



# ТРАНСПОРТ НА АЛЬТЕРНАТИВНОМ ТОПЛИВЕ



№ 3 (69) 2019



**Таксопарки переходят на метан**

**«Роснефтегаз» развивает рынок ГМТ**

**Адсорбционные аккумуляторы природного газа**



Зарегистрирован в Федеральной службе по надзору  
в сфере массовых коммуникаций, связи и охраны  
культурного наследия.

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-30114

Включен в Перечень ВАК

**Учредитель и издатель**

АОГМТ «Национальная газомоторная ассоциация» (НГА).

**Периодичность**

6 номеров в год

**Главный редактор**

**А.Г. Ишков**

заместитель начальника Департамента –  
начальник Управления ПАО «Газпром», д.х.н.

**Члены редакционной коллегии**

**Б.В. Будзуляк**

председатель Комиссии по использованию  
природного и сжиженного нефтяного газа  
в качестве моторного топлива, д.т.н.

**С.П. Горбачев**

профессор, главный научный сотрудник  
ООО «Газпром ВНИИГАЗ», д.т.н.

**В.А. Грачёв**

зав. кафедрами РУДН, д.т.н.

**В.И. Ерохов**

профессор «МАМИ», д.т.н.

**В.Л. Зинин**

начальника отдела ПАО «Газпром»,  
исполнительный директор НГА, к.э.н.,  
зам. гл. редактора

**Р.З. Кавтарадзе**

профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана, д.т.н.

**С.И. Козлов**

д.т.н.

**В.А. Марков**

профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана, д.т.н.

**Б.А. Моргунов**

директор Института экономики природопользования  
и экологической политики, д.г.н.

**В.В. Миклушевский**

ректор «МАМИ», профессор, д.э.н.

**Ю.В. Панов**

профессор МАДИ, к.т.н.

**Н.Н. Патрахальцев**

профессор Российского университета дружбы народов, д.т.н.

**Е.Н. Пронин**

координатор проекта «Голубой коридор»

**Н.Г. Рыбальский**

профессор МГУ, д.б.н.

**В.Н. Фатеев**

зам. директора НИЦ «Курчатовский институт», д.х.н.

**В.С. Хахалкин**

главный инженер – заместитель генерального директора  
ООО «Газпром газомоторное топливо»

**Г.А. Ярыгин**

профессор Института тонких химических технологий  
им. М.В. Ломоносова, д.т.н.

**Редактор**

**О.А. Ершова**

E-mail: transport.1@ngvrus.ru

Тел.: +7 (498) 657 29 77

**Отдел подписки и рекламы**

E-mail: transport.2@ngvrus.ru

Тел.: +7 (498) 657 29 77

**Перевод**

**А.И. Хлыстова**

**Компьютерная верстка**

**И.В. Шерстюк**

**Адрес редакции:**

142717, Московская обл., Ленинский р-н, п. Развилка, а/я 253

www.ngvrus.ru

Отпечатано с представленного электронного оригинал-макета

в типографии «ТалерПринт»

109202, г. Москва, ул. 1-ая Фрезерная, д. 2/1

Номер заказа

Сдано на верстку 15.04.2019 г.

Подписано в печать 15.05.2019 г.

Формат 60x90 1/8. Тираж 3000 экз. Бумага мелованная.

Печать офсетная, печ. л. 10,5

При перепечатке материалов ссылка на журнал

«Транспорт на альтернативном топливе» обязательна.

Редакция не несет ответственности за достоверность информации,

опубликованной в рекламных материалах



Члены Ассоциации организаций в области газомоторного топлива «Национальная газомоторная ассоциация» . . . . .	3
Таксопарки переходят на метан . . . . .	7
Заседание рабочего комитета МДК по вопросам развития газомоторного топлива . . . . .	9
Виктор Зубков: Широкий модельный ряд автомобилей на природном газе – обязательное условие развития рынка ГМТ . . . . .	12
Принят крупный проект по переработке и сжижению газа в районе Усть-Луги . . . . .	14
«Роснефтегаз» развивает газомоторный рынок на севере страны . . . . .	16
Обзор публикаций российских СМИ . . . . .	18
Обзор международного рынка ГМТ . . . . .	21
Цивадзе А.Ю., Аксютин О.Е., Ишков А.Г., Меньщиков И.Е., Фомкин А.А., Романов К.В., Тетеревлёв Р.В., Школин А.В., Грачёв В.А. Перспективные адсорбционные аккумуляторы природного газа для автотранспорта . . . . .	29
Кавтарадзе Р.З., Онищенко Д.О., Зеленцов А.А., Козлов А.В., Голосов А.С. Моделирование рабочего процесса и локального теплообмена в двухтопливном двигателе Часть 2: Теплонапряжённое состояние распылителя форсунки . . . . .	37
Дидманидзе О.Н., Зыков С.А., Слепцов О.Н. Результаты моделирования процесса топливоподдачи линией низкого давления дизеля типа Д-245 . . . . .	49
Для тульского муниципального транспорта закуплено топливо на 29 млн рублей . . . . .	57
Лиханов В.А., Лопатин О.П. Исследование токсичности дизелей, работающих на различных альтернативных топливах и режиме максимального крутящего момента . . . . .	58
Ерохов В.И. Современные однотопливные автомобили на компримированном природном газе . . . . .	66
Abstracts of articles . . . . .	78
Авторы статей в журнале № 3 (69) 2019 г. . . . .	80



#### Founder and Publisher

Non-Commercial Partnership National Gas-Vehicle  
Association (NGVA).

#### Published

6 issues a year

#### Editor-in-Chief

**Ishkov, A.G.**

*Deputy Director of the Department,  
Head of the Department, PJSC GAZPROM, Doctor of Chemistry*

#### Editorial board members

**Budzulyak, B.V.**

*Chairman of the Commission for Use of Natural  
and Liquefied Petroleum Gas as Gas-Motor Fuel,  
Doctor of Engineering*

**Erokhov, V.I.**

*MAMI Professor, Doctor of Engineering*

**Fateev, V.N.**

*Deputy Director of RNC Kurchatovsky Institute,  
Doctor of Chemistry*

**Gorbachev, S.P.**

*Professor, Gazprom VNIIGAZ, Doctor of Engineering*

**Grachev V.A.**

*Head of Departments, RUDN University,  
Doctor of Engineering Sciences*

**Kavtaradze, R.Z.**

*Professor of N.E. Bauman's MG TU, Doctor of Engineering*

**Khakhalkin, V.S.**

*Chief technology officer,  
deputy director general LLC «Gazprom Gas-Engine Fuel»*

**Kozlov, S.I.**

*Doctor of Engineering*

**Markov, V.A.**

*Professor of N.E. Bauman's MG TU,  
Doctor of Engineering*

**Morgunov B.A.**

*Director, Institute of Natural Resources Economics  
and Environmental Policy,  
Doctor of Geographic Sciences*

**Miklushevsky V.V.**

*Rector of the Moscow Polytech, Professor,  
Doctor of Science*

**Panov, Yu.V.**

*Professor of MADI (GTU), PhD*

**Patrakhaltsev, N.N.**

*Professor of People's Friendship University of Russia,  
Doctor of Engineering*

**Pronin, E.N.**

*Coordinator of the «Blue Corridor» project*

**Yarygin G.A.**

*Professor, Institute of Fine Chemical Technologies  
named M.V. Lomonosov, Doctor of Engineering Sciences*

**Zimin V.L.**

*Head of a department, PAO Gazprom,  
Director, NGVA, Candidate of Economic Sciences,  
deputy chief editor*

#### Editor

**Ershova, O.A.**

E-mail: transport.1@ngvrus.ru

Phone.: +7 (498) 657 29 76

#### Subscription and Distribution Department

E-mail: transport.2@ngvrus.ru

Phone.: +7 (498) 657 29 77

#### Translation by

**Khlystova A.I.**

#### Computer imposition

**Sherstyuk, I.V.**

#### Editorial office address:

PO Box 253, p. Razvilka, Leninsky r-n,

Moskovskaya obl, 142717

www.ngvrus.ru

Order number

Passed for press on 15.04.2019

Endorsed to be printed on 15.05.2019

Format 60x90 1/8 Circulation 3,000 copies Enamel paper

Offset printing, 10,5 conditional printed sheets

When copying materials, a reference «Alternative Fuel Transport» International

Scientific and Technical Magazine is obligatory.

The editors are not responsible for accuracy of the information contained

in advertising matter.

## CONTENTS

Members of National gas vehicle association in 2019 . . . . .	3
Taxi companies transferring to methane . . . . .	7
International Business Congress Operating Committee Meeting on NGV fuel development . . . . .	9
Victor Zubkov: Wide Model Range of Natural Gas Vehicles as Imperative to NGV Fuel Market Developmet . . . . .	12
Major Project on Gas Processing and Liquefaction in Ust-Luga Region . . . . .	14
«Rosneftegaz» Generates NGV Market in the Russian North . . . . .	16
Review of Russian media publications . . . . .	18
Review of the International NGV Fuel Market . . . . .	21
<b>Aslan Tsivadze, Oleg Aksyutin, Alexander Ishkov, Ilya Menshchikov, Anatoly Fomkin, Konstantin Romanov, Roman Teterevlev, Andrey Shkolin, Vladimir Grachev</b> Advanced adsorption batteries of natural gas for automotive transport. . . . .	29
<b>Revaz Kavtaradze, Dmitriy Onishchenko, Andrey Zelentsov, Andrey Kozlov, Andrey Golosov</b> Simulation of the working process and local heat transfer in the dual-fuel engine <i>Part 2. Heat-stressed condition of injection nozzle . . . . .</i>	37
<b>Otari Didmanidze, Segrey Zykov, Oleg Sleptsov</b> The results of fuel supply process modeling by the low-pressure line using diesel type D-245 . . . . .	49
<b>Vitaly Likhanov, Oleg Lopatin</b> Study on the toxicity of diesel engines operating on different alternative fuels and in maximum torque mode. . . . .	58
<b>Viktor Erokhov</b> Modern single fuel engines on CNG. . . . .	66
Abstracts of articles . . . . .	78
Contributors to journal issue № 3 (69) 2019 . . . . .	80

# Члены Ассоциации организаций в области газомоторного топлива «Национальная газомоторная ассоциация» 2019 год



**АО «Агентство Прямых Инвестиций»**  
Независимая российская инвестиционно-консалтинговая компания.



**ООО «ГК АГРО-БЕЛОГОРЬЕ»**  
Вертикально интегрированная кластерная структура сельскохозяйственных предприятий, основанная в 2007 году в Белгородской области. Промышленное свиноводство и мясопереработка, молочное животноводство, растениеводство и кормопроизводство.



**ООО «АК-БУР СЕРВИС»**  
Транспортные услуги на месторождениях в районах Крайнего Севера.



**ООО «АТС-сервис»**  
Производство и переоборудование автотранспорта на КПГ, производство ПАГЗ, поставка технологического оборудования для АГНКС.



**ЗАО «БАРРЕНС»**  
Проектирование АГНКС, производство и поставка оборудования для АГНКС, ПАГЗ, МКПГ и их комплектующих.



**ООО «Бауэр Компрессоры»**  
Производство компрессоров, комплектов АГНКС.

**ООО «Брянск-Автогаз»**  
Торгово-производственная компания.



**ООО «ВИТКОВИЦЕ Рус»**  
Ведущий европейский производитель баллонов, АГНКС, ПАГЗ, аккумуляторов газа, оборудования для добычи, транспортировки, хранения и переработки газа. Переоборудование транспорта на КПГ (железнодорожного, морского, автомобильного).



**АО «ВНИКТИ»**  
Проведение фундаментальных и прикладных исследований в области железнодорожного транспорта. Разработка локомотивов, работающих на СПГ.



**ООО «Газкомплект»**  
Полный спектр услуг в области производства газовых автомобилей и переоборудования транспорта на газовое топливо.



**ООО «Газпарт 95»**  
Продажа газобаллонного оборудования для ТС.



**ПАО «Газпром автоматизация»**  
НИОКР, проектирование, осуществление полного цикла работ по строительству и реконструкции АГНКС.



**ООО «Газпром газомоторное топливо»**  
Создание инфраструктуры для развития рынка газомоторного топлива в РФ: строительство АГНКС, КриоАЗС, КСПГ и прочих инфраструктурных объектов.



**ООО «Газпром добыча Иркутск»**  
Разработка месторождений углеводородного сырья, строительство и эксплуатация газоконденсатных скважин, добыча и подготовка газа, переработка газового конденсата, реализация жидких углеводородов и природного газа, организация и осуществление надежного и безаварийного газоснабжения газифицированных объектов, научно-исследовательская и опытно-конструкторская работа, инвестиционная деятельность.



**ООО «Газпром добыча Краснодар»**  
Разработка месторождений углеводородного сырья, строительство и эксплуатация газоконденсатных скважин, добыча и подготовка газа, переработка газового конденсата, реализация жидких углеводородов и природного газа, организация и осуществление надежного и безаварийного газоснабжения газифицированных объектов, научно-исследовательская и опытно-конструкторская работа, инвестиционная деятельность.



**ООО «Газпром межрегионгаз Иваново»**  
Реализация природного газа всем категориям потребителей Иваново и Ивановской области.



**ООО «Газпром межрегионгаз Москва»**  
Реализация природного газа всем категориям потребителей Москвы и Московской области.



**ООО «Газпром межрегионгаз Пермь»**  
Реализация природного газа всем категориям потребителей Пермского края.


**ООО «Газпром межрегионгаз Самара»**

Реализация природного газа всем категориям потребителей Самарской области.


**ООО «Газпромнефть Марин Бункер»**

Дочернее предприятие «Газпром нефти», созданное в 2007 году для организации круглогодичных поставок судовых топлив и масел для морского и речного транспорта.


**АО «Газпром оргэнергогаз»**

Диагностика и обслуживание оборудования, газопроводов, АГНКС.


**ООО «Газпром переработка»**

Подготовка и переработка газа, газового конденсата и нефти, а также магистральный транспорт углеводородов.


**ООО «Газпром трансгаз Беларусь»**

Реализация КПП, переоборудование транспортных средств на газомоторное топливо.


**ООО «Газпром трансгаз Екатеринбург»**

Транспорт газа, строительство и обслуживание АГНКС, переоборудование автомобилей на КПП.


**ООО «Газпром трансгаз Казань»**

Транспорт газа, строительство и обслуживание АГНКС, переоборудование автомобилей на КПП.


**ООО «Газпром трансгаз Самара»**

Транспорт газа, строительство и обслуживание АГНКС, переоборудование автомобилей на КПП.


**ООО «Газпром трансгаз Ставрополь»**

Транспорт газа, строительство и обслуживание АГНКС, переоборудование автомобилей на КПП.


**ООО «Газпром трансгаз Сургут»**

Транспорт газа, строительство и обслуживание АГНКС, переоборудование автомобилей на КПП.


**ООО «Газпром трансгаз Томск»**

Транспорт газа, строительство и обслуживание АГНКС, переоборудование автомобилей на КПП.


**ООО «Газпром трансгаз Уфа»**

Транспорт газа, строительство и обслуживание АГНКС, переоборудование автомобилей на КПП.


**ООО «Газпром трансгаз Чайковский»**

Транспорт газа, строительство и обслуживание АГНКС, переоборудование автомобилей на КПП.


**Газпром ЭП Интернэшнл Б.В.**

Единый оператор проектов ПАО «Газпром» по поиску, разведке и разработке месторождений углеводородов за пределами Российской Федерации.


**АО УК ГазСервисКомпозит**

Производство и продажа полимерно-композитных баллонов низкого и высокого давления, производство и сервисное обслуживание комплексов по хранению и транспортировке компримированного природного газа, инженеринговые услуги в сфере газовых технологий, промышленные услуги в сфере газовых технологий.


**ОАО НПО «Гелиймаш»**

Производство установок сжижения природного газа и водорода, производство криогенных топливных баков и систем.


**ООО «ГЕОКАДЖИНИРИНГ»**

- Оформление прав на земельные участки под строительство и эксплуатацию объектов газотранспортной инфраструктуры, получение ТУ и ИРД;
- Выполнение проектно-изыскательских работ;
- Предоставление инженеринговых услуг;
- Реализация газомоторных проектов «под ключ».


**ООО «ДЖИ-ДЖИ СОЛЮШНС»**

Разработчик и производитель оборудования современных стационарных и мобильных автомобильных газонаполнительных станций АГНКС и ПАГЗ, включая системы автоматизированного управления, радиоэлектронные и коммуникационные устройства, стационарные и мобильные автомобильные газовые заправочные колонки, системы управления газовыми компрессорами высокого давления, автоматику и программное обеспечение для АГНКС и ПАГЗ.


**ООО «ИЛ-16»**

Техническая экспертиза транспортных средств в случае внесения изменений в их конструкцию, согласно требований ТР ТС 018/2011;

Техническая экспертиза при установке газобаллонного оборудования.


**ООО «ИнновацияСПб Холдинг»**

Переоборудование транспорта для работы на газомоторном топливе. Поставка оборудования для транспортировки, хранения и использования газомоторного топлива.


**ООО «Интехгаз»**

Определение количественного и качественного состава газомоторного топлива, поставка газоиспользующего и газобаллонного оборудования.


**ООО «ИТЕКО Россия»**

Междугородные и международные перевозки грузов автомобильным транспортом. Компания является таможенным представителем и оказывает комплексные экспортно-импортные услуги. Уставный капитал – 400 миллионов рублей. Собственный автопарк – 1200 автомобилей. Сторонний подвижной состав привлекается по договорам аренды. В постоянном управлении находятся 10000 единиц подвижного состава. Компания имеет филиалы в 60 крупных городах России и Казахстане, в штате 2500 работников.


**ПАО «КАМАЗ»**

Производство грузовой и специализированной автомобильной техники.

**ООО «КИМАКО»**

Дистрибуция промышленного оборудования, производимого в Южной Корее.

