{5} = 90211{,}69.$$

Средняя относительная ошибка равна 1,02 — точность прогноза высокая.

Рассчитаем прогноз на 2017 г.:

$$Y_{2017} = 969{,}63 \cdot 6 + 90\ 211{,}69 = 96\ 029{,}47 \text{ тыс. чел.}$$

Таким образом, прогноз по методу наименьших квадратов равен 96,03 млн чел.

Основные результаты исследования

1. Наиболее пессимистичным прогнозом является прогноз, рассчитанный по методу экспоненциального сглаживания.

2. Наиболее оптимистичным прогнозом является прогноз по методу наименьших квадратов.

3. Оптимальным прогнозом является прогноз по методу скользящей средней, согласно которому прогноз количества перевезенных пассажиров в 2017 г. составит 94,94 млн чел.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Podkhalyuzina V. A.** The automotive industry in Europe and Asia. — Saarbrucken: LAP LAMBERT, 2015. — 68 с.
2. **Подхалюзина В. А.** Автомобильный транспорт. Особенности функционирования в России. — Saarbrucken: LAP LAMBERT, 2015. — 320 с.
3. **Подхалюзина В. А.** Макроэкономическое планирование и прогнозирование. — М.: Издательские решения, 2016. — 224 с.
4. **Подхалюзина В. А.** Макроэкономическое регулирование. — М.: Издательские решения, 2016. — 154 с.
5. **Подхалюзина В. А.** Методика научной формы предвидения будущего состояния транспорта региона // Грузовик. — 2016. — № 12. — С. 21—25.
6. **Подхалюзина В. А.** Методика оценки инвестиционной активности отрасли на примере транспорта некоторых стран // Грузовик. — 2016. — № 8. — С. 37—40.
7. **Подхалюзина В. А.** Разработка прогнозной модели пассажирского транспорта // Сервис в России и за рубежом. — 2016. — № 6 (67). — С. 111—123.
8. **Подхалюзина В. А.** Экономика России: регулирование, планирование, прогнозирование. — Saarbrucken: LAP LAMBERT, 2015. — 472 с.
9. **Подхалюзина В. А., Ипатов А. А.** Российский транспорт в условиях интеграции в международную транспортную систему // Грузовик. — 2015. — № 8. — С. 30—32.

gz218.indd 41 25.01.2018 8:18:05

УДК 629.113

А. Б. Комов, канд. техн. наук, доцент, **П. Б. Комов,** канд. техн. наук, доцент,
АДИ ГОУ ВПО Донецкий национальный технический университет (ДонНТУ)
E-mail: volga4388@yandex.ru

ОРГАНИЗАЦИЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЕЙ В УСЛОВИЯХ ФОРМИРОВАНИЯ РЕГИОНАЛЬНЫХ НАВИГАЦИОННО-ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Организация региональных навигационно-информационных систем, использующих технологии ГЛОНАСС/GPS, дает возможность технической эксплуатации оценить в регионах степень безопасности современных транспортных систем, что является главной задачей технического регулирования, где в качестве основы оценки рисков деятельности предлагается использовать временную модель, отражающую уровень культуры эксплуатации подвижного состава на его важнейшем этапе жизненного цикла.

Ключевые слова: *навигационно-информационная система, организация, регион, безопасность, уровень риска, модель системы.*

Organization of regional navigation and information systems GLONASS/GPS technologies, gives technical operation to assess its business activities to ensure security in the regions of modern transport systems, that is the main task of the technical regulation, where as the basis of a risk assessment, it is proposed to use a model that reflects the level of culture of rolling stock at its crucial stage in the life cycle.

Keywords: *navigation and information system, organization, region, security, risk level, system model.*

Постановка проблемы

Постановление Правительства РФ от 21.12.2012 г. № 1367 "Об утверждении Правил предоставления и распределения в 2013—2014 годах субсидий из федерального бюджета бюджетам субъектов Российской Федерации (РФ) на информационно-навигационное обеспечение автомобильных маршрутов по транспортным коридорам "Север-Юг" и "Восток-Запад"" определило организационно-правовые основы создания и архитектуру региональных навигационно-информационных систем (РНИС).