**ООО «Кировский завод Газовые технологии»**

Строительство АГНКС под ключ: строительные-монтажные работы, технический надзор. Проектирование: проектно-исследовательские работы, авторский надзор. Производство собственного оборудования: система автоматического управления АГНКС «САУ-КЗГТ», колонки газозаправочные «КЗГТ-КСМ». Шеф-монтаж и пусконаладочные работы. Сервисное и послепродажное обслуживание, обучение. Поставка оборудования и запасных частей.

**ООО «Компрессор газ»**

Разработка и производство газового компрессорного оборудования.

**ЗАО «Комптех»**

АГНКС, компрессоры, системы хранения и распределения газа.

**ООО «Корпорация Роснефтегаз»**

Переработка газа в бензин, эксплуатация многотопливных АЗС, переоборудование АТС на газ.

**ООО «Краснодарский компрессорный завод»**

Производство компрессорного оборудования для АГНКС.

**ООО «Криогазтех»**

Проектно-строительная компания, специализирующаяся на реализации проектов в формате ЕРС, в том числе уникальных проектов топливно-энергетического сектора. От проектирования до ремонта и техобслуживания готового объекта.

**ООО «КРИОСТАР РУС»**

Производство высокотехнологичного криогенного оборудования: центробежных и поршневых насосов, турбодетандеров, турбокомпрессоров, турбогенераторов, заправочных станций, малотоннажных установок по производству СПГ.

**ООО «ЛЕВИТЭК»**

Поставка полного комплекта оборудования для АГНКС, насосно-компрессорного оборудования для предприятий нефтегазовой отрасли.

**ООО «Легион Эстейт»**

Поставка нефти и нефтепродуктов; Оказание логистических услуг по перевозке стабильного газового конденсата, нефти и нефтепродуктов. Строительство АГНКС и КриоАЗС «под ключ», в том числе поставка технологического оборудования, проектные и строительные-монтажные работы.

**ООО НПК «ЛенПромАвтоматика»**

Капитальный ремонт и модернизация АГНКС. Автоматика для АГНКС. Проектирование и строительство полнокомплектных АГНКС.

**ЗАО «Мелстон Инжиниринг»**

Проведение полного комплекса работ по строительству, реконструкции и оснащению АЗС/АГЗС/АГНКС необходимым оборудованием.

**АО «МГПЗ»**

Производство и реализация: криогенные продукты разделения воздуха – неон, гелий, аргон. Производство и реализация: газовые смеси, поверочные газовые смеси (ПГС-ГСО), технические газы, в том числе сварочные газы, сварочные смеси. Продажа пропана. Продажа: сжатый природный газ, продукты переработки нефти и газа, в том числе пропан (заправка пропаном), метан (заправка метаном).

**ООО УК «МЕТАЛЛОИНВЕСТ»**

Производство стали, товарного горячекрикетированного железа,

**ООО «Мониторинг Вентиль и Фитинг»**

Разработка, изготовление и поставка оборудования для применения КПП и СПГ, криогеники и технических газов. Оборудование предназначено для АНКС, КриоАЗС, КСПГ, промышленных предприятий, нефтегазовой промышленности, лабораторий, научных исследований.

**ООО «НИИ экологии НГП»**

Решение производственных и научно-технических задач в области экологической безопасности, вредных воздействий на окружающую среду и развитие инфраструктуры и реализации газомоторного топлива (ГМТ)

**ОАО «Новогрудский завод газовой аппаратуры»**

Производство газозапорной и газорегулирующей аппаратуры.

**ООО «НПК «НТЛ»**

Разработка, проектирование и производство наукоемкой продукции для предприятий газовой отрасли, в том числе комплексы малотоннажного производства СПГ.

**ООО «НПО «НХП»**

Инжиниринговая компания, предоставляющая услуги в нефтяной, газовой и нефтехимической промышленности.

**ООО «НТА-Пром»**

Поставка трубной арматуры малого диаметра.

**ООО «Перспектива»**

Производство и освидетельствование газовых баллонов.

**ООО «ПетроГазТех»**

Идентификация, разработка, внедрение и продвижение технологий в области разведки и добычи нефти и газа.

**ООО ИК «ПромТехСервис»**

Проектирование, строительство, реконструкция, перевооружение, и обслуживание АЗС, МАЗС и АГНКС, а также комплексная поставка оборудования и запасных частей для данных объектов

**АО «РариТЭК Холдинг»**

Производство, реализация и сервис автомобилей КАМАЗ, коммунальной техники, автобусов НЕФАЗ и Bravis с газовыми двигателями. Производство ПАГЗ. Обучение на право обслуживания и эксплуатации газомоторной техники.



## Члены Ассоциации



### ООО НПФ «Реал-Шторм»

Стальные барабаны, цистерны, газовые баллоны.



### ООО «Региональная Газовая Компания»

Строительство и эксплуатация собственных АГНКС в составе МАЭК



### ООО «РМ КПГ»

Производство высокотехнологичного оборудования АГНКС контейнерного и блочно-модульного типа

- шеф-монтажные и пусконаладочные работы
- гарантийное и пост гарантийное сервисное обслуживание оборудования



### ООО «Салаватнефтемаш»

Ведущий производитель оборудования для нефтедобывающей, нефтегазоперерабатывающей, нефтехимической и других отраслей промышленности, в т.ч. связанных с обращением, транспортированием, хранением жидких, газообразных веществ.



### АО «Сбербанк Лизинг»

Лизинг: легкового, грузового, коммерческого автотранспорта; автобусов; воздушных, речных и морских судов; спецтехники, оборудования и недвижимости для малого, среднего и крупного бизнеса. Финансовый и возвратный лизинг.



### ООО «СКАНИЯ-РУСЬ»

Эксклюзивный импортер и официальный дистрибьютор грузовой техники, автобусов и двигателей Scania в России.



### ООО НПФ «Реал-Шторм»

Стальные барабаны, цистерны, газовые баллоны.



### ООО «Салаватнефтемаш»

Ведущий производитель оборудования для нефтедобывающей, нефтегазоперерабатывающей, нефтехимической и других отраслей промышленности, в т.ч. связанных с обращением, транспортированием, хранением жидких, газообразных веществ.



### ООО «СПГ Проект Инжиниринг»

- проектирование, строительство, реконструкция, техническое перевооружение, пусконаладочные работы и эксплуатация объектов по производству сжатого и сжиженного природного газа, а также автозаправочных комплексов и станций;

- производство, хранение транспортирование и реализация промышленных газов и газомоторного топлива;

- оптовая и розничная торговля природным газом, хранение и доставка потребителям компримированного и сжиженного природного газа.



### ООО «ТЕГАС»

Производство газоразделительного, компрессорного и холодильного оборудования.



### ООО «ТЕГРУСС»

Комплексные технологические решения в энергетике и нефтегазовой сфере. Проектирование, поставка и обслуживание стационарных и мобильных газозаправочных установок. Продажа автомобильной и специальной техники различного назначения.



### ООО «ТЕГРУСС КОМПЛЕКТ»

Проектирование, поставка и обслуживание стационарных и мобильных газозаправочных установок. Продажа автомобильной и специальной техники различного назначения.



### ООО «ТрансЭнергоСтройгрупп»

Ремонт машин и оборудования; техническое обслуживание и ремонт автотранспортных средств. Поставка автомобильных деталей, узлов и принадлежностей.



### АО «УдмуртАвтоТранс»

Автомобильные пассажирские перевозки.



### ООО «Хэм-Лет»

Диагностика и обслуживание оборудования, газопроводов, АГНКС.



### ООО «Челябинский компрессорный завод»

Крупнейший производитель винтовых компрессорных установок с приводом от электрического и дизельного двигателей



### ООО «Эйдос-Инновации»

Разработчик современных технологий для подготовки водительских кадров. Оператор инновационных автошкол ДОСААФ России. НИОКР, производство, внедрение. Резидент ИЦ Сколково



### ООО «Эксайтон Групп»

Реализация и поставка газобаллонного оборудования.



### АО «Эр Ликид Глобал И энд Си Солюшнс Франция»

Производство и поставка газов, технологий и услуг для промышленности и здравоохранения.



### Представительство Юнипер Глобал Коммодитиз СЕ (Германия)

Участие в нефтегазовых и энергетических проектах.



### АО UNIDOM Co.,LTD

Инжиниринговые услуги, проектирование и поставка газового оборудования широкого спектра.



### KOA ENG CO., LTD

Инжиниринг и строительство АГНКС.



### KwangShin Machine Industry Co., LTD

Производство поршневых компрессоров.



### АО «Яндекс Такси»

Крупнейший сервис онлайн-заказа такси через мобильное приложение, веб-сайт или по телефону.

## Таксопарки переходят на метан

По данным ВЦИОМ, за последние пять лет россияне чаще стали пользоваться услугами такси. Активный рост рынка стал возможен благодаря снижению стоимости поездок в условиях высокой конкуренции. С другой стороны, резкое повышение цен на бензин и дизель в 2018 году вынудило владельцев таксопарков искать решения по снижению топливных затрат. Самым эффективным оказался переход на метан.



Агрегатор такси в Ростовской области «Дон вояж» использует в своем таксопарке 400 автомобилей на метане. По словам представителя компании, использование природного газа в качестве моторного топлива позволяет «Дон вояж» держать цены в 1,5 раза ниже, чем у других южных таксопарков, при этом экономить 600 руб. в день на заправке одного автомобиля. Сегодня стоимость 1 кубометра природного газа в среднем по России составляет 16 руб., что почти в три раза дешевле нефтяных видов топлива. К тому же 1 кубометр метана эквивалентен по расходу 1 литру бензина.

Крупнейший в России сервис по заказу такси «Яндекс.Такси» также делает ставку на природный газ: в настоящее время под брендом компании эксплуатируется более 3 000 автомобилей на метане. В начале этого года московский агрегатор такси «Ситимобил» и «Газпром газомоторное топливо» подписали соглашение о переводе на природный газ 200 автомобилей. Ожидается, что до конца 2019 года их количество увеличится до тысячи единиц, в том числе за счёт приобретения новых заводских автомобилей LADA Vesta CNG.

На данный момент уже продано более 3000 единиц первой серийной двухтопливной модели АВТОВАЗа – LADA Vesta CNG. В апреле линейка легковых автомобилей АВТОВАЗ пополнилась тремя модификациями LADA Largus CNG: фургон, пятиместный универсал и версия Cross. Ожидается, что автомобиль будет востребован со стороны малого и среднего бизнеса, а также частных автовладельцев.





LADA Largus CNG – новая продукция АВТОВАЗа

Для хранения природного газа на новом автомобиле установлен баллон объёмом 90 л, который вмещает в себя 22 кубометра метана. Благодаря этому запас хода универсала при полной заправке бензином и природным газом составляет более 1000 км.

Однако большая часть таксопарков переходит на природный газ путём переоборудования уже существующего автопарка. Для этого компания «Газпром газомоторное топливо» предлагает специальные условия. Так, для юридических лиц действует маркетинговая программа «Первый раз – первый газ»: автовладелец получает газовое оборудование в аренду на три года с возможностью выкупа.

Ещё одна программа – «ЭкоГаз – экономия для Вас!+»: её участникам компания «Газпром газомоторное топливо» предоставляет топливную карту с лимитированным объёмом топлива (до 4000 кубометров для юридических лиц) или экобонусов<sup>1</sup> (до 35 000 экобонусов для физических лиц), которыми можно оплатить до 50 % стоимости природного газа на газозаправочных объектах «Газпром».

Третья программа, в которой могут участвовать физические лица, – EcoCity. Клиент устанавливает оборудование в одном из партнёрских пунктов, а компания размещает рекламу с топливным брендом на борту переоборудованного автомобиля. За это клиент ежеквартально в течение года получает денежное вознаграждение. В рамках маркетинговых программ «Газпром газомоторное топливо» в период 2014-2018 гг. на природный газ переведено 10 323 единицы техники.

Отдел внешних коммуникаций  
ООО «Газпром газомоторное топливо»

---

<sup>1</sup> экобонус = 1 руб.

## Заседание рабочего комитета МДК по вопросам развития газомоторного топлива

4 апреля 2019 года в г. Набережные Челны (Республика Татарстан) состоялось IX заседание рабочего комитета Международного делового конгресса (МДК) «Современные технологии и перспективные проекты нефтегазового комплекса». Тема заседания – «Природный газ как газомоторное топливо будущего: тенденции и перспективы». В мероприятии приняли участие свыше 350 делегатов от компаний-участников рабочего комитета МДК, производителей газомоторного транспорта и оборудования, представителей республиканской власти, организаций Группы Газпром и Национальной газомоторной ассоциации.

Местом проведения очередного заседания рабочего комитета МДК был выбран завод ПАО «КАМАЗ», отмечающий в этом году 50-летний юбилей и один из первых в стране освоивший серийный выпуск автотранспорта, использующего в качестве топлива компримированный (КПГ) и сжиженный (СПГ) природный газ.



Президиум заседания рабочего комитета МДК

Открывая заседание, заместитель председателя правления ПАО «Газпром» В.А. Маркелов отметил значительный вклад Республики Татарстан в общий объём промышленного производства Российской Федерации, а также положительную динамику роста отечественного потребления газомоторного топлива. В 2018 году в стране было реализовано 700 млн кубометров газа в качестве топлива для транспорта, прирост по отношению к 2017 году составил 12,4 %. При этом за первый квартал 2019 года объём потребления газомоторного топлива вырос на 17,2 % по отношению к аналогичному периоду 2018 года. Такой рост связан с началом реализации политики государственного субсидирования производителей и потребителей газомоторной техники.

В своём приветствии участникам заседания президент Республики Татарстан Р.М. Минниханов подчеркнул, что развитие газомоторной инфраструктуры в России сегодня меняет темп с инерционного на интенсивный. С 2013 года в Республике Татарстан при поддержке федерального правительства и ПАО «Газпром» системно ведётся работа по совершенствованию инфраструктуры ГМТ. По итогам этой работы сегодня Татарстан, по оценке Минэнерго России, занимает первое место среди регионов по использованию КПП в качестве топлива для автотранспорта, в республике также реализуется Программа строительства завода по сжижению природного газа и сети КриоАЗС до 2030 года.

Генеральный директор ПАО «КАМАЗ» С.А. Когогин в своём выступлении назвал газомоторное топливо ключевым драйвером развития автомобильной техники предприятия. Природный газ сегодня в условиях применения экологических нормативов Евро-6 и Евро-7 служит наиболее эффективной альтернативой дизельному топливу для грузового автотранспорта. В рамках программы перехода на газомоторное топливо КАМАЗ осуществил глубокую модернизацию заводских мощностей, и к концу 2019 года здесь будет начат серийный выпуск нового газотопливного 12-литрового двигателя КАМАЗ-960. В 2018 году предприятие вывело на рынок модель магистрального седельного тягача с битопливным двигателем, обеспечившим экономию транспортных издержек в размере 27 % – это около 250 млрд рублей в год. Сегодня КАМАЗ производит 30 газомоторных автомобилей в смену.

Заместитель премьер-министра – министр промышленности и торговли Республики Татарстан А.А. Каримов поделился опытом развития рынка газомоторного топлива в регионе. В 2018 году объём реализации ГМТ в Татарстане составил 36 млн кубометров. План на 2019 год составляет не менее 50 млн кубометров. В сотрудничестве с ООО «Газпром газомоторное топливо» разрабатываются инструменты для стимулирования потребителя – примером могут служить топливные карты и новые регламенты, упрощающие процедуру регистрации и технический осмотр газомоторного транспорта.

В своём докладе генеральный директор ООО «Газпром газомоторное топливо» М.В. Лихачёв сообщил, что на сегодняшний день в России функционируют 304 стационарных АГНКС и 31 мобильный заправочный комплекс (ПАГЗ). Заправку СПГ осуществляют три мобильные станции в Москве, Санкт-Петербурге и Калининграде. В настоящее время линейка отечественной газомоторной техники составляет 127 моделей грузовиков, 43 модели автобусов и микроавтобусов, 36 моделей спецтехники, 19 моделей лёгкого коммерческого транспорта и четыре легковые модели. Прогноз динамики развития рынка ГМТ с учётом государственной поддержки предполагает выход на уровень потребления 4 млрд кубометров газомоторного топлива в 2024 году при эксплуатации свыше 430 тыс. единиц газотопливных автомобилей.

О преимуществах использования газомоторного топлива для железнодорожного транспорта говорил заместитель начальника департамента технической политики ОАО «РЖД» О.Н. Назаров.

Начальник управления перспективных технологий ПАО «НОВАТЭК» С.В. Руденко ознакомил участников заседания с корпоративными программами производства СПГ для газомоторного транспорта – западным и восточным проектами.

Тема использования международного опыта развития газомоторной инфраструктуры получила продолжение в докладе специального советника области Ломбардия, президента консорциума NGV Italy Мариярозы Барони. В своём выступлении М. Барони обозначила ключевые моменты взаимодействия с Национальной газомоторной ассоциацией.

Заместитель генерального директора компании по маркетингу природного газа при АКОО «ПетроЧайна» Ли Вэй ознакомил аудиторию с историей развития газомоторного транспорта в КНР.

О развитии газомоторного рынка в Социалистической республике Вьетнам рассказал генеральный директор СК «ПВГАЗПРОМ НГВ» А.В. Богачёв. Одним из этапов такого развития стало строительство малотоннажного завода по производству СПГ мощностью 20 млн кубометров в год в южной части СРВ и сети КриоАЗС.

Директор по техническому сотрудничеству компании Uniper Детлеф Веслинг рассказал о внедрении СПГ в качестве моторного топлива в странах Евросоюза. Созданием соответствующей инфраструктуры сегодня занимается компания Liqvis – дочерняя структура Uniper.

Управляющий директор компании «МАН Энерджи Солюшнс Рус» Энрико Энхардт в своём докладе представил современный модельный ряд и технические характеристики линейки газомоторных двигателей, предназначенных как для грузовых автомобилей, так и для железнодорожных локомотивов, речных и морских судов.

Мировой опыт развития рынка ГМТ в проекции на Россию проанализировал руководитель глобальной практики оказания услуг Группе «Газпром» компании «Эрнст энд Янг» П.В. Медведев. В завершающем заседании докладе топ-менеджера компании «Криостар Рус» Н.И. Китринской-Десанглуа была представлена концепция развития сети КриоАЗС в России.

В рамках заседания рабочего комитета МДК в Набережных Челнах его участники посетили производственные площадки ПАО «КАМАЗ» (завод двигателей АБК 306/2, завод каркасов кабин, корпус газовых автомобилей АВЗ) и ООО «Техцентр РариТЭК».

Подводя итоги мероприятия, председатель рабочего комитета МДК В.А. Маркелов отметил ценность выступлений каждого участника заседания в контексте развития российского рынка газомоторного топлива.

### **Справка**

Международный деловой конгресс (МДК) – международная неправительственная организация, которая занимается практическими вопросами экономического сотрудничества, разработкой предложений по устранению препятствий и созданию благоприятных условий для эффективного и безопасного ведения предпринимательской деятельности.

Члены МДК представляют 28 стран мира. В составе МДК действуют восемь комитетов: «Энергетика», «Промышленность, инновации и перспективное развитие», «Законодательство, банки, финансы», «Информация и коммуникации», «Экология и здравоохранение», «Человеческие ресурсы, образование, наука», «Безопасность предпринимательства», «Современные технологии и перспективные проекты нефтегазового комплекса».

## Виктор Зубков: Широкий модельный ряд автомобилей на природном газе – обязательное условие развития рынка ГМТ



В апреле в г. Тольятти (Самарская область) на базе ПАО «АВТОВАЗ» председатель совета директоров ПАО «Газпром» Виктор Зубков провёл совещание по вопросам развития отечественного рынка газомоторного топлива, стимулирования спроса и предложения на технику, работающую на природном газе.

В мероприятии приняли участие заместитель министра энергетики РФ Антон Инюцын, заместитель министра промышленности и торговли РФ Александр Морозов, члены правления, начальники департаментов ПАО «Газ-

пром» Владимир Марков и Вячеслав Михаленко, представители Министерства транспорта РФ, а также ведущих отечественных и зарубежных автопроизводителей (ПАО «АВТОВАЗ», УК «Группа ГАЗ», ПАО «КАМАЗ», АО «РариТЭК Холдинг», ООО «УАЗ», HYUNDAI, KIA, Renault, Volkswagen) и финансовых организаций.

На совещании было отмечено, что российские производители сегодня предлагают более 220 моделей газобаллонных автомобилей. В основном это пассажирская техника (автобусы и микроавтобусы), грузовая (самосвалы, фургоны, мусоровозы) и специальная (в частности, тракторы, бульдозеры, автокраны). Вместе с тем для массового использования газомоторного топлива необходимо налаживание производства широкого модельного ряда доступных по цене легковых автомобилей.

Кроме того, за последние пять лет (2014-2018 гг.) в России выпущено не более 20 тыс. единиц газомоторной техники в заводском исполнении. Таких объёмов недостаточно для активного развития рынка газомоторного топлива в стране.

Участники совещания рассмотрели планы отечественных и иностранных автопредприятий по развитию в России производства газомоторной техники. Отдельное внимание было уделено стоимостным характеристикам. Обсуждались вопросы синхронизации развития газозаправочной инфраструктуры и сетей сервисного обслуживания газобаллонных автомобилей.

«Широкий модельный ряд современных автомобилей на природном газе



Производственные площадки ПАО «АВТОВАЗ»

– одно из обязательных условий развития российского газомоторного рынка. Важно сосредоточить усилия всех его участников на этом направлении, делать это системно и комплексно.

Коммерческие и частные покупатели должны быть уверены, что экономичные, экологичные и, что немаловажно, надёжные газомоторные автомобили привлекательны ещё и по цене, и по уровню сервисного обслуживания», – сказал Виктор Зубков.

Делегация «Газпрома» посетила производственные площадки ПАО «АВТОВАЗ», в частности, сборочный цех, где ведётся установка газобаллонного оборудования на легковые автомобили, а также новую автомобильную газонаполнительную компрессорную станцию «Газпрома» в г. Тольятти.

### **Справка**

Производство и реализация природного газа в качестве моторного топлива, расширение отечественного газомоторного рынка является одним из стратегических направлений деятельности ПАО «Газпром». Компания активно взаимодействует с российскими производителями газомоторной техники. Соглашения о сотрудничестве подписаны, в частности, с ПАО «АВТОВАЗ», ПАО «КАМАЗ», «УК Группа ГАЗ», ООО «УАЗ», ОАО «Кировский завод», ООО «АТС», ОАО «Синара–Транспортные Машины», ООО «ККУ «Концерн «Тракторные заводы», АО «Курганский завод дорожных машин», ООО «ВОЛГАБАС», ООО «ТК «Коммаш-ГРАЗ».

В рамках работы, направленной на популяризацию природного газа в качестве моторного топлива, сформирован и регулярно обновляется электронный каталог газомоторного транспорта, расположенный на сайте [www.ecogas-auto.ru](http://www.ecogas-auto.ru).

Управление информации ПАО «Газпром»

## Принят крупный проект по переработке и сжижению газа в районе Усть-Лути

В конце марта ПАО «Газпром» и АО «РусГазДобыча» приняли решение о финальной конфигурации проекта создания крупного комплекса по переработке этансодержащего газа и производству сжиженного природного газа (СПГ) в районе г. Усть-Лути (Ленинградская область). Таким образом, стороны перешли к стадии реализации проекта.

Проект предусматривает сооружение мощностей по ежегодной переработке 45 млрд кубометров газа, производству и отгрузке 13 млн тонн СПГ, до 4 млн тонн этана и более 2,2 млн тонн сжиженных углеводородных газов (СУГ). Сырьём для предприятия станет этансодержащий природный газ, добываемый «Газпромом» из ачимовских и валанжинских залежей месторождений Надым-Пур-Газовского региона. Оставшийся после переработки природный газ (около 20 млрд кубометров) будет направляться в газотранспортную систему «Газпрома».

Ввод в эксплуатацию первой очереди комплекса намечен на вторую половину 2023 года, второй очереди – до конца 2024 года. Оператором проекта является компания специального назначения ООО «РусХимАльянс», созданная на паритетной основе «Газпромом» и «РусГазДобычей».

В числе первоочередных задач компании-оператора – подготовка проектной и рабочей документации, начало землеустроительных работ на арендованной площадке будущего предприятия в южной части порта Усть-Луга (1400 га). Также планируется сформировать контрактную схему проекта, определить EPC-подрядчиков\* и разместить заказы на оборудование с длительным циклом изготовления.

Выбранная техническая конфигурация проекта позволит максимизировать экономический эффект для его участников. В первую очередь за счёт интеграции производственных мощностей на единой площадке, оптимизации промышленной и логистической инфраструктуры комплекса, использования общего морского отгрузочного терминала. Размер выручки предприятия оценивается на уровне свыше 4 млрд долл. США в год. При этом инвестиции в реализацию проекта предполагаются в объёме более 700 млрд руб.

Реализация этого масштабного проекта имеет большое значение для социально-экономического развития страны. На пике строительства комплекса будет задействовано свыше 25 000 специалистов, на этапе эксплуатации планируется создать более 5 000 постоянных рабочих мест.

Запуск предприятия позволит нарастить российский экспорт СПГ, а также СУГ (на 30-40 %). Существенно увеличится производство этана, который востребован отечественной промышленностью. Производимый заводом этан планируется поставлять на перспективный газохимический комплекс (ГХК), в создание которого будет самостоятельно инвестировать «РусГазДобыча» (компания специального назначения – ООО «Балтийский Химический Комплекс»). ГХК будет выпускать свыше 3 млн тонн полимеров в год.

\* EPC (от англ. Engineering, procurement and construction) – способ контрактования в строительной отрасли.



Порт Усть-Луга

Фото ОАО «Компания Усть-Луга»

«Сегодня дан старт реализации масштабного проекта, аналогов которому в России просто нет. В сжатые сроки мы построим самое мощное предприятие по переработке и сжижению газа в стране. С учётом технологически связанного газохимического предприятия мы говорим о создании крупного современного промышленного кластера на Северо-Западе России.

Принятое сегодня решение – это практическая реализация новой экономической модели комплексной монетизации углеводородных запасов. Объединение в формате единой площадки производства СПГ и этана существенно улучшает экономику и удельные показатели проекта, позволяет значительно снизить ресурсные и ценовые риски», – сказал председатель правления ПАО «Газпром» Алексей Миллер.

### **Справка**

В мае 2017 года «Газпром» и «РусГазДобыча» подписали Меморандум о намерениях по реализации проектов развития газохимического производства на базе запасов и ресурсов ачимовских и валанжинских залежей Надым-Пур-Тазовского региона, а также добычи и переработки запасов и ресурсов газа и газового конденсата месторождений Тамбейского кластера (Тамбейское и Тасийское месторождения ПАО «Газпром»).

АО «РусГазДобыча» – компания специального назначения, созданная «Национальной химической группой» с целью повышения эффективности производственной цепочки, получения доступа к сырью (природной газ), а также инвестирования в сырьевые и перерабатывающие производственные мощности.

Управление информации ПАО «Газпром»





## «Роснефтегаз» развивает газомоторный рынок на севере страны

Добычей нефти и газа обычно занимаются крупные холдинги и корпорации. Но мировой опыт показывает, что растёт роль и средних частных компаний. Они более эффективны, быстрее приспосабливаются к меняющемуся рынку и готовы брать на себя большие риски. А некоторые из них занимаются ещё и разработками новых технологий. Такие компании есть не только в США или Норвегии, но и в России. Один из наиболее ярких примеров – корпорация «Роснефтегаз» из Ямало-Ненецкого автономного округа. Помимо основной деятельности, компания активно занимается инновациями и демонстрирует высокую социальную ответственность.

«Роснефтегазу» на Ямале принадлежит самая большая сеть заправок (в том числе газовых, а также единственная стационарная заправка природным газом, уже сданная в эксплуатацию), крупнейшее в регионе хранилище ГСМ, шесть нефтегазовых месторождений. Одно из них было открыто несколько лет назад неподалёку от поселка Уренгой после нескольких неудачных попыток, предпринятых в советское время. Специалисты скорректировали место бурения и стали бурить глубже. Это обошлось в миллиард рублей, и неудача могла разорить компанию. Однако на глубине примерно четырёх километров геологи нашли заветные нефть и газ! Когда будет начата добыча нефти, посёлок получит второе рождение – появятся новые рабочие места, а в бюджет пойдут дополнительные налоги.

Компания является одним из локомотивов газомоторного рынка на севере страны и продолжает инвестировать в эту отрасль. Например, планируется построить несколько газовых заправок в отдалённых регионах Ямала – в посёлках Самбург, Красноселькуп и Газ-Сале. Сейчас они обеспечиваются топливом только завозом через реку в тёплое время года. А ведь там есть свой газ. По оценкам специалистов, проект «Роснефтегаза» дал бы экономию бюджета не менее трёх миллиардов рублей в год и сократил бы себестоимость услуг ЖКХ.

Не всегда всё идёт гладко, признаётся основатель компании Олег Ситников. Например, газ с месторождения под Старым Уренгоем, выходящий и сторающий в атмосфере, можно было бы использовать для бесплатной заправки автотранспорта. Компания хотела сдать в эксплуатацию специальную газомоторную АЗС недалеко от месторождения, отправила все необходимые документы в местную администрацию, но там их... потеряли.

– Время идёт, а дело не движется. Но мы ведём постоянные переговоры с районными властями. Надеюсь, что и федеральные органы нам помогут, – говорит Олег Ситников.



У него есть основания на это рассчитывать. Например, несколько лет назад его выступление на Всероссийском форуме по развитию газомоторного рынка с предложением отменить лицензии на газомоторные заправки послужило реальному изменению в законодательстве.

– Мы действительно являемся одними из лидеров на рынке газомоторного топлива, и было отрадно, что федеральные власти не просто услышали наши пожелания, но приняли самый разумный и полезный для предпринимателей вариант, – вспоминает Олег Афанасьевич.

Как говорят коллеги, Ситников всегда был на шаг впереди в своём бизнесе. Вот и сегодня его занимает не только добыча углеводородов, но и энергетика будущего.

– А вы знаете, что главным источником энергии в XXI веке, вероятно, станет обычная вода? При температуре свыше 1500 градусов по Цельсию она распадается на водород и кислород. Первый элемент горит, а второй поддерживает его горение! Мы получили патент на такую технологию получения энергии, и сейчас в Уренгое на двух экспериментальных котлах занимаемся её доработкой, – открывает секреты Олег Афанасьевич. – Сегодня это кажется фантастикой, но технические революции всегда поначалу казались безумием! Только представьте, как изменится весь мировой рынок нефти и газа, если Россия первой «оседлает» горение воды.

Немало средств компания вкладывает и в социальную сферу. На стенах её офиса – десятки благодарственных писем от школ, больниц, социальных учреждений, церквей.

<https://rg.ru/2019/04/23/kompaniia-rosneftegaz-razvivaet-gazomotornyj-rynok-na-severe-strany.html>

## Обзор публикаций российских СМИ

18

Транспорт – один из основных источников вредных выбросов в окружающую среду, в том числе парниковых газов, способствующих климатическим изменениям. В попытке сделать транспортную систему более экологичной инженеры активно разрабатывают автомобили на природном газе, водородной или электрической тяге.

### В правительстве

14 мая президент России Владимир Путин подписал новую доктрину энергобезопасности России. Новый документ заменил предыдущий, утверждённый в ноябре 2012 года.



Внешнеэкономическими вызовами для энергобезопасности России доктрина называет перемещение центра мирового экономического роста в страны Азиатско-Тихоокеанского региона, замедление роста мирового спроса на энергоресурсы и изменение его структуры, рост производства СПГ и увеличение его доли на рынках, как и доли возобновляемых источников энергии в мировом балансе энергопотребления.

Медленное обновление инфраструктуры отнесено к экономическим угрозам. Критическое отставание в сфере науки и технологий, в результате чего российские нефтегазовые компании станут неконкурентоспособными на мировом рынке, – к научно-технологическим угрозам.

В доктрине обозначены основные тенденции, которые России как стране с сырьевой экономикой важно принимать во внимание при долгосрочном планировании. В их числе – рост роли СПГ.

\*\*\*

Премьер-министр Дмитрий Медведев дал поручение создать систему мониторинга качества атмосферного воздуха в крупных промышленных центрах

России, в том числе в городах Сибири – Братске, Красноярске, Новокузнецке, Норильске и Омске. Первый отчёт должен быть представлен федеральному правительству до 15 октября 2019 года.

Премьер также поручил Росгидромету, Росприроднадзору, Роспотребнадзору, Минздраву России обеспечить создание и функционирование портала, где будет представлена информация о состоянии атмосферного воздуха в мегаполисах РФ в режиме реального времени. Результаты государственного мониторинга воздуха в Омске уже можно увидеть на 52 электронных щитах, в том числе на электронной экологической карте региона в природном парке «Птичья гавань», на которой размещена оперативная информация по всем городским округам. В Омске также прошли публичные слушания региональной программы «Чистый воздух» в рамках нацпроекта «Экология». К 2024 году снижение количества вредных выбросов на 20 % (56 тыс. т) – задача, на выполнение которой будет выделено 116,1 млрд рублей бюджетных и внебюджетных средств. Сокращение на 9 % ожидается за счёт перевода автомобилей на газ.

## Газомоторная техника

Основное развитие сегмента ГМТ в России происходит и будет происходить за счёт коммерческого и общественного транспорта. Актуальным является не только перевод на газ грузовых автомобилей в эксплуатации, но и выпуск новых – на ГМТ. На конференции «Газомоторное топливо 2019» концерн Scania представил три модели двигателей на КПП (биометане) и СПГ, разработанные для России. Согласно исследованию Scania, ресурс таких двигателей в 1,5 раза больше, чем у бензиновых.

С начала 2018 года в нашей стране уже реализовано более 300 автомобилей Scania на ГМТ.

## В регионах

Между Санкт-Петербургом и Кировском в Ленинградской области начали курсировать экологичные автобусы, работающие на природном газе. Протяжённость маршрута – 35 км. Маршрут обслуживает «Питеравто», получившая разрешение руководства Ленинградской области на перевод своего автобусного парка на газ. Для этой цели компания уже закупила новые автобусы на 45 мест.

Перевод автобусного маршрута полностью на природный газ – результат совместных усилий транспортников и местных властей, направленных на улучшение экологического состояния региона.

В Ленобласти принят закон, согласно которому с 1 января 2019 года оплата транспортного налога у владельцев транспортных средств на природном газе составляет 50 %. В планах администрации региона в ближайшие пять лет перевести на газ коммунальную и дорожно-строительную технику, а также половину парка общественного транспорта.

\*\*\*

На городские маршруты Липецка вышли 11 автобусов, работающих на природном газе (метан). Общая вместимость автобусов марки Volgabus – 65 человек.



Перевозчикам предоставлена господдержка в виде компенсации части затрат на обновление пассажирского парка. На условиях софинансирования из бюджетов города и региона было выделено в 2018 году 66,5 млн рублей. Перевозчиками приобретены 54 автобуса. В 2019 году планируется выделить 71,3 млн рублей.

\*\*\*

В Челябинске тестируют новые автобусы, работающие на сжиженном природном газе. С начала мая на городских маршрутах проходят обкатку три автобуса на СПГ. Заправка топливом осуществляется на передвижных станциях.

Городские власти планируют приобрести 60 новых автобусов на разном топливе, при этом соблюдается принцип – важен не вид топлива, а его соответствие требуемым характеристикам, в числе которых, кроме прочего, наличие необходимой автозаправочной сети.