РНИС предназначены для информационно-навигационного обеспечения функционирования транспортного комплекса субъектов РФ с использованием технологии ГЛОНАСС/GPS, а задачами РНИС являются [1]:

— подключение и регистрация аппаратуры спутниковой навигации;

— подключение систем, эксплуатируемых на территории РФ;

— получение мониторинговой информации от подключенных абонентских терминалов и систем;

— информационное взаимодействие;

— хранение и обработка мониторинговой, нормативно-справочной, технологической и иной информации;

— передача мониторинговой информации в Ространснадзор;

— предоставление сервисов информирования населения, что возложено на подсистему информационного обеспечения потребителей услуг, т. е. РНИС-Инфосервис.

Для технической эксплуатации автомобилей (ТЭА) в условиях ее интенсивной интеграции в систему технического регулирования одной из важнейших услуг РНИС является, естественно, информирование предпринимателей сервисных центров по техническому обслуживанию и ремонту (ТО и Р) и, соответственно, информирование специалистов отрасли, а также в целом общества о состоянии безопасности подвижного состава (ПС), т. е. согласно ГОСТ Р 51898—2002 — об "отсутствии недопустимого риска" и, соответственно технической надежности транспортных систем.

Проблема, по мнению д-ра эконом. наук П. В. Крючковой [2], состоит в наличии широкого спектра научных методов расчета и анализа современных рисков, которые, однако, не позволяют сделать вывод об их допустимости или недопустимости, так как "общественная допустимость" риска — категория общественно-политическая, а не строго научная.

gz218.indd 42 25.01.2018 8:18:05

Анализ исследований и публикаций

Видовое разнообразие рисков очень велико — от пожаров и стихийных бедствий до межнациональных конфликтов, изменений в законодательстве, регулирующем предпринимательскую деятельность, и информационных колебаний. Восприятие риска зависит от каждого конкретного человека с его характером, складом ума, психологическими особенностями, уровнем знаний в области его деятельности. Для одного предпринимателя та или иная величина риска является приемлемой, а для другого — нет. Риск как вероятностная категория — это вероятность возникновения определенного уровня потерь, что является важным показателем, позволяющим высказать суждение об ожидаемом риске и его приемлемости [3].

Допустимый уровень риска отображается во многих пословицах, где их высказывания, например, "трус не рискует" или "волков бояться — в лес не ходить" указывают на то, что, во-первых, у разных людей существует разный уровень риска и, во-вторых, в повседневной жизни обозначены два вида риска — допустимый и недопустимый [4].

Приемлемый (допустимый) риск — это такая минимальная величина риска, которая достижима по техническим, экономическим и технологическим возможностям. Таким образом, приемлемый риск сочетает в себе технические, экономические, социальные и политические аспекты и представляет собой некоторый компромисс между уровнем безопасности и возможностями ее достижения [5].

Цель исследования — сформулировать основы концепции приемлемого риска предпринимательской деятельности в ТЭА.

Материалы и результаты исследования

Концепция приемлемого риска — это достижение такого минимального риска, который с одной стороны, является технически возможным и с другой — допустимым обществом в данный период времени [3].

Общеизвестно, что в современном обществе девизом хозяйствования и предприимчивости является знаменитая формула Б. Франклина "время — деньги" (1748 г. [6]), из-за чего, состоявшиеся бизнесмены, время не только экономят, но и покупают. Так, они приобретают скоростные автомобили, пользуются дорогими услугами быстрой космической связи, авиации, т. е. время имеет ценность и, естественно, может быть инвестировано. Однако, инвестируя время в бизнес, предприниматели становятся успешными лишь, когда этот бизнес начинает приносить доходы, что характерно, например, для процесса образования человека, где люди также не тратят время, они его инвестируют в долгосрочные проекты — свое будущее. Значит, время важнее денег и только, имея долгосрочный план, человек может достичь желаемых целей [7].

Время является для автомобильного транспорта (АТ) отражением уровня его культуры труда — это время в наряде. В период СССР оно составляло 12—16 ч, а в условиях рыночной экономики — 4—6 ч [8], что в целом демонстрирует информативность параметра времени при изменении в обществе социально-экономических условий, которые по предложению проф. Н. Я. Говорущенко представлены в ТЭА как 4-я составляющая условий эксплуатации автомобилей [9].