В настоящее время в Челябинске проходит объявленный министерством экологии региона конкурс «Хочу раскрасить экоавтобус». Жители города могут принять участие в разработке дизайн-макета общественного транспорта на СПГ.

\*\*\*

АВТОВАЗ начал продажи двухтопливной модификации Largus, которая позволит значительно сэкономить на топливе. Largus работает на бензине и на КПП. К штатному бензобаку объёмом 50 л добавили 90-литровый баллон, рассчитанный на 22 кубометра сжатого метана. При полной заправке максимальный запас хода автомобиля превышает 1000 км. Цена Largus – от 728 тыс. рублей.

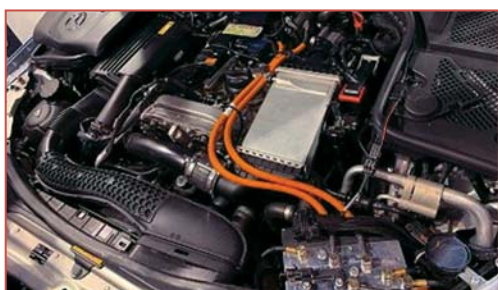
Источники:

сайт Кремля; Прайм-Новости ТЭК;  
РБК Новости автомобильного рынка

# Обзор международного рынка ГМТ

## Страны ЕС

Установка газобаллонного оборудования (ГБО) строго регламентирована правилами Европейской экономической комиссии (ЕЭК) ООН (№ 67 – Пропан, № 110 – Метан, № 115 – Эксплуатация) и правилами таможенного союза 018 ТР. Безопасность транспорта на газе достигается при соблюдении правил.



Vialle Autogas Systems (Нидерланды) по праву занимает лидирующие позиции на рынке ГБО. Компания всегда находится на шаг впереди конкурентов, постоянно работая над усовершенствованием ГБО и разрабатывая инновационные технологии. На одной из выставок газовой аппаратуры был представлен революционный продукт Vialle DirectBlue – ГБО 6-го поколения, которое имеет минимальный набор комплектующих. Компании удалось реализовать идею, когда газ подаётся не по отдельной газовой форсунке, а по родной бензиновой. Технология DirectBlue не вмешивается в настройки впрыска бензина гибридного автомобиля, заложенные его автопроизводителем. Все комплектующие системы как единый модуль интегрируются в топливную систему после бензинового ТНВД (топливный насос высокого давления).

Со стороны специалистов установка такого оборудования потребует минимального вмешательства. Но минусом таких систем является как раз отсутствие специалистов. Второй недостаток – стоимость. Примерная цена комплекта (в зависимости от баллона, типа двигателя и других параметров) – 2...2,5 тыс. евро, что в два раза дороже, чем ГБО 4-го поколения.

## Германия

В Германии предложили оригинальный способ сократить выбросы углекислого газа. На участке автобана между аэропортом Франкфурта и промышленным парком в 10 км от него установили систему воздушных кабелей для электропитания грузового транспорта – eHighway. Специальное оборудование для подключения к eHighway, расположенное на крыше, превращает автомобиль в «грузовой троллейбус». При движении по электрифицированному автобану грузовики могут развивать скорость до 90 км/ч. В «подключённом» режиме автомобили работают за счёт электродвигателя. При движении по обычной трассе –

переходят на гибридную тягу. Преимуществом системы является возможность быстрой интеграции в существующую дорожную инфраструктуру.



В ближайшее время в Германии появятся ещё две электрифицированных трассы. Разработчик eHighway – Siemens. Пилотные проекты eHighway также были реализованы в Швеции и США.

Правительство Германии инвестировало 70 млн евро в производство электромобилей, которые будут использовать eHighway для грузовых перевозок. Экономия для перевозчика может составить до 20 тыс. евро на пробеге в 100 тыс. км.

### Нидерланды

Городские власти Амстердама представили план мероприятий Clean Air Action, ограничивающих поэтапно въезд в город речного, авто- и мототранспорта на бензиновых и дизельных двигателях внутреннего сгорания (ДВС):

- с 2020 года – запретят заезжать в город в пределах кольцевой автомагистрали A10 дизельным автомобилям старше 15 лет (до 2005 года выпуска);
- с 2022 года – закроют въезд в центр Амстердама для автобусов с ДВС;
- с 2025 года – запрет распространится на прогулочные речные суда и скутеры.

Введение новых правил должно способствовать переходу на более экологичные виды транспорта.

### Эстония



Транспортная компания Tallinna Linnatranspordi AS, согласно новой стратегии, планирует заменить старые дизельные автобусы на новые, которые в качестве топлива используют природный газ. Во второй половине 2019 года предприятие закупит 100 автобусов на газе.

В пилотном проекте по переводу общественного транспорта на чистые виды топлива вместе с Tallinna Linnatranspordi участвует Eesti Energia, которая приобретёт 10 электробусов, подготовит необходимую зарядную инфраструктуру и проанализирует работу такого вида транспорта на городских линиях.

Согласно данным Департамента шоссейных дорог правительства Эстонии, в стране зарегистрировано 9500 транспортных средств на природном газе, из них – 8500 используют несколько видов топлива, и 1000 – только газ.

Для обеспечения безопасности газовое оборудование в автомобилях и автобусах подлежит более тщательному контролю и будет проходить частые проверки. Чтобы правильно обслуживать газовое оборудование Tallinna Linnatranspordi планирует отправлять на обучение к производителю слесарей, которые этим будут заниматься.

## Швеция

Газовое оборудование должно устанавливаться правильно, проходить регулярные проверки, соответствовать требованиям, стандартам, условиям по технике безопасности. Газовый баллон всегда устанавливают в наиболее безопасное место. Когда в ДТП попадает автомобиль на газе, и удар приходится на баллон, может случиться непоправимое.

В марте 2019 года в центре Стокгольма произошел взрыв. На въезде в тоннель пассажирский автобус зацепился газовым баллоном за знак ограничения высоты. Вследствие удара баллон взорвался, и начался пожар. В итоге транспортное средство сгорело. На борьбу с огнем пожарные потратили час.

## Литва

15-16 мая 2019 года в Клайпеде прошёл международный форум Klaipeda LNG Forum 2019, посвящённый СПГ. Зарубежные эксперты, участники форума показали широкие возможности использования газа, однако вместе с тем отметили рост конкуренции этому энергоресурсу.



Кань-Ки Ли, старший вице-президент международной компании исследований и развития AVL (Грац, Австрия), считает, что Литве следует быть более гибкой в отношении СПГ и искать конвергенции с выработкой электроэнергии и тепла. Клайпедский терминал сжиженного природного газа (ТСПГ) можно использовать шире для сокращения затрат на его обслуживание. Когда стоимость СПГ растёт, его лучше реализовать как бункеровочное топливо для грузового транспорта или поездов, которые заходят в Клайпеду. Необходимо лишь построить заправочные станции СПГ в ключевых точках транспортных сообщений. При низкой цене СПГ можно использовать для выработки электроэнергии.



Klaipėdos nafta, оператор ТСПГ, утверждает, что такую синергию реализовать пока не сможет.

### Белоруссия

В конце 2019 года Минский моторный завод (ММЗ) может начать выпуск газопоршневого двигателя на базе модели Д-26. Проект разработки новых двигателей внутреннего сгорания, работающих на сжатом природном газе (КПГ) и в перспективе на СПГ, является совместным с российской компанией «РариТЭК Холдинг».

### СУДА на СПГ

С 1 января 2020 года вступают в силу требования Международной морской организации ООН (ИМО) к содержанию серы в судовом топливе. Всё больше заказов на суда различных классов, силовые агрегаты которых работают на СПГ, поступает судостроительным компаниям. Daewoo Shipbuilding & Marine Engineering (DSME) получила новый контракт на строительство газовоза. Судно вместимостью 174 тыс. кубометров СПГ будет передано заказчику из Океании во второй половине 2021 года. На новых судах на СПГ будет использоваться усовершенствованная система фракционного повторного сжижения (A-PRS), снижающая скорость испарения газа и эксплуатационные расходы.

DSME с начала 2019 года получила заказы на пять СПГ-танкеров и шесть нефтяных танкеров.

\*\*\*

Финская технологическая группа Wartsila выиграла контракт на поставку 40 силовых агрегатов, работающих на СПГ, для 12 новых судов, предназначенных для обслуживания морских платформ. Корабли будут построены на судостроительных верфях в Китае, Wuchan Shipbuilding и Liaonan. Первое такое судно получит компания China Oilfield Services (COSL). Лю Хуэй, менеджер группы по управлению судостроительными проектами COSL Shipping, уверен, что рост числа судов, использующих СПГ в качестве топлива, является частью долгосрочного тренда, поэтому COSL избрала своим партнёром Wartsila, компанию с большим опытом в области топливных решений по СПГ.



\*\*\*

Шведская компания Thun Tankers заявила, что установила СПГ-двигатели на свои суда, в том числе на танкеры. На датской верфи Fergus Smit построено судно дедвейтом 8 тыс. т, силовая установка которого может работать на СПГ и биогазе. Ещё одно судно, танкер Thun Lidköping водоизмещением 18,65 тыс. т,

также имеет газовую силовую установку и является головным в серии из пяти судов L-класса, построенных для шведской компании на китайской верфи Avic Dingheng Shipbuilding.

Knud E. Hansen разработала первое поколение сверхбольших судов класса Ro-Ro (для перевозки колёсных грузов – автомобилей, прицепов, мотоциклов), работающих на СПГ. Они предназначены для недавно созданной шведской компании Wallenius-SOL. Серия из четырёх подобных судов будет построена китайской судостроительной компанией Yantai CIMC Raffles Offshore Ltd.

Суда класса 1A Super с ледовой классификацией будут иметь длину около 242 м и грузоподъёмность примерно 27 тыс. т, что делает их крупнейшими в своём классе. Построенные по шведскому проекту на китайской верфи корабли станут первыми в мире судами класса Mega RoRo с двигателями, работающими на СПГ.

\*\*\*



В Нидерландах первое в мире крановое судно с СПГ-двигателем Werkendam принято в эксплуатацию в порту Роттердам. Werkendam может хранить на борту объём СПГ, достаточный для непрерывной работы в течение 14 дней. Судно принадлежит голландской компании Van Oord, специализирующейся на дноуглубительных работах. Проекту оказывает поддержку администрация порта, которая поощряет переход с мазута на СПГ в качестве топлива для судоходства.

\*\*\*

Британская компания Rolls-Royce поставит СПГ-двигатели для норвежских паромов Ro-Max, которые начнут курсировать между городами Берген и Керкенес.

## США

Американский институт нефти (API) и Международная ассоциация производителей нефти и газа (IOGP, Великобритания) опубликовали совместный документ с рекомендациями по увеличению экспорта сжиженного природного газа из США в страны Евросоюза. Рекомендации были выданы в ходе первого энергетического бизнес-форума Энергетического совета ЕС – США.

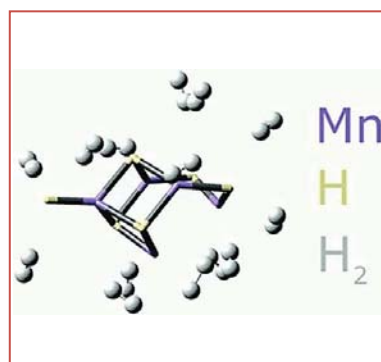
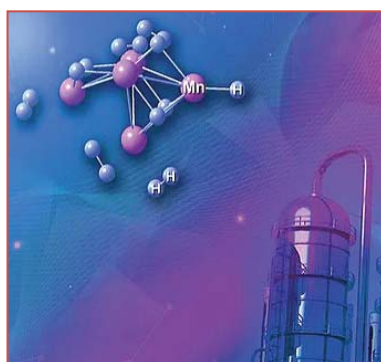
Рекомендации API и IOGP для США включают:

- необходимость совершенствования действующих процедур рассмотрения и выдачи разрешений на экспорт СПГ Федеральной комиссией по регулированию энергетики и Министерством энергетики США;
- интенсификацию усилий властей по продвижению американского СПГ на рынках ЕС;
- выделение тех отраслевых стандартов США, оптимизация которых обеспечит своевременное построение критически важных логистических систем.

Для ЕС рекомендации предусматривают:

- постоянную генерацию сигналов, говорящих об уверенности европейцев в роли газа в энергетической структуре ЕС в среднесрочной и долгосрочной перспективах;
- постоянную работу ЕК со странами ЕС, направленную на повышение взаимосвязанности и стимулирование государственных организаций и предприятий к использованию СПГ и КСПГ на транспорте с целью сокращения выбросов CO<sub>2</sub> и улучшения качества воздуха;
- недопущение разработки чрезмерно ограничительных спецификаций качества газа (в первую очередь в области экологии), которые могут создать ненужные барьеры для входа американского СПГ в рынок ЕС.

\*\*\*



Одна из альтернатив бензину и дизелю – энергия водорода. Но на пути к её использованию стоят размер, стоимость и сложность топливной системы, а также отсутствие инфраструктуры.

В США международной команде исследователей удалось разработать ёмкие водородные элементы. Для молекулярного сита в топливных баках водородных автомобилей был использован гидрид марганца. Новый материал, получивший название КМН-1 (Kubas Manganese Hydride-1), позволяет в четыре раза увеличить дальность пробега водородного автомобиля и в пять раз уменьшить его стоимость. Водородные баки станут меньше, дешевле, удобнее. По показателям водородная топливная система может превзойти аккумуляторную.

Особенность материала – в химическом процессе под названием «связь Кубаса» 1 (Kubas). Он позволяет хранить водород при «комнатной» температуре за счёт увеличения расстояния между атомами водорода внутри молекулы H<sub>2</sub>, но не разрывает связи между атомами, что обычно требует высоких температур, затрат энергии и сложного оборудования.

### Канада

В канадской провинции Альберта реализуется проект Alberta Zero-Emissions Truck Electrification Collaboration (AZETEC). Проект рассчитан на 3 года. Его целью является исследование перспектив использования водородного транспорта для грузовых перевозок. В настоящее время грузовые перевозки обеспечивают почти 70 % спроса на дизельное топливо в Альберте и дают около 12 млн т выбросов парниковых газов в год. Проект AZETEC рассматривает водород в качестве альтернативы дизельному топливу для обеспечения нулевых выбросов и должен



определить необходимость в заправочной инфраструктуре и других системах, которые потребуются Альберте для внедрения этого нового топливного решения.

Одним из участников проекта является Ballard Power Systems, ведущая компания по производству топливных элементов (fuel cell). Топливный элемент

– это сердце водородного автомобиля. В результате химической реакции в топливном элементе водород преобразуется в электрическую и тепловую энергию. Выработанное электричество приводит автомобиль в движение.

В рамках проекта шесть модулей топливных элементов устанавливаются на двух тяжёлых 64-тонных автопоездах. На один грузовой автомобиль – три блока по 70 кВт каждый. Это – самые тяжёлые водородные машины в мире. Транспортные компании Trimac Transportation и Bison Transport начнут перевозить грузы между городами Эдмонтон и Калгари. В модулях топливных элементов использована технология Ballard LCS, которая поступит в продажу в 2019 году.

## Китай

16 апреля 2019 года на Шанхайском автосалоне (Shanghai Auto Show) три прототипа на водороде представила Grove Hydrogen Automotive, стартап 2015 года. Сегодня Grove Hydrogen Automotive – единственная автомобильная компания в Китае, которая специализируется на серийном производстве водородных электромобилей.



К концу 2019 года в рамках государственной программы Grove Hydrogen Automotive подготовит к выпуску 200 новых автомобилей на водороде. С 2021 года планируется 10 тыс. единиц ежегодно. К 2025 году Grove может стать ведущим мировым поставщиком водородного транспорта.

С 2008 года производители и покупатели электромобилей в Китае получали серьёзную поддержку со стороны государства. Субсидии и льготы дали импульс развитию отрасли и привели к рождению электромобильного гиганта – BYD, которая начинала свою историю с выпуска аккумуляторов для мобильных телефонов.

Сейчас правительство Китая оказывает не меньшую поддержку развитию водородного автомобилестроения. Среди достоинств водородных автомобилей – нулевая эмиссия, большой запас хода, быстрая зарядка. Инженеры Grove уверены в технологических преимуществах водородного топлива – экологичности и высокой эффективности потребления энергии. Согласно спецификациям производителя, запас хода водородного автомобиля будет превышать 1000 км.

К тому времени, когда такие автомобили появятся на дорогах, решится проблема с наличием водородных заправок. Правительство страны определило строительство таких станций приоритетным направлением. Ожидается, что в Шанхае к 2025 году их будет 50.

\*\*\*

Китайская авиастроительная корпорация завершила первый этап испытаний пассажирского водородного лайнера Lingque-H. С января 2019 года аппарат на дистанционном управлении выполнил 10 полётов, во время которых тестировалась бортовая система управления электропитанием и распределения энергии в различных конфигурациях: с фиксированным и убирающимся шасси, с T- и V-образным, а также обычным хвостовым оперением. Полученные данные будут использованы при разработке полноразмерного прототипа водородного самолёта. Для производства Lingque-H использовались технологии трёхмерной металлической печати.



Самолёты на топливных элементах будут выполнять дальние полёты без нанесения вреда окружающей среде, так как конечным продуктом работы топливных элементов является вода.

### Израиль–Австралия

Совместное израильско-австралийское предприятие Electriq Global представило новую технологию сохранения водорода в перерабатываемой жидкости, которую можно перевозить так же, как бензин. Такое решение позволит увеличить длину пробега автомобилей на водороде и сократить продолжительность их заправки.

Многие водители готовы отказаться от бензина и дизеля, но батареи электромобилей пугают их высокой стоимостью и слишком медленной зарядкой, которая к тому же не всегда даёт достаточно большого запаса хода. Главные преимущества аккумуляторов перед водородом – в хранении и транспортировке. Плюсом водорода может служить то, что его проще встроить в существующую распределительную инфраструктуру.

Новое топливо Electriq Global соединяет в себе достоинства бензина, водорода и электрических батарей – оно дешёвое, экологически чистое, а также пригодное для переработки и повторного использования. В инновационном топливе водород стабилизирован в жидкости, 60 % которой составляет вода.

Источники:

Сайт Кремля; Прайм-Новости ТЭК; РБК Новости автомобильного рынка; CNN; CNBC Energy; China Daily; агентство BNS; EurekAlert; LNG World News; Energy & Environmental Science

# Перспективные адсорбционные аккумуляторы природного газа для автотранспорта

**А.Ю. Цивадзе**, научный руководитель ИФХЭ РАН, ФГБУН Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН, д.х.н.,

**О.Е. Аксютин**, заместитель председателя правления – начальник департамента ПАО «Газпром», д.т.н.,

**А.Г. Ишков**, заместитель начальника департамента – начальник управления ПАО «Газпром», профессор, д.х.н.,

**И.Е. Меньщиков**, научный сотрудник лаборатории сорбционных процессов ИФХЭ РАН, ФГБУН Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН, к.х.н.,

**А.А. Фомкин**, зав. лабораторией сорбционных процессов ИФХЭ РАН, ФГБУН Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН, д.ф.-м.н.,

**К.В. Романов**, начальник отдела ПАО «Газпром», к.э.н.,

**Р.В. Тетеревлёв**, главный технолог ПАО «Газпром»,

**А.В. Школин**, ведущий научный сотрудник лаборатории сорбционных процессов ИФХЭ РАН, ФГБУН Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН, к.х.н.,

**В.А. Грачёв**, главный научный сотрудник лаборатории высококонцентрированных дисперсных систем ИФХЭ РАН, ФГБУН Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН, д.т.н.

В статье представлен обзор перспективных конструкций резервуаров бортовых систем адсорбционного аккумулирования природного газа (АПГ). Он показал, что на сегодняшний день оптимальной конструкции резервуара для бортовой АПГ-системы не существует по ряду технико-экономических факторов. Все описанные конструкции конформных ёмкостей, несмотря на уникальность, имеют ряд недостатков – это техническая сложность, дороговизна и проблемы, связанные с эксплуатацией, в частности, с вопросами отвода/подвода теплоты при заправке/выдаче газа. В статье также описана идея, представленная ИФХЭ РАН. Эта разработка является перспективной для реализации технологии на базе стандартизованных баллонов. На первом этапе развития АПГ-направления целесообразно ограничиться адаптацией уже существующих технологий в части бортового хранения природного газа, а в дальнейшем обеспечить плавный переход к конструктивным решениям нового типа.

**Ключевые слова:**

адсорбированный природный газ, адсорбенты, адсорбционное аккумулирование газа, бортовые системы хранения газа.

**Н**а сегодняшний день интегрированные газотопливные системы предполагают использование на автомобильном транспорте, кроме бензина и дизельного топлива, также компримированного (КПГ) [1] и сжиженного (СПГ) природного газа [2]. Эти технологии обладают рядом особенностей, связанных с необходимостью создания высоких давлений газа (более 20 МПа) или криогенных температур (111 К), а также с вопросами пожаро- и взрывобезопасности.

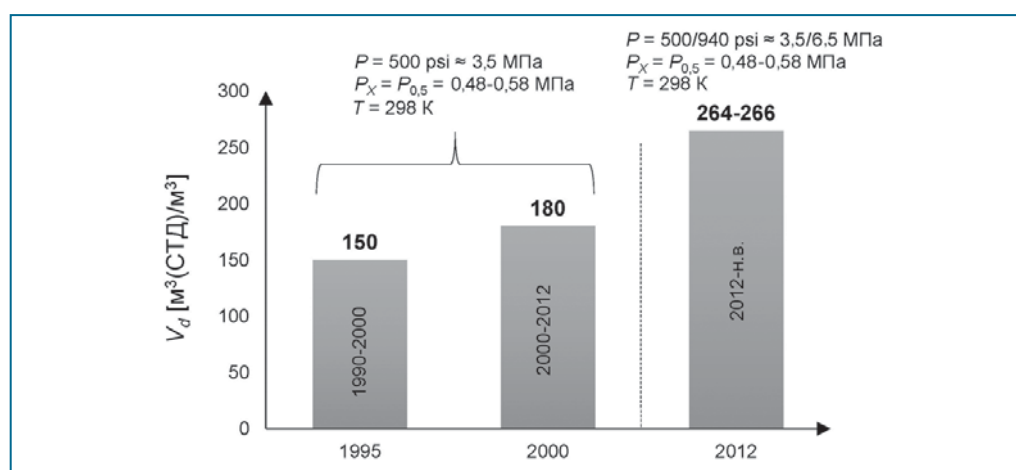
Системы адсорбированного природного газа (АПГ) призваны стать выгодной и эффективной альтернативой названным выше системам благодаря ряду выдающихся технико-экономических показателей [3]:

1. Аккумуляция и хранение природного газа происходит в герметичных ёмкостях при пониженных давлениях в связанном (адсорбированное) состоянии в интервале общепромышленных температур от 233 до 323 К – то есть отсутствует необходимость проведения специальных дорогостоящих мероприятий для хранения газа (в сравнении с системами сжиженного природного газа или аккумуляирования метана в газогидратном состоянии). Принципиально технология заправки АПГ не отличается от той, которая применяется для систем КПГ, что означает отсутствие необходимости в создании специальной заправочной инфраструктуры.

2. Энергоэффективность адсорбционных систем – то есть пониженные энергетические затраты при заправке (до 20...30 %) по сравнению с КПГ ввиду возможности работы систем при пониженном давлении вплоть до 3,5 МПа без потери абсолютной эффективности хранения, а также отсутствие энергетических затрат и потерь топлива при хранении метана.

3. Повышенная пожаро- и взрывобезопасность ввиду особых условий взаимодействия метана (адсорбат) с пористым материалом: сильное диспергирование метана в микропорах адсорбента за счёт поля адсорбционных сил.

Центральным звеном технологии АПГ является специальный пористый материал, обеспечивающий высокие удельные объёмные показатели системы хранения – более 250 м<sup>3</sup> метана (293 К; 0,1 МПа) на кубометр аккумулятора. Показателем эффективности системы аккумуляирования метана является её активная удельная



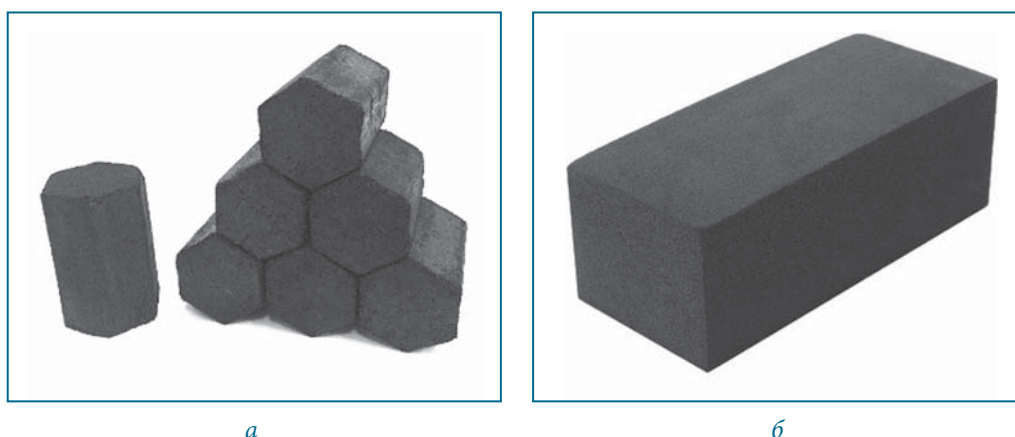
**Рис. 1.** Целевые показатели адсорбционных систем хранения природного газа (метан) по активной удельной ёмкости  $V_d$  [3] (СТД – 293 К; 0,1 МПа)

**Примечание.** СТД – стандартная температура и давление по ИЮПАК: стандартное давление для газов, жидкостей и твёрдых тел составляет 105 Па (100 кПа, 1 бар); стандартная температура для газов равна 273,15 К (0 °C, 32 °F)

вместимость  $V_d$ , или, иными словами, количество извлекаемого газа из системы при снижении давления от рабочего до минимального эксплуатационного.

На рис. 1 продемонстрирована динамика изменения целевых показателей систем АПГ, установленных Агентством по научным исследованиям Минэнерго США в период с 1995 по 2012 год.

Из рис. 1 следует, что удельная активная вместимость АПГ-системы на уровне 264...266 м<sup>3</sup>(СТД)/м<sup>3</sup> ( $T=273,15$  К,  $p=0,1$  МПа) должна обеспечиваться при отборе газа на перепаде давлений от 3,5...6,5 до 0,48...0,58 МПа – это предъявляет особые требования к применяемому адсорбенту. Так, ключевой особенностью АПГ-систем является целесообразность применения адсорбентов повышенной насыпной плотности и прочности в формованной конфигурации в виде блоков разной формы, которыми снаряжается адсорбер (рис. 2).



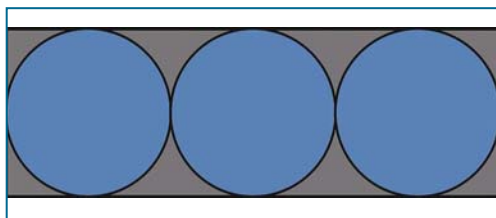
**Рис. 2.** Блоки углеродного адсорбента для снаряжения бортовой АПГ-системы в виде гексагона (а) или прямоугольного параллелепипеда (б) [4]

Таким образом, не менее важной задачей при разработке высокоэффективных бортовых систем хранения природного газа является выбор конфигурации самого резервуара-адсорбера, представляющего собой сосуд для хранения газа с оптимальной для снаряжения формованным адсорбентом конструкцией. В отличие от жидкого топлива, такого как бензин или дизель, хранение которых может быть адаптировано под конфигурацию топливного бака любой формы, интегрированного с учётом конструктивных особенностей транспортного средства, для бортового хранения природного газа в сверхкритическом, то есть газообразном состоянии, ситуация обстоит иначе.

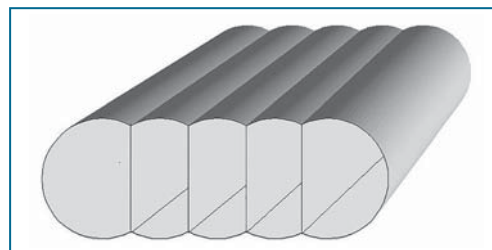
Известно, что для обеспечения прочностных характеристик сосуда высокого давления чаще всего изготавливают цилиндрическими и сферическими, реже тороидальными. Эта конструктивная особенность обеспечивает равномерное распределение нагрузки от внутреннего давления на оболочку, а также снижает количество концентраторов напряжений, что позволяет сделать стенки сосудов более тонкими и, как следствие, менее металлоёмкими. Дело в том, что цилиндрическая и сферическая формы сосудов, являющиеся основными для хранения газов при высоких давлениях, обладают одним важным недостатком. Цилиндрические и сферические резервуары, занимая объём пространства, форма и габариты которого соответствуют кубу, приводят к потере в полезном объёме на величину около 25 и 50 % соответственно (рис. 3). В соответствии с программой MOVE (Methane Opportunities for Vehicular Energy), старт которой был дан



агентством по научным исследованиям Минэнерго США под названием ARPA-E (The Advanced Research Projects Agency-Energy), установлены целевые показатели к коэффициенту приспособляемости или «конформности» (conformability factor) адсорбера (доля полезного объема), который должен быть не менее 90 % (0,9) [5].



**Рис. 3.** Демонстрация потери доли полезного объема (серая заливка) при применении батареи цилиндрических сосудов (голубая заливка) [5]



**Рис. 4.** Концептуальная модель бортового адсорбера оптимизированной (конформная) конструкции [5]

Таким образом, для обеспечения высокой эффективности бортовой системы АПГ по удельным объемным характеристикам, в частности по  $V_d$ , а также по габаритным параметрам необходима разработка аккумуляторов специальной конструкции, зачастую в экстраординарной форме. На рис. 4 представлена концептуальная модель корпуса бортовой системы [5], выполненного в виде сварного массива секторов цилиндров (полутрубы), что обеспечивает требуемые прочностные характеристики. Вертикальные ребра внутри корпуса выполняют роль упрочняющих элементов, препятствующих «вздутию» адсорбера, а также функцию направляющих сот для блоков адсорбционного материала и теплопроводящего оребрения, что не менее важно, так как процесс заправки/выдачи газа сопровождается выделением/поглощением теплоты. В соответствии с моделью, корпус в конечном итоге выполнен в форме плоской плиты, что обеспечивает высокие эргономические характеристики резервуара для расположения, например, в багажном отсеке автомобиля, не снижая полезный объем.

Ниже представлен краткий обзор конструктивных решений в области создания эффективных аккумуляторов адсорбированного природного газа (метан) на транспорте.

Одним из первых опытных образцов бортовой системы аккумулярования природного газа стала система, разработанная в 1997 году группой AGLARG (Atlanta Gas Light Adsorbent Research Group), которая участвовала в запуске



**Рис. 5.** Прототип бортовой системы хранения природного газа метана на основе углеродного адсорбента (1997 год). Корпус выполнен из алюминия путём экструзии [6]

программы исследований в этом направлении (рис. 5). Конструкция изделия была изготовлена из алюминиевого сплава путём экструзии, а рабочее давление варьировалось в интервале от 3,5 до 4 МПа. В качестве адсорбционного материала использовался активный уголь из косточки персика. Результаты полевых испытаний системы на автомобиле Dodge Dakota показали, что активная удельная вместимость системы достигает уровня  $142 \text{ м}^3(\text{СТД})/\text{м}^3$ . К недостаткам аккумулятора следует отнести высокую трудоёмкость и стоимость изготовления изделия.



Рис. 6. Адсорбер фирмы Cenergy Solutions

Аналогичная система АПГ, смонтированная в багажнике автомобиля, представлена на рис. 6.

На рис. 7 представлен опытный образец бортового аккумулятора метана, разработанного в университете Миссури (США), в рамках научно исследовательского проекта.

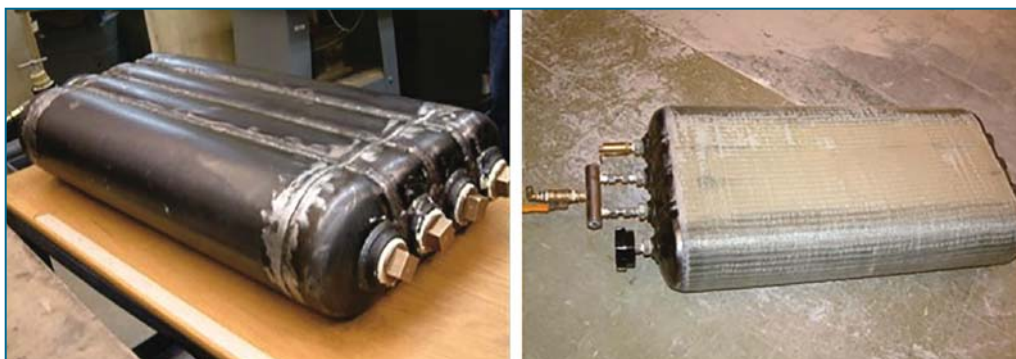
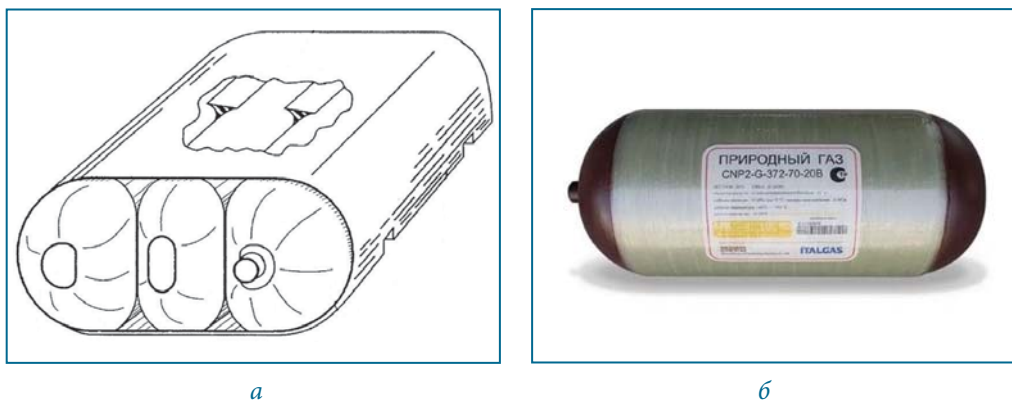


Рис. 7. Прототип композитного бортового аккумулятора адсорбированного природного газа, разработанный в университете Миссури [5, 7, 8]

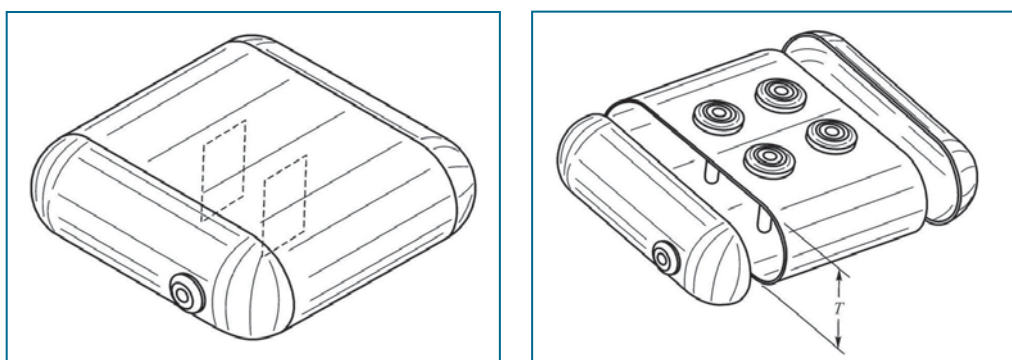
Аккумулятор изготовлен путём сварки металлических цилиндрических частей между собой, при этом для дополнительного упрочнения изделия был предусмотрен усиливающий пояс из композиционного материала. Однако к недостатку такой конструкции следует отнести снижение теплоотдачи, что связано с более низкой теплопроводностью композитной обёртки по сравнению со сталью. В работе [8] отмечается, что заправка АПГ-системы объёмом 40 л до полной объёмной вместимости в адиабатических условиях приводит к тому, что температура может повыситься на  $90 \text{ }^\circ\text{C}$ , а давление до 4,6 МПа, что почти на  $1/3$  выше номинального рабочего давления.