Естественно, что невозможно прямо указать на физические законы, которым подчиняется изменение времени пребывания автомобиля в наряде. Однако установлено, что одним из эффективных подходов к моделированию этого процесса является использование аналогий с уже изученными явлениями — это модель Мальтуса [10]. В целом она характеризует абсолютно разные процессы (например, динамику популяций или радиоактивный распад, и др.). На АТ модель способна на простейшем уровне описать изменение параметра времени использования автомобиля в течение его жизненного цикла (ЖЦ), где время работы ($T_Р$) — пропорционально некоторому текущему значению T_i, умноженному на сумму коэффициентов условной "рождаемости" $\mu(t) \geqslant 0$ и "смертности" $\lambda(t) \geqslant 0$ автомобиля в системе ТЭА, т. е. двух условных и альтернативных времен (состояний) использования автомобиля в отрасли.

$$T_р(t) = \left(\mu(t) - \lambda(t)\right) Ti(t), \qquad (1)$$

Наличие "физического" предела у календарного дня и, соответственно, предела у параметра времени пребывания автомобиля в наряде ($Tp_П$), трансформирует модель Мальтуса в логистическую модель Верхалста-Перла (2).

$$T_р(t) = \frac{T_{р_0} T_{р_п} \exp\left(r_m t\right)}{T_{р_п} - T_{р_0}\left(1 - \exp\left(r_m t\right)\right)}, \qquad (2)$$

где r_m — величина, пропорциональная отношению $\left(T_{р_п} - T_р(t)\right) / T_{р_п}$, которая характеризует использованные ресурсы автомобиля и представляет их стремление к численному росту, что в целом является разностью между коэффициентами "рождаемости" и "смертности" ($\mu(t)$-$\lambda(t)$), которые изменяются во времени t.

Рис. 1 демонстрирует график взаимодействия в отрасли двух важнейших подсистем АТ, т. е. коммерческой эксплуатации автомобилей (КЭА)

gz218.indd 43 25.01.2018 8:18:05

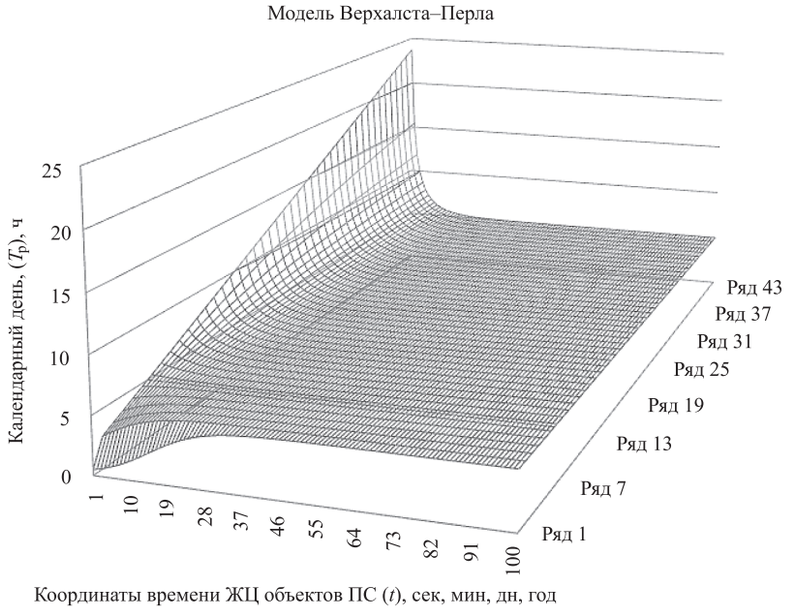


Рис. 1. Модель использования календарного дня системами КЭА и ТЭА в жизненном цикле ПС

и ТЭА, что согласно модели (2) выражено в координатах времени ЖЦ объектов (ПС) [11].