Конструкция композитного конформного резервуара, запатентованная Блэром (рис. 8а) [5], и обычного коммерческого металл-композитного баллона (рис. 8б) также приводит к той же проблеме плохой теплопроводности из-за обёртывания внешним композитным слоем.

Лин и Сьюй [9] запатентовали конформный резервуар, который состоит из корпуса, имеющего по существу плоские верхнюю и нижнюю стенки, соединённые цилиндрическими боковинами, и пары противоположных закруглённых со всех сторон крышек, как показано на рис. 9.



**Рис. 8.** Прототип композитного бортового аккумулятора адсорбированного природного газа (а) [5]; коммерческий металл-композитный баллон для КПП (б)

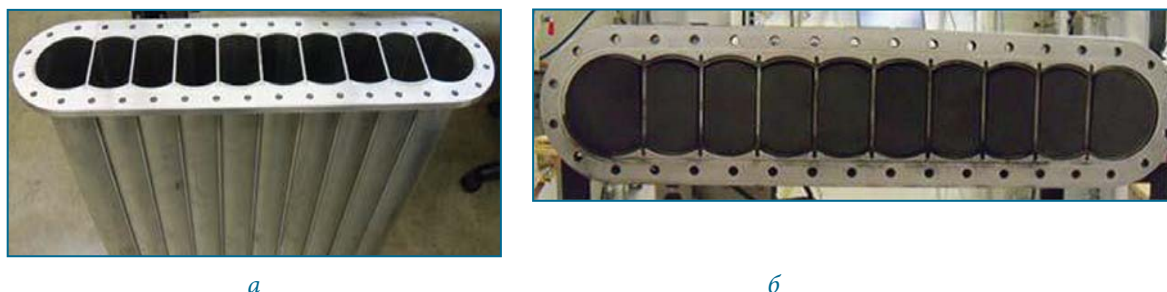


**Рис. 9.** Эскиз конформного адсорбера для бортовой АПГ-системы [9]

В качестве усиливающих элементов, предотвращающих «вздутие» плоских стенок корпуса адсорбера, предусмотрена установка усиливающих штанг. Этот резервуар сконструирован и пригоден для применения в АПГ-системах и имеет индекс конформности приблизительно 0,9 (90 %).

В рамках проекта НИОКР, выполняемого группой учёных университета Миссури, был разработан прототип адсорбера-аккумулятора метана для интеграции в топливную систему газомоторного автомобиля (рис. 10). Разработанный аккумулятор представляет собой конструкцию из алюминиевых цилиндрических листов, сваренных между собой, которая имела объём 40 литров. Важной конструктивной особенностью сосуда является разъёмное фланцевое присоединение боковых крышек к корпусу, что вызывает ряд сомнений с точки зрения обеспечения герметичности. В соответствии с данными проведённых тестов, удельная вместимость систем составляла  $154 \text{ м}^3(\text{СТД})/\text{м}^3$ .

Ввиду экстраординарности конструкций специальных адсорберов привлекательной перспективой остаётся возможность адаптации стандартизованных сосудов высокого давления для применения в системах АПГ, что безусловно являлось бы преимуществом с точки зрения ряда технико-экономических показателей. Особенно актуальной эта концепция представляется для использования в большегрузных автомобилях и автобусах, где показатель конформности является вторичным фактором эффективности. На рис. 11 представлены фотографии бортовой системы, состоящей из батареи цилиндрических сосудов, соединённых параллельно в общую газовую магистраль, установленную в кузове Ford 150. Система разработана и активно продвигается американской компанией ANGP.



**Рис. 10.** Конструкция конформного адсорбера для бортовой АПГ-системы без адсорбента (а) и с адсорбентом (б), разработанная в рамках проекта НИОКР в университете Миссури (США) [8]

Однако в конкретной системе в качестве адсорбирующего материала предложены блоки цилиндрической формы, что означает необходимость разъёма сосуда перед окончательной сборкой.

Для адаптации же существующих заводских баллонов целесообразной представляется концепция, разработанная в ИФХЭ РАН, где предложена идея заполнения цилиндрических баллонов адсорбционными блоками гексагональной формы через широкую горловину. На рис. 12 представлена внутренняя укладка формованных блоков адсорбента в системе хранения цилиндрического сечения на базе стандартного баллона БП-100-14.7-317/1525 (Орский машиностроительный завод), имеющего диаметр горловины порядка 52 мм. Изначально баллон рассчитан на давление 14,7 МПа, что ниже по сравнению с баллонами для КПП, а это, в свою очередь, выгодно для использования в АПГ-системах, изначально работающих при более низких давлениях. Кроме того, размер входного отверстия позволяет установить внутрь баллона систему охлаждения в виде теплообменника (рис. 12, центральная часть).



в

**Рис. 11.** Бортовая система аккумуляции природного газа, выполненная в виде батареи цилиндрических сосудов, установленной в кузове автомобиля Ford 150 (а и б), а также блоки адсорбционного материала (в) компании ANGP (США) [10]



**Рис. 12.** Сотовая структура укладки формованных шестигранных блоков адсорбента в системе хранения цилиндрического сечения на базе стандартного баллона БП-100-14.7-317/1525 (ОМЗ), разработка ИФХЭ РАН [4]

Так, например, выглядит идея, представленная ИФХЭ РАН. Таким образом, на первом этапе развития АПГ-направления следует ограничиться адаптацией уже существующих технологий, а в дальнейшем обеспечить плавный переход к конструктивным решениям нового типа.

### Выводы

Выполненный обзор перспективных конструкций резервуаров бортовых АПГ-систем показал следующее. На сегодняшний день оптимальной конструкции резервуара для АПГ-системы не существует по ряду технико-экономических факторов. Все описанные выше конструкции конформных ёмкостей, несмотря на уникальность, имеют ряд недостатков – это техническая сложность, дороговизна и проблемы, связанные с эксплуатацией, в частности, с вопросами отвода/подвода теплоты при заправке/выдаче газа. В свою очередь, перспективной является идея реализации технологии на базе стандартизованных баллонов.

### Использованные источники

1. Золотницкий В.А. Автомобильные газовые топливные системы. – М: Астрель, 2009. – 128 с.
2. Сердюков С.Г., Ходорков И.Л., Борискин В.В. К Российской программе газификации на основе сжиженного природного газа (СПГ) «Сжиженный природный газ – моторное топливо». Вып. 1. – СПб.: Изд-во ОАО «Газпром»; ДП «Лентрансгаз», 1998.
3. Tsivadze A.Yu., Aksyutin O.E, Ishkov A.G., Men'shchikov I.E., Fomkin A.A., Shkolin A.V., Khozina E.V., Grachev V.A. Russ. Chem. Rev., 87, 950 (2018).
4. Men'shchikov I.E., Fomkin A.A., Tsivadze A.Yu., Shkolin A.V., Strizhenov E.M., Khozina E.V. Adsorption accumulation of natural gas based on microporous carbon adsorbents of different origin // Adsorption J. – April 2017. – Volume 23, Issue 2. – P. 327-339.
5. DOI 10.1007/s11465-016-0381-2
6. Pfeifer P. Advanced natural gas fuel tank project. In: Proceedings of Natural Gas Vehicle Technology Forum. – San Francisco, 2011.
7. Pfeifer P., Burrella J.W., Wood M.B. et al. High-surface-area biocarbons for reversible on-board storage of natural gas and hydrogen. In: Fthenakis V., Dillon A., Savage N., eds. MRS Proceedings. Volume 1041. – Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
8. Xu H., Lin Y. Optimal Design of Conformable Adsorbed Natural Gas Tank. University of Missouri Project Report, 2013.
9. Lin Y., Xu H. US Patent Application, 2014 0166664 A1, 2014-06-19.
10. Электронный ресурс: <https://www.angpinc.com>. Дата обращения: 17.04.2019.

# Моделирование рабочего процесса и локального теплообмена в двухтопливном двигателе

## Часть 2: Теплонапряжённое состояние распылителя форсунки

**Р.З. Кавтарадзе**, профессор кафедры «Поршневые двигатели» МГТУ им. Н.Э. Баумана, д.т.н.,  
**Д.О. Онищенко**, профессор кафедры «Поршневые двигатели» МГТУ им. Н.Э. Баумана, д.т.н.,  
**А.А. Зеленцов**, доцент кафедры «Поршневые двигатели» МГТУ им. Н.Э. Баумана, к.т.н.,  
**А.В. Козлов**, заведующий отделом ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ», д.т.н.,  
**А.С. Голосов**, заведующий сектором ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ», к.т.н.

Окончание. Начало см. в № 2 (68) 2019 г.

В работе рассматриваются особенности локального теплообмена в перспективном двухтопливном двигателе, работающем на природном газе с воспламенением от запальной дозы дизельного топлива. Моделирование рабочего процесса и локального теплообмена в камере сгорания проводится на основе трёхмерных нестационарных уравнений количества движения, энергии, диффузии и неразрывности, записанных в форме Рейнольдса и дополненных  $k-\zeta-f$  моделью турбулентности. Одновременное сгорание газового и дизельного топлив описывается с использованием модели сгорания когерентного пламени (CFM), дополненной моделью зажигания от запальной дозы дизельного топлива. Расчёты проводились с помощью трёхмерного программного пакета AVL FIRE. В результате определены граничные условия второго (локальные тепловые потоки), а также третьего (коэффициенты теплоотдачи и температуры газа) рода с учётом реальной геометрии камеры сгорания и процессов газообмена. Получены локальные тепловые нагрузки на распылитель форсунки, смоделировано его теплонапряжённое и деформированное состояние.

### Ключевые слова:

поршневой двигатель, газодизель, природный газ, локальный теплообмен, математическое моделирование.

## Определение термических граничных условий для расчёта теплонапряжённого состояния распылителя форсунки

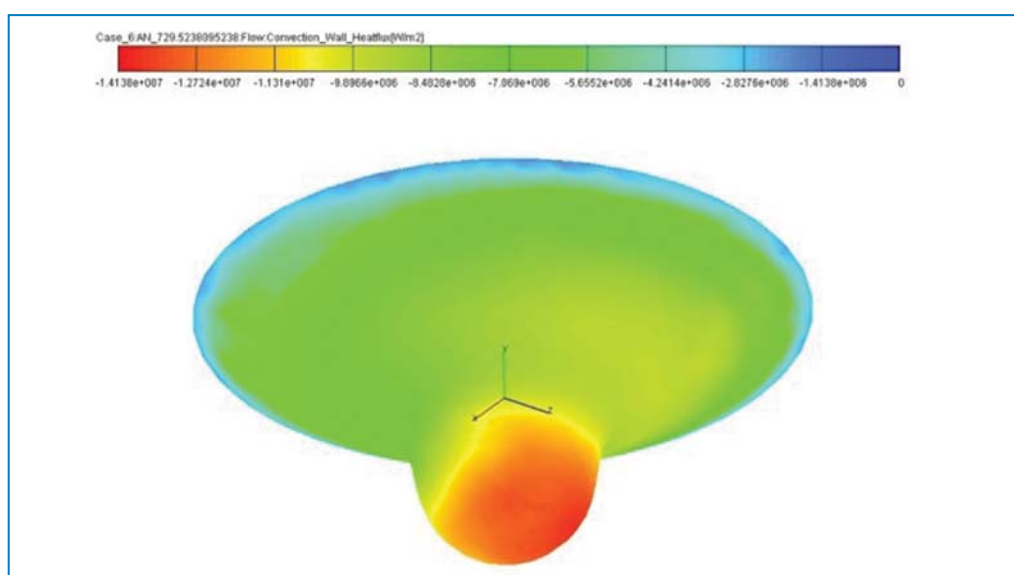
Моделирование тепловых нагрузок на тепловоспринимающих поверхностях деталей, образующих камеру сгорания (КС), в 3D-моделях рабочего процесса, как уже было отмечено в первой части статьи, основано на теории турбулентного пограничного слоя.

В пристеночных областях скорость и характер течения газа влияют на толщину динамического и теплового пограничных слоёв и, как следствие, на локальный теплообмен на соответствующих поверхностях. Интенсивность теплообмена в пристеночной области определяется не только толщиной пограничного слоя, но и градиентом температуры в поперечном направлении этого слоя.

В результате расчёта получено количество теплоты, отводимое в детали, образующие камеру сгорания (поршень, гильза цилиндра, крышка двигателя). На рис. 8 даны осреднённые по суммарной площади поверхности значения количества теплоты в зависимости от УПКВ, а на рис. 9 – локальные мгновенные значения тепловых потоков в распылитель форсунки, определённые по локальным величинам температуры и толщины пограничного слоя вблизи её поверхности.

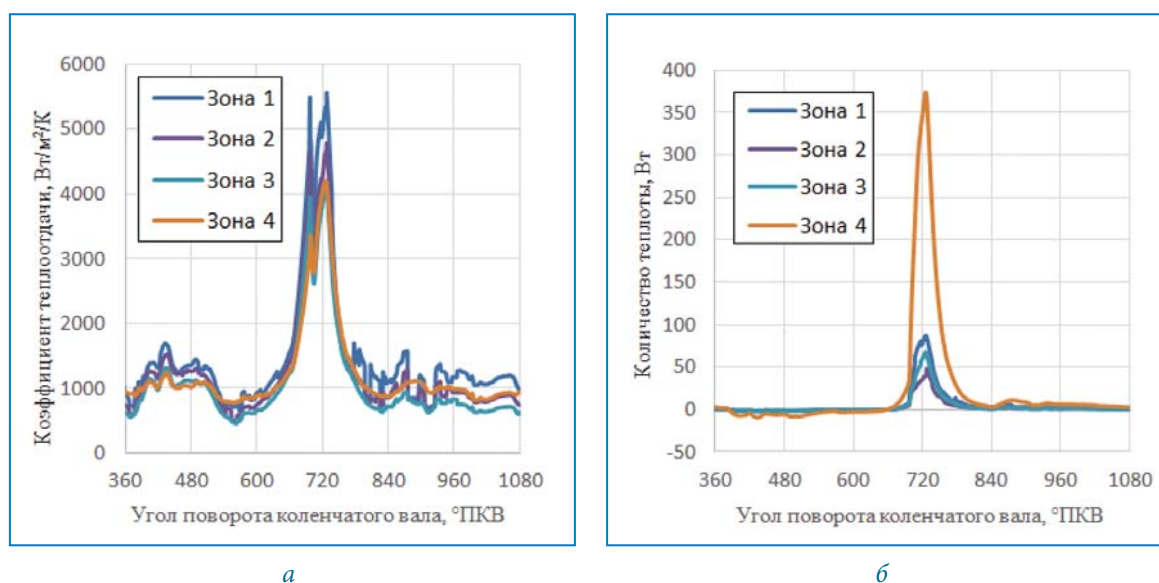


**Рис. 8.** Количество теплоты, отведённое в стенки камеры сгорания двухтопливного двигателя



**Рис. 9.** Локальные мгновенные значения тепловых потоков в распылитель форсунки при  $\varphi = 730$  °УПКВ

Альтернативным представлением тепловой нагрузки на распылитель форсунки является вывод результатов в виде граничных условий 3-го рода (для последующего расчёта ТНДС): коэффициентов теплоотдачи  $\alpha$  (рис. 10а) и локальных температур газа за пограничным слоем (см. рис. 5). Для анализа также представлены значения количества теплоты (рис. 10б) по зонам, выделенным на поверхности распылителя форсунки (см. рис. 2б).



**Рис. 10.** Распределение коэффициентов теплоотдачи (а) и количества теплоты (б), переданного в распылитель форсунки, осреднённых по зонам 1...4 (см. рис. 2б), в зависимости от угла поворота коленчатого вала газодизеля

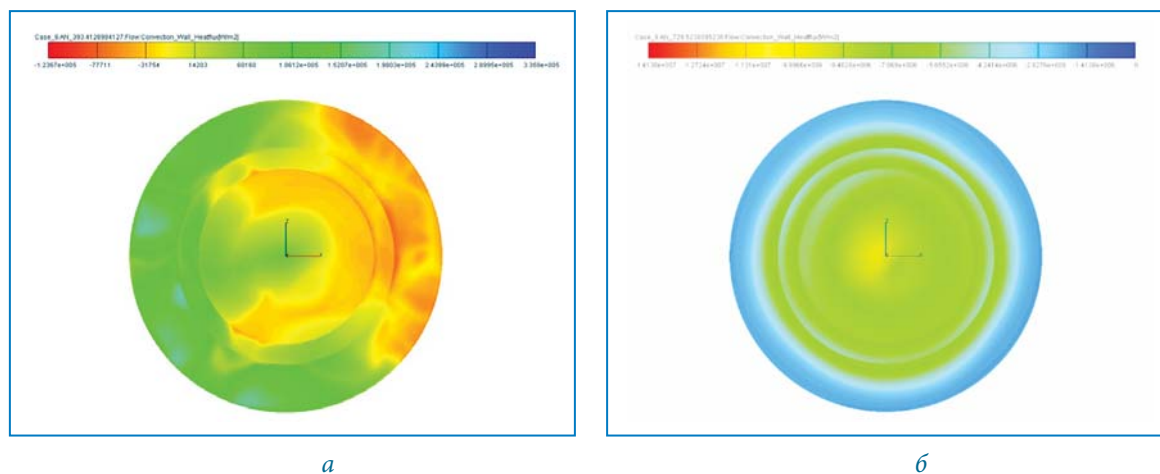
Стоит отметить, что если на периферии крышки и огневого днища поршня изменение этого коэффициента характеризуется одним максимумом, то в центральной области головки цилиндра, в месте расположения форсунки, таких максимумов два (см. рис. 10а). Первый максимум достигается до верхней мёртвой точки, второй – за ней, при этом значения этих максимумов для наконечника распылителя (зоны 1 и 2) оказываются близки по величине, для зон 3 и 4 – существенно отличаются. Вызвано это тем, что к зонам 3 и 4 (скругление и периферийная часть распылителя), оказывается, затруднён доступ горячих газов в первой фазе сгорания (активное горение запальной дозы дизельного топлива). Затем, по мере развития процесса горения основного топлива (природный газ), происходят проникновение горячих газов в пристеночную область и интенсификация теплоотдачи в поверхность распылителя (второй максимум на кривой изменения коэффициента теплоотдачи  $\alpha$  в зависимости от угла  $\phi$  ПКВ, рис. 10а). На процесс теплоотдачи также оказывает влияние смена направления потока газа после прохождения поршнем ВМТ.