Установлено, что время имеет две основные формы [12]:

форма I (время календарное, т. е. хронологическое) или t_j — характеристика процесса внешняя, т. е. численные координаты начала и окончания процесса мониторинга, что не связано с их внутренней сутью, а является лишь точками в пространстве, которые фиксируют "начало" — $t_н$ и "конец" — $t_к$ статистического исследования того или иного процесса, например, состояния ПС в его ЖЦ;

форма II (время длительности) или T_i — характеристика процесса внутренняя, т. е. его качественная характеристика, например, времени состояния i, подлежащего исследованию в точках мониторинга ПС между координатными точками $t_н$—$t_к$.

В метрологии определение времени производится по трем параметрам, что формирует три типа времени [13]:

1 — время по координатной оси, т. е. определение времени происходит по какой-то шкале или берет свой отсчет в зависимости от тех или иных данных (например, общеизвестные календари, часы, хронометры, местное и всемирное время);

2 — время относительное, т. е. измерение происходит между моментами каких-либо двух событий (например, между утренним пробуждением и отходом ко сну);

3 — время субъективное, т. е. оно измеряется по нескольким разночастотным процессам, вследствие чего время для человека течет с разной скоростью и субъективно для него.

Согласно теории гибких производственных систем [12], любой процесс — это, прежде всего, взаимодействие I и II форм времени в той или иной "модульной плоскости", что в целом представляет:

во-первых, сущность любого мониторинга в виде последовательности получения данных, их статистической обработки и, соответственно, формирования информации и знаний в исследуемых областях функционирования процессов (явлений);

во-вторых, информационный комплекс системотехнического формирования информации и, соответственно, знаний о процессах (явлениях) [14];

в третьих, трехмерную семантическую человеко-машинную (Ч-М) модель процессов времени в виде его производных, т. е. трех этапов, формируемых пространственной системой T_i, K_g, t_j (рис. 2), где

t_j — календарный период мониторинга процесса;

K_g — параметры процесса и законы их изменения во времени ЖЦ;

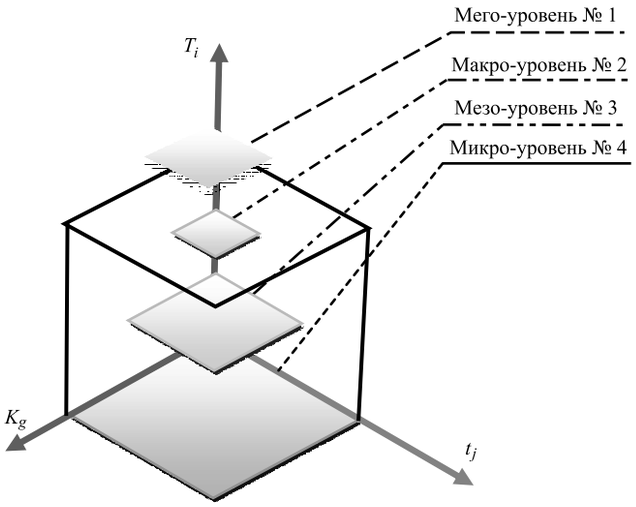


Рис. 2. Модель образа информатизации АТ на основе временных процессов I и II формы:

T_i — параметр модуля длительности ЖЦ процессов; K_g — параметр качественной характеристики процессов, t_j — параметр времени мониторинга (исследования) процессов

gz218.indd 44 25.01.2018 8:18:05

T_i — исходные характеристики процесса (физическая или "Ч-М сущность", а также "модуль" ЖЦ, который принят, согласно длительности ЖЦ процессов гибких производственных систем, где широкий спектр процессов и их бесконечные изменения являются нормой):

— процессы микро-модульные (T_i = часть сек., ..., несколько мин), которые характеризуют передачу информации на основе телематики;

— процессы мезо-модульные (T_i = несколько мин., ..., 1 дн.), которые характеризуют воздействия ТО и Р и обработку информации;

— процессы макро-модульные (T_i > 1 дн. и <100 лет), которые характеризуют тактику ТЭ, т. е. систему ТО и Р;

— процессы мега-модульные (Ti > 100 лет), которые характеризуют развитие ТЭ, т. е. ее стратегию.