Следует отметить, что данные результаты хорошо согласуются с ранее полученными распределениями коэффициентов теплоотдачи для двигателя с искровым зажиганием на традиционном топливе [13, 14].

В двухтопливном двигателе по сравнению с базовым дизелем имеет место более равномерное распределение тепловых потоков по поверхности огневого днища поршня после начала процесса сгорания (как в двигателях с воспламенением от электрической искры). До воспламенения топливоздушная смесь имеет



место ярко выраженная неравномерность распределения  $q_w$ , вызванная процессами газообмена (рис. 11а, б).



**Рис. 11.** Тепловые потоки на поверхности огневого днища поршня при газообмене (а, соответствует  $\varphi = 393$  °УПКВ) и сгоранию (б, соответствует  $\varphi = 730$  °УПКВ)

Полученные параметры теплоотдачи позволяют провести оценку теплонапряжённого состояния деталей двигателя с использованием метода конечных элементов. Термические граничные условия для текущих значений времени (или угла поворота коленчатого вала), полученные с помощью FIRE, применимы к фиксированному трёхмерному конечно-элементному разбиению деталей (поршень, головка цилиндра, гильза, распылитель форсунки). При этом наложение граничных условий в расчётной ячейке (в контрольном объёме), лежащей на поверхности детали, осуществить несложно, так как разрешение контрольно-объёмной сетки обычно выше, чем конечно-элементной, что обусловлено спецификой решаемых задач для газа и для твёрдого тела [15].

На установившихся режимах работы температура тела колеблется только в тонком приповерхностном слое, в основном объёме тела температурные поля считаются стационарными. В таком случае для задания граничных условий используется метод, предложенный Г. Эйхельбергом, согласно которому действительные (нестационарные) тепловые потоки заменяются некоторыми результирующими (эквивалентные) стационарными потоками [5]. Определённые таким образом граничные условия 3-го рода (коэффициенты теплоотдачи, осреднённые по площади соответствующей зоны поверхности распылителя форсунки и по углу поворота коленчатого вала) и результирующие температуры газа для каждой зоны представлены в табл. 1.

Таблица 1

### Граничные условия 3-го рода со стороны камеры сгорания для расчёта теплового состояния распылителя форсунки

Параметр	Зоны			
	1	2	3	4
Коэффициент теплоотдачи, $\alpha_{cp}$ , Вт/м <sup>2</sup> ·К	1874	1600	1409	1537
Результирующая температура газа, $T_{рез}$ , К	784	917	1042	955

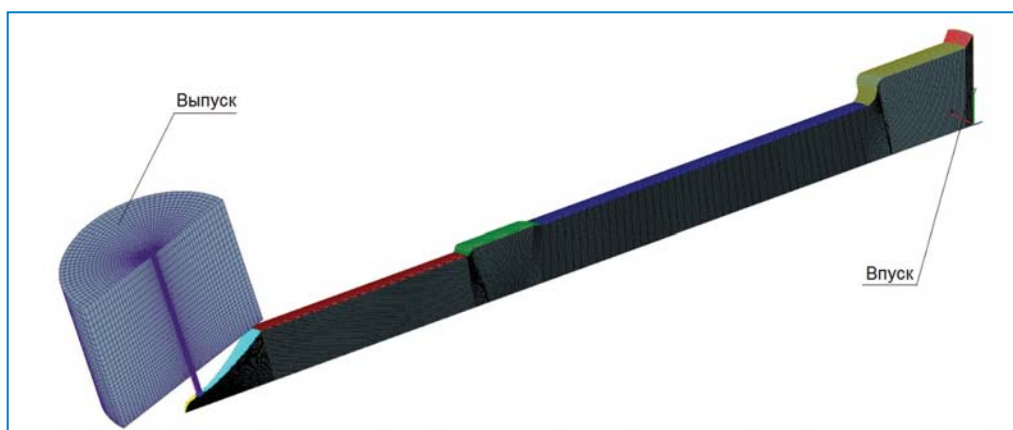
Необходимо отметить, что существенное превышение количества теплоты, отводимого в зону 4 (см. рис. 10б), по сравнению с остальными зонами объясняется, прежде всего, большей её площадью. Условия теплообмена в этой области, как следует из табл. 1, сопоставимы с зоной 3, приходящейся на скругление (см. рис. 2а), а процессы теплообмена существенно уступают по интенсивности процессам, проходящим в областях на кончике распылителя (зоны 1 и 2).

Полученные коэффициенты теплоотдачи со стороны рабочего тела в цилиндре двигателя и температуры газа за пограничным слоем используются для определения теплового состояния распылителя форсунки.

## Моделирование теплонпряжённого состояния распылителя форсунки двухтопливного двигателя

Моделирование теплоотдачи от топлива в корпус распылителя форсунки во время процесса впрыскивания проводится в два этапа: сначала определяются параметры теплоотдачи при впрыскивании (в рассматриваемом двухтопливном двигателе продолжительность подачи дизельного топлива  $\varphi_{\text{впр}} = 3$  °УПКВ), затем полученные значения осредняются за весь цикл работы двигателя (720 °УПКВ).

Расчётная модель в этом случае представляет собой внутренний объём распылителя форсунки с отверстиями. Для сокращения времени расчётов берётся половина сектора с одним отверстием (рис. 12).



**Рис. 12.** Разбиение расчётной области (1/16 внутреннего объёма распылителя форсунки) на КО (количество КО равно 560 160 при максимальном размере элементов 0,28 мм, минимальном – 0,0038 мм)

На выходе из отверстия для корректного моделирования истечения топлива достраивается цилиндрический объём (стенки и противоположная от отверстия в распылителе поверхность цилиндра задаются в расчёте как выпуск).

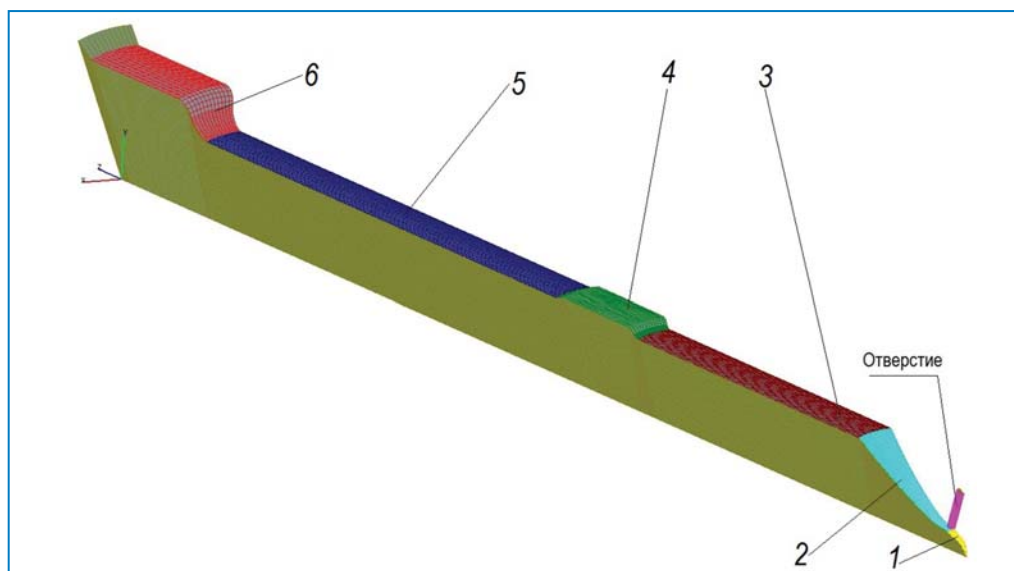
В качестве граничных условий на впуске задаются давление впрыскивания ( $p = 160$  МПа) и температура топлива (350 К), на выпуске – давление в цилиндре газодизеля в момент подачи топлива (5,4 МПа). Начальные условия для внутреннего объёма форсунки такие же, как и на впуске – давление (160 МПа) и температура топлива (350 К), в цилиндрическом объёме на выпуске из отверстия распылителя – давление и температура газа в цилиндре (5,4 МПа и 806 К). Отдельно указывалось, что в начальный момент расчёта в объёме распылителя форсунки присутствует в основном (99,98 %) жидкое топливо, в цилиндрическом объёме на выпуске –

воздух и испарившееся топливо (также 99,98 %). Оставшиеся 0,02 % в первом случае приходится на испарившееся топливо и воздух, во втором – на топливо в жидкой фазе.

На боковых поверхностях сектора задаются условия симметрии. Для корректного моделирования течения жидкости в отверстии распылителя при построении сетки проводится её измельчение (минимальный размер ячеек в этом случае, как было указано, достигает 0,0038 мм).

В процессе расчёта также контролировался расход на выходе из соплового отверстия в распылителе (поскольку в явном виде в качестве граничных условий расход не задавался), его величина должна составлять 3,5 г/с для каждого из восьми отверстий (на режиме  $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$  и цикловой подаче запальной дозы дизельного топлива, равной 10 мг/цикл, при условии продолжительности впрыскивания топлива  $\varphi_{\text{впр}} = 3^\circ \text{УПКВ}$ ).

Для определения коэффициентов теплоотдачи на внутренних поверхностях распылителя форсунки выделяются соответствующие зоны (рис. 13).



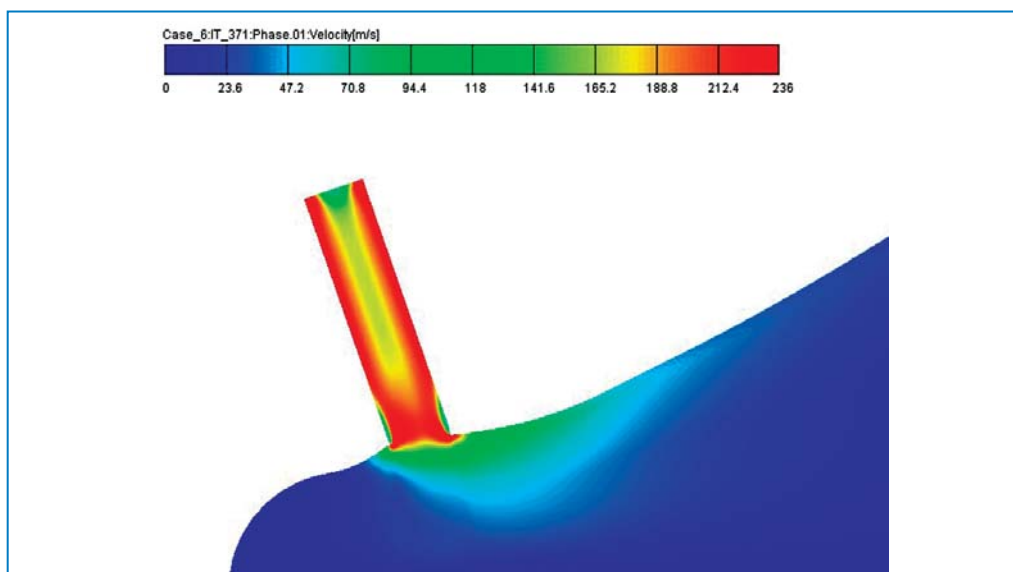
**Рис. 13.** Выделение зон на внутренней поверхности распылителя форсунки для определения коэффициентов теплоотдачи

Результаты расчёта (поля скоростей, коэффициенты теплоотдачи на внутренних поверхностях) приведены на рис. 14 и 15. Осреднённые значения коэффициентов теплоотдачи и тепловых потоков в момент окончания расчёта для стационарной задачи даны в табл. 2.

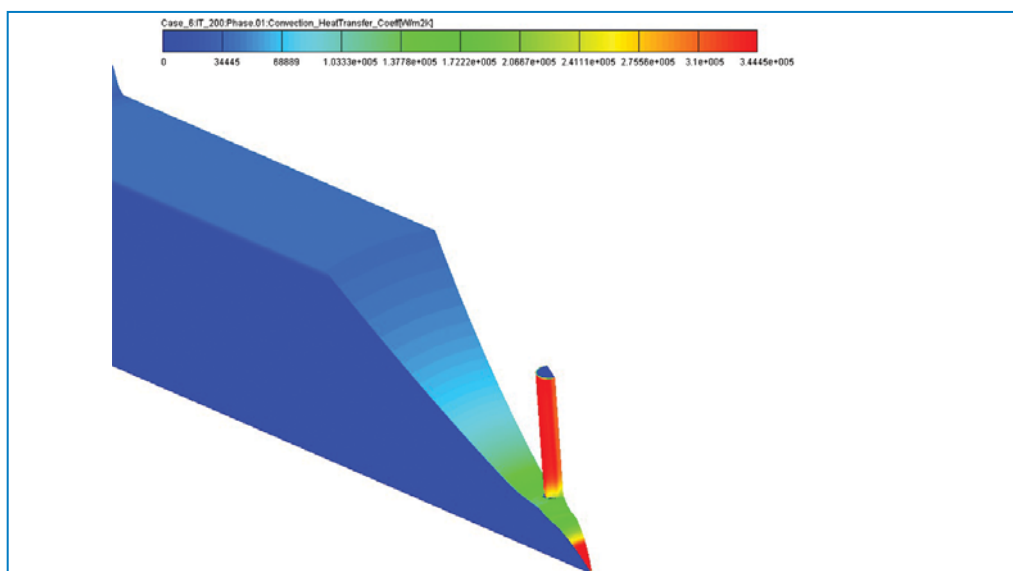
Таблица 2

### Результаты расчёта теплоотдачи со стороны топлива в распылителе форсунки при впрыскивании

Параметр	Отверстие	Зоны					
		1	2	3	4	5	6
Коэффициент теплоотдачи, $\text{т}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$	344 446	257 375	71 032,9	39 212,8	34 436,3	35 385,5	30 507,9
Мощностной тепловой поток в стенку, Вт	24,6	3,3	23,8	42,7	15,5	64,9	25,1



**Рис. 14.** Поле скоростей (жидкая фаза) в распыляющем отверстии форсунки при впрыскивании дизельного топлива



**Рис. 15.** Локальные значения коэффициентов теплоотдачи в распыляющем отверстии форсунки при впрыскивании дизельного топлива

Полученные значения осредняются за весь цикл работы двигателя (720 °ПКВ), при этом коэффициенты теплоотдачи  $\alpha$  в момент, когда впрыскивание дизельного топлива не осуществляется, принимаются равными 1000 Вт/(м<sup>2</sup>·К). Итоговые значения  $\alpha$  даны в табл. 3.

Полученные термические граничные условия используются для расчёта теплового и теплонпряжённого состояния (ТНДС) распылителя форсунки. При изготовлении корпуса распылителя используется сталь ХВГ ГОСТ 5950–2000, предел текучести которой достигает  $\sigma_T = 780$  МПа.

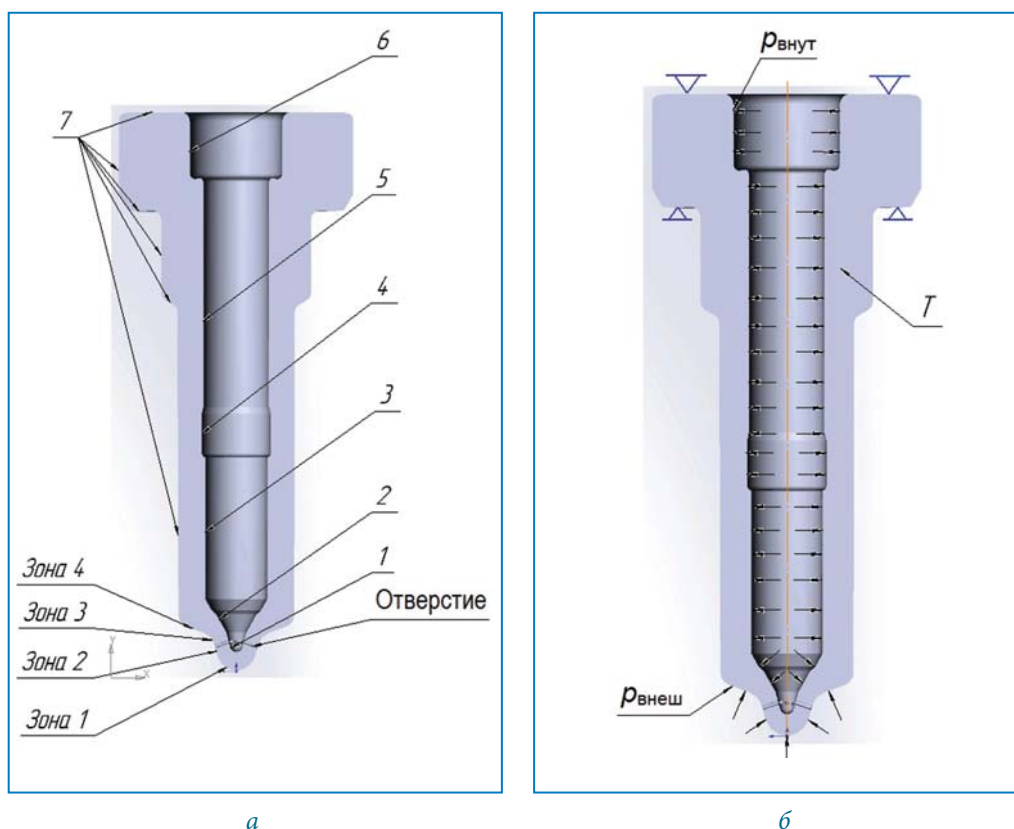
Расчёт ТНДС ведётся в два этапа: на первом рассчитывается температурное поле с учётом тепловых нагрузок со стороны горячих газов в цилиндре двухтопливного двигателя, со стороны головки цилиндра и со стороны топлива внутри форсунки.