Пространственная система T_i, K_g, t_j — это модель современного образа информатизации АТ, которая обусловлена массовым применением в отрасли информационных систем и технологий в целях кардинального улучшения условий труда и качества жизни населения.

Тогда:

— плоскость "K_g—T_i" отражает процессы I, II, III видов ТЭА в природе и технике, или этап формирования базиса знаний о процессах, подлежащих мониторингу;

— плоскость "T_i—t_j" отражает получение информации о состоянии T_i системы, т. е. получение мониторинговой информации, которая представляет совокупность навигационной и телеметрической информации, привязанной к шкале времени, передаваемой от абонентских терминалов через аппаратно-программные навигационные комплексы в автоматизированный центр контроля и надзора;

— плоскость "K_g—t_j" отражает управление или процесс преобразования информации в целенаправленные действия, переводящие управляемую систему из исходного T_i в заданное или оптимальное K_g состояние, что в режиме on line или of line призваны осуществлять РНИС.

Модель информатизации (см. рис. 2) — это условный информационный комплекс современной организации мониторинга АТ, где задача ТЭА состоит в интеграции комплекса в информационное поле РНИС, которые представляют безальтернативную основу информатизации отрасли и основу ее новой культуры труда (культуры эксплуатации ПС), где РНИС призваны сформировать необходимую базу данных для определения приемлемого риска предпринимательской деятельности в сфере безопасности ПС.

Выводы

Организация РНИС является для ТЭА инструментом активной интеграции в систему технического регулирования, где посредством информации РНИС о временных состояниях ПС возможно решение задачи установления "недопустимого риска" ПС и, соответственно, уровня его безопасности в транспортной системе региона.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

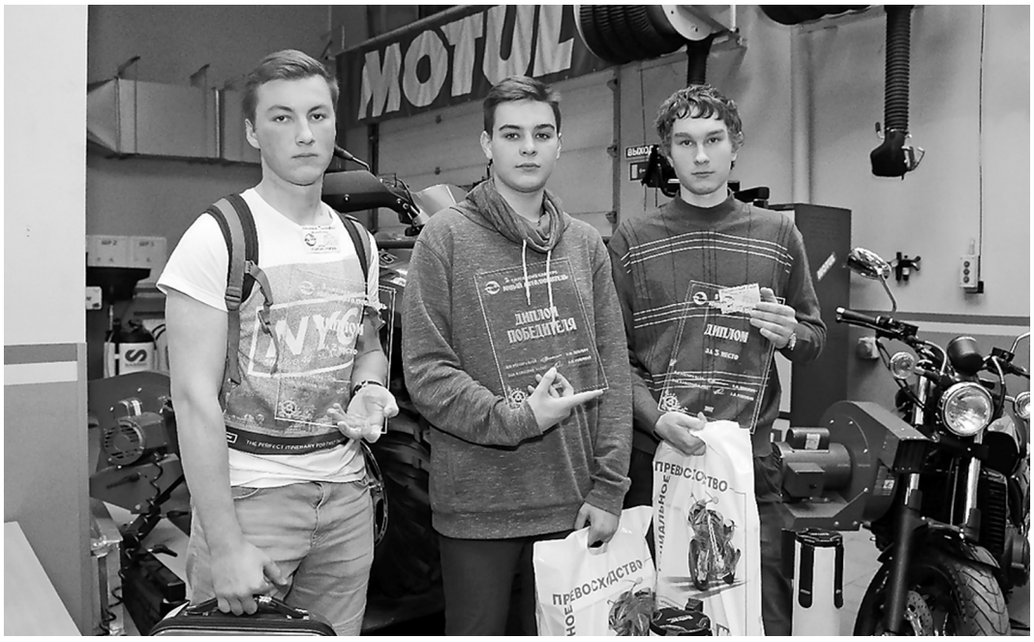
1. **СпейсТим** [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://space-team.com/about_company/ (дата обращения 03.12.2016).
2. **Крючкова П. В.** Система технического регулирования в РФ: формирование, возможное и ожидаемое воздействие на конкуренцию. Предварительный вариант [Электронный ресурс]. https://iq.hse.ru/data/342/610/1233/file3758.pdf (дата обращения 04.12.2016).
3. **Организация предпринимательской деятельности**: учебное пособие / под ред. А. С. Пелиха. — Ростов н/Д: Изд. центр "МарТ", 2002. — 376 с.
4. **Концепция приемлемого риска** [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.studfiles.ru/preview/5678623/page:2/ (дата обращения 30.11.2016).
5. **Концепция приемлемого (допустимого) риска.** Пути управления риском [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://studopedia.ru/2_41744_kontseptsiya-priemlemogo-dopustimogo-riska-puti-upravleniya-riskom.html (дата обращения 30.11.2016).
6. **Система управления временем** Бенджамина Франклина [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://timestep.ru/2010/11/30/sistema-upravleniya-vremenem-bendzhamina-franklina (дата обращения 6.08.2016).
7. **Кузнецов О. В.** Букварь предпринимателя. — СПб.: Питер, 2004. — 237 с.
8. **Логистика автомобильного транспорта:** концепция, методы, модели / В. С. Лукинский, В. И. Бережной, Е. В. Бережная и др. — М.: Финансы и статистика, 2000. — 280 с.
9. **Говорущенко Н. Я.** Техническая эксплуатация автомобилей. — Харьков: Вища школа, 1984. — 312 с.
10. **Математическое моделирование** / под ред. Эндрюс Дж., Мак-Лоун Р.; Пер с англ. под ред. Ю. П. Гупало. — М.: Мир, 1979. — 277 с.
11. **Комов П. Б.** Культура труда в инженерно-технической службе автомобильного транспорта, ее оценка и моделирование // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. Ч. 1. — 2004. — № 7 (77). С. 251—254.
12. **Технологические основы** гибких производственных систем: Учебник для машиностроит. спец. вузов / В. А. Медведев, В. П. Вороненко, В. Н. Брюханов и др.; Под ред. Ю. М. Соломенцева. 2-е изд., испр. — М.: Высшая школа, 2000. — 255 с.
13. **Определение времени в физике**, философии, психологии и литературе [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://fb.ru/article/237104/opredelenie-vremeni-v-fizike-filosofii-psihologii-i-literature (дата обращения 04.12.2016).
14. **Комов П. Б.** Концепция организации технической эксплуатации в условиях предпринимательской деятельности // Сборник научных трудов по материалам 67-й научно-методической и научно-исследовательской конференции МАДИ (ГТУ) "Проблемы технической эксплуатации подвижного состава автомобильного транспорта". — М.: МАДИ (ГТУ), 2009. — С. 184—190.

gz218.indd 45 25.01.2018 8:18:05

МАДИ: КОНКУРС "ЮНЫЙ АВТОЛЮБИТЕЛЬ"

В конце прошлого года в МАДИ состоялся пятый ежегодный конкурс "Юный автолюбитель". Он был проведен при поддержке Департамента образования Москвы, ЦТПО МАДИ, кафедры "Эксплуатация автомобильного транспорта и автосервиса" факультета "Автомобильный транспорт" МАДИ.

Спонсором конкурса выступил известный производитель смазочных материалов — французская компания MOTUL. MOTUL поддерживает конкурс "Юный автолюбитель" на протяжении всего времени его проведения и предоставляет ценные призы для победителей и подарки для участников.



gz218.indd 46 25.01.2018 8:18:05

В конкурсе приняли участие более 100 учащихся из 23 московских и подмосковных школ и лицеев. В ходе соревнований ребята отвечали на разные вопросы. Например, на какой машине ездил агент 007 в "Бондиане"? Сколько лошадиных сил в киловатте? Затем они на скорость закручивали болты с гайками, с точностью до миллилитра заправляли спортивный болид, участвующий в заезде на экономичность.

По результатам конкурса были отмечены лучшие школьники. В номинациях: "Самый юный" — Измайлов Тимур, школа № 1953;

"За волю к победе" — Громов Андрей, школа № 1155;

"Автоледи" — Фет Елизавета, школа № 185.

В финале лучшие юные автолюбители сели за руль болида Формула-Студент МАДИ. Все проходило, как в реальном состязании: прогревочный круг, а потом зачетная попытка. Увереннее всего за рулем чувствовал себя пилот из школы № 10 Чернышев Александр.

Призовые места распределились следующим образом:

1 место — Чернышев Александр ГБОУ школа № 10 г. Реутов;

2 место — Епихин Тимофей ГБОУ школа № 1256;

3 место — Куприянов Егор ГБОУ школа № 1494.

Участники конкурса получили море положительных эмоций, практические знания и навыки по обслуживанию автомобилей. Успех ребят во многом был обеспечен мощной поддержкой болельщиков.

А сам конкурс уже в следующем году планируется сделать масштабнее как по количеству участников, так и по насыщенности конкурсной программы.

gz218.indd 47 25.01.2018 8:18:06

ПРЕСС-ТУР
ВЫСТАВКИ • КОНФЕРЕНЦИИ • ПРЕЗЕНТАЦИИ

ЭЛЕКТРОБУС В ПОДМОСКОВЬЕ

ГУП МО "Мострансавто" провело выездной технический совет, посвященный перспективам использования электрического транспорта в Подмосковье. В мероприятии приняли участие главный инженер Мострансавто, руководители технических подразделений филиалов предприятия, а также представители заводов-производителей автомобильного и электрического транспорта.

В рамках деловой программы была представлена новая модель электрического транспорта — электробус второго поколения КАМАЗ-6282, разработанный КАМАЗом совместно с российской инжиниринговой компанией Drive Electro. Электробус имеет низкопольную конструкцию кузова и вмещает 85 пассажиров, из которых 24 — в эргономичных креслах с ремнями безопасности.

Электробус оснащен литий-титанатными аккумуляторами мощностью 230 кВт, которые заряжаются непосредственно на маршруте от станции ультрабыстрой зарядки Drive Electro. Сейчас, когда в условиях тестовой эксплуатации мощности станции используются только на четверть, электробус заряжается за 40 мин, и накопленной за это время энергии машине достаточно для преодоления расстояния в 38 км. При этом технические характеристики станции позволяют сократить время подзарядки до 6—20 мин, а запас хода увеличить до 70 км. Максимальная скорость движения транспортного средства — 90 км/ч.

На электробусе установлена пневматическая подвеска с телескопическими амортизаторами, пневматическими элементами и возможностью наклона кузова — так называемый, "книлинг", делающий более комфортным вход для пассажиров с ограниченными возможностями. Кроме того, представленный на техническом совете электробус отличается от своих предшественников видоизмененным салоном — в нем отсутствует шахта моторного отсека, что позволило увеличить общую пассажировместимость.

Все преимущества нового электробуса КАМАЗ-6282 в скором времени будут испытаны на подмосковных маршрутах.

"Москва и Московская область находятся в числе первых регионов России, которые активно занялись внедрением общественного электротранспорта. Первая в России тестовая эксплуатация электробуса второго поколения была проведена ГУП "Мострансавто" на маршруте "Сколково — Славянский бульвар" в 2015 г., — комментирует генеральный директор Drive Electro Сергей Иванов. — Это был образец электробуса КАМАЗ с литий-титанатными аккумуляторными батареями Drive Electro. Испытания прошли успешно, машина хорошо зарекомендовала себя, и сейчас именно этот образец перевозит пассажиров в Липецке. Мы уверены, что обновленный КАМАЗ-6282 также успешно пройдет тестовую эксплуатацию и займет достойное место в транспортной системе Подмосковья".

Пресс-служба компании Drive Electro

Художественный редактор *Д. С. Рыбакова*. Технический редактор *Е. М. Патрушева*. Корректор *Ю. Ф. Кравчинская*
Сдано в набор 30.11.2017. Подписано в печать 17.01.2018. Формат 60 × 88 1/8. Усл. печ. л. 5,88.
Отпечатано в ООО "Канцлер", 150008, г. Ярославль, ул. Клубная, д. 4, кв. 49.
Оригинал-макет: ООО "Адвансед солюшнз". 119071, г. Москва, Ленинский пр-т, д. 19, стр. 1. Сайт: **www.aov.ru**

gz218.indd 48 25.01.2018 8:18:06