Таблица 3

Значения граничных условий 3-го рода на внутренних поверхностях форсунки с учётом продолжительности процесса впрыскивания топлива ( $\varphi_{\text{впр}} = 3$  °УПКВ)

Зона	Коэффициент теплоотдачи, Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	Температура топлива, К
Отверстие	2431	350
1	2068	350
2	1292	350
3	1159	350
4	1139	350
5	1143	350
6	1123	350

В последнем случае учитывается кратковременный характер подачи запальной дозы топлива – на данном режиме продолжительность подачи равна 3 °УПКВ, остальное время топливо находится внутри форсунки в жидком состоянии под высоким давлением ( $p_{\text{внут}} = 160$  МПа) неподвижно.



**Рис. 16.** Схемы закрепления и нагружения распылителя форсунки: а – схема для теплового расчёта; б – схема для расчёта теплонапряжённого и деформированного состояния; 1-7 – зоны на внутренних и внешних поверхностях корпуса распылителя форсунки, граничные условия на которых были определены в ходе 3D-моделирования рабочего процесса (см. табл. 3)

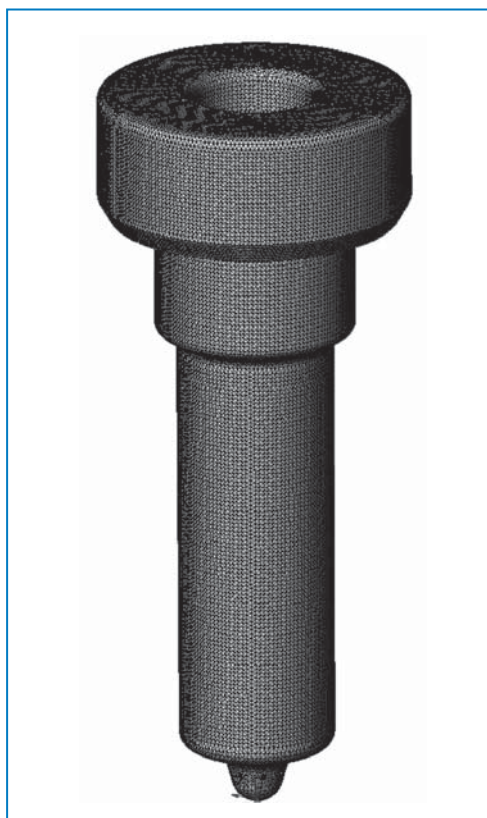
На втором этапе расчёта определяются механические нагрузки от давления во внутренних полостях форсунки, а также от неравномерного нагрева детали (в этом случае деталь нагружается ранее определённым температурным полем, а также внутренним и внешним давлением:  $p_{\text{внут}} = 160$  МПа,  $p_{\text{внеш}} = 5,4$  МПа). Внешнее давление соответствует условиям в КС газодизеля и прикладывается только к наконечнику распылителя.

Закрепление корпуса распылителя при расчёте ТНДС ведётся по верхним торцам с помощью вспомогательных деталей (на схеме на рис. 16 не показаны).

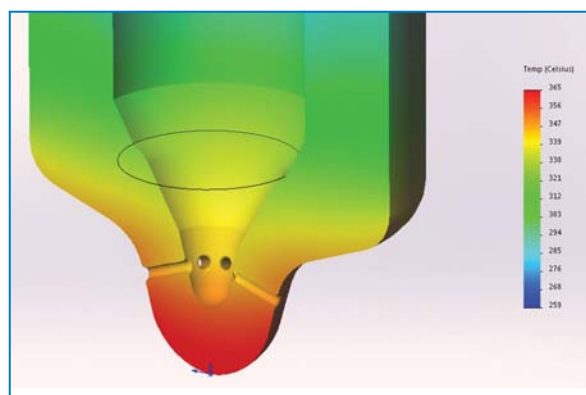
Разбиение распылителя форсунки на конечные элементы приведено на рис. 17.

Результаты расчётов теплового состояния распылителя форсунки при условии его работы в камере сгорания двухтопливного двигателя показаны на рис. 18а. На рис. 18б приведены значения напряжений в распылителе при условии его нагружения давлением на внутренних поверхностях, равным 160 МПа, и температурным полем, полученным из первого этапа расчёта.

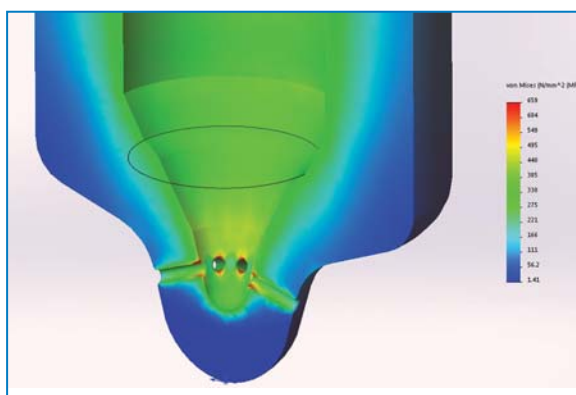
Максимальный уровень температур в процессе работы форсунки в цилиндре двухтопливного двигателя достигается на его наконечнике и составляет 365 °С (рис. 18а). Максимальные напряжения при нагружении распылителя давлением, соответствующим условиям впрыскивания (160 МПа) и температурам, полученным при определении теплового состояния,



**Рис. 17.** Разбиение твердотельной модели распылителя форсунки на конечные элементы (1 143 813 конечных элементов, максимальный размер 0,2 мм)



а



б

**Рис. 18.** Результаты расчёта температурного поля (а) и напряжений (б) в сечении распылителя форсунки при условии его работы в цилиндре двухтопливного двигателя

составили 659 МПа (рис. 18б), что является допустимым для материала распылителя (сталь ХВГ). Область максимальных напряжений – в месте сопряжения отверстий и внутренней поверхности распылителя.

Заметен высокий уровень нагрузок на распылитель форсунки в заданных условиях работы: существенное сокращение (в 8...10 раз) времени подачи дизельного топлива в двухтопливном двигателе в сравнении с базовым дизелем (3 °УПКВ в двухтопливном и 25...30 °УПКВ в базовом дизеле) даже при сравнимых давлениях впрыскивания приводит к значительному росту температур и уровню напряжений в наконечнике распылителя. Тем не менее, согласно результатам расчётов, деталь остаётся работоспособной.

### Заключение

Разработана и верифицирована модель для исследования процессов, протекающих в системе «впуск–цилиндр–выпуск» перспективного двухтопливного двигателя на базе дизеля для грузового автомобиля мощностью 354 кВт. Данная модель позволяет с высокой степенью точности определять в указанной системе локальные нестационарные значения параметров рабочего тела и такие характеристики протекающих процессов, как поля скоростей и температур, а также тепловые потоки в детали, образующие камеру сгорания (поршень, гильза, головка цилиндра, клапаны, распылитель форсунки).

Локальные параметры рабочего тела также позволяют прогнозировать уровень выбросов вредных веществ (оксиды азота, твёрдые частицы, несгоревшие углеводороды) в выхлопных газах двигателя. Твёрдые частицы, образующиеся в цилиндре рассматриваемого газодизеля за счёт сгорания запальной дозы дизельного топлива, практически полностью выгорают к моменту открытия выпускных клапанов, что положительно сказывается на экологических характеристиках двухтопливного двигателя. При этом, несмотря на высокий уровень форсирования двигателя по среднему эффективному давлению ( $p_e = 2,54$  МПа), более равномерное распределение локальных температур рабочего тела по объёму камеры сгорания приводит к относительно небольшим величинам по выбросам оксидов азота (2,79 г/кВт·ч на режиме  $n = 1400$  мин<sup>-1</sup>).

Установлено значительное влияние характеристик течения газа на процессы теплоотдачи в стенки камеры сгорания. Так, для точки на поверхности головки цилиндра (вблизи распылителя форсунки) характерно распределение коэффициента теплоотдачи  $\alpha$  с двумя максимальными значениями – до и после ВМТ. В то же время на периферии поверхности головки и огневого днища поршня  $\alpha$  имеет один максимум вблизи ВМТ.

К характерным особенностям процесса теплоотдачи в двухтопливном двигателе в сравнении с базовым дизелем можно отнести относительно равномерное распределение тепловых потоков  $q_w$  по поверхности огневого днища поршня после начала процесса сгорания (аналогично двигателям с принудительным зажиганием от электрической искры). До воспламенения топливовоздушной смеси имеет место некоторая неравномерность распределения  $q_w$ , вызванная процессами газообмена.

Полученные коэффициенты теплоотдачи со стороны рабочего тела в цилиндре двигателя и распылителя форсунки, а также температуры газа и жидкости за пограничным слоем позволяют оценить тепловое состояние распылителя форсунки. Максимальный уровень температур в процессе работы форсунки в цилиндре двухтопливного двигателя достигается на его наконечнике и составляет 365 °С. Макси-

мальные напряжения при нагружении распылителя давлением, соответствующим условиям впрыскивания (160 МПа) и температурам, полученным при определении теплового состояния, составили 659 МПа, что является допустимым для материала распылителя (сталь ХВГ).

Установлено, что существенное сокращение времени подачи топлива в газодизеле в сравнении с базовым дизелем (3 °УПКВ в газодизеле и 25...30 °УПКВ в дизеле) даже при сравнимых давлениях впрыскивания приводит к значительному росту температур и уровню напряжений в наконечнике распылителя. Как следствие, рекомендуется рассмотреть возможность интенсификации охлаждения форсунки в головке двигателя, увеличения продолжительности (величины) подачи запальной дозы дизельного топлива, либо снижения уровня тепловых нагрузок со стороны рабочего тела в камере сгорания двухтопливного двигателя за счёт обеднения смеси, более позднего впрыскивания топлива, снижения давления на впуске.

*Работа выполнена в рамках совместной работы МГТУ им. Н.Э. Баумана и ФГУП «НАМИ» (№ субсидии 14.626.21.0005, уникальный идентификатор проекта RFMEFI62617X0005).*

## Использованные источники

1. Кавтарадзе Р.З. Теплофизические процессы в дизелях, конвертированных на природный газ и водород. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. – 238 с.
2. Кавтарадзе Р.З. Теория поршневых двигателей. Специальные главы. 2-е издание. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016. – 589 с.
3. FIRE. Users Manual Version 2017 / AVL List GmbH. Graz (Austria), 2018.
4. Hanjalić K., Popovac M., Hadziabdić M. A Robust Near-Wall Elliptic-Relaxation Eddy-Viscosity Turbulence Model for CFD // Int. J. Heat Fluid Flow. – 2004. – No.25. – P. 897-901.
5. Кавтарадзе Р.З. Локальный теплообмен в поршневых двигателях. 3-е издание. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016. – 515 с.
6. Popovac M., Hanjalić K. Compound Wall Treatment for RANS Computation of Complex Turbulent Flow / Proc. 3rd M.I.T. Conference, Boston, USA, 2005. – P. 1-28.
7. Merke G., Teichmann R. (Hrsg). Grundlagen Verbrennungsmotoren. Funktionsweise. Simulation. Messtechnik. 7. Auflage. Stuttgart, Leipzig, Wiesbaden: Springer Vieweg-Verlag, 2014. – 1132 S.
8. Kavtaradze R.Z., Natriashvili T.M., Zelentsov A.A. Ignition Delay and Emission of the Noxious Substances in Double-Fuel Engines Working on the natural Gas and Syngases / Chapter 15 (p. 109-120) in the Book: Innovative Methods for Improvement of Technical, Economic and Ecological Efficiency of Motor Cars. NOVA-Publishers. – New-York, 2015. – 138 p.
9. Natriashvili T., Kavtaradze R., Glonti M. Improvement of ecological characteristics of the hydrogen diesel engine. International Automobile Scientific Forum (IASF-2017) "Intelligent Transport Systems". IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 315 (2018) 012018. – Pp. 1-7.
10. Патанкар С. Численное решение задач теплопроводности и конвективного теплообмена при течении в каналах. – М.: Изд-во МЭИ, 2003. – 311 с.



11. Кавтарадзе Р.З., Зиновьев И.А. Влияние частичной гомогенизации процесса сгорания на экологические показатели дизеля // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. «Машиностроение». – 2016. – № 4. – С. 113-127.

12. Кавтарадзе Р.З., Бахрамов Э.В. Влияние гомогенизации рабочей смеси и рециркуляции отработавших газов на образование оксидов азота и сажи в камере сгорания дизеля // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. «Машиностроение». – 2018. – № 2. – С. 44-61.

13. Кавтарадзе Р.З., Зеленцов А.А., Кавтарадзе З.Р., Никитин Ю.Н., Финкельберг Л.А. Моделирование локального нестационарного теплообмена в камере сгорания и теплонапряжённого состояния поршня авиационного двигателя // Известия РАН. Энергетика. – 2010. – № 2. – С. 133-151.

14. Зеленцов А.А. Анализ влияния особенностей рабочих процессов на эффективные показатели авиационных поршневых двигателей // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. «Машиностроение». – 2013. – № 4. – С. 81-93.

15. Kavtaradze R.Z., Zelentsov A.A., Krasnov V.V. Local Heat Transfer in Diesel Combustion Chamber Converted to Operate on Natural Gas and Hydrogen // High Temperature. – 2018. – Vol. 56. – No. 6. – Pp. 900-909.

### Требования по подготовке статей к опубликованию в журнале

В связи с тем, что Международный научно-технический журнал Национальной газомоторной ассоциации «Транспорт на альтернативном топливе» включен в обновленный Перечень ВАКа, просьба ко всем авторам строго выполнять следующие требования при подготовке статей к публикации:

1. Все научно-технические статьи должны иметь **на русском и английском языках** следующие составляющие:

**заголовок, ФИО авторов полностью, их должности, ученая степень (при наличии), контакты (e-mail, телефоны), аннотации, ключевые слова.**

2. Все английские тексты следует набирать только строчными буквами, сохраняя начальные прописные буквы в именах собственных.

3. Авторы остальных публикаций (информационных, рекламных и т.д.) представляют на русском и английском языках: **заголовок, ФИО авторов полностью, их должности, адрес и контакты (e-mail, телефоны).**

Редакция журнала также доводит до сведения авторов требования, которые необходимо соблюдать при подготовке статей для публикации.

Материалы статей должны быть представлены по электронной почте в программе WinWord. Объем статьи – не более 15 000 знаков с пробелами.

Представленный текстовый материал с иллюстрациями и таблицами должен иметь сквозную нумерацию. Графический материал должен быть выполнен в формате, обеспечивающем ясность всех деталей рисунков. Формулы и символы должны быть четкими и понятными. Все обозначения в формулах необходимо расшифровать. Нумеруются только те формулы, на которые сделаны ссылки в тексте. Обозначения физических величин и единиц измерений необходимо давать

в Международной системе единиц (СИ). Обязательно соблюдение действующих ГОСТов. Текст и таблицы должны быть выполнены в программе Word в формате doc, rtf. Фотографии и графические рисунки (не менее 300 dpi, CMYK) – в формате jpg, jpeg, tiff, pdf. Не следует форматировать текст самостоятельно.

При пересылке материалов по e-mail следует сопроводить их пояснительной запиской (от кого, перечень файлов и т.д.). Объемные файлы должны быть заархивированы. При подготовке статей к печати необходимо руководствоваться документами, определяющими правила передачи информации через СМИ. Авторский коллектив должен указать ответственное лицо, с которым редакция будет вести переговоры в процессе подготовки статьи к изданию. В список литературы включаются источники, на которые есть ссылки в статье. Ссылаться можно только на опубликованные работы. Список литературы составляется в порядке употребления. В нем приводятся следующие сведения: фамилия и инициалы авторов, название работы; для журнала – название, год издания, номер, страницы, на которых размещена статья; для книг – место и год издания, издательство, общее число страниц. Редакция оставляет за собой право редакторской правки и не несет ответственности за достоверность публикации. Все внесенные изменения и дополнения в представленную к изданию статью согласовываются с автором или представителем авторского коллектива.

Редакция оставляет за собой право размещать опубликованные статьи на сайтах журнала и Национальной газомоторной ассоциации. Редакция не передает и не продает материалы для публикации в других печатных и электронных изданиях без согласования с автором (представителем авторского коллектива).

## Результаты моделирования процесса топливоподачи линией низкого давления дизеля типа Д-245

**О.Н. Дидманидзе**, профессор, заведующий кафедрой «Тракторы и автомобили» им. академика В.Н. Болтинского» ФГБОУ ВО «РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева», институт механики и энергетики им. В.П. Горячкина, д.т.н.,  
**С.А. Зыков**, доцент кафедры «Тракторы и автомобили» им. академика В.Н. Болтинского» ФГБОУ ВО «РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева», институт механики и энергетики им. В.П. Горячкина, к.т.н.,  
**О.Н. Слепцов**, доцент кафедры «Тракторы и автомобили» им. академика В.Н. Болтинского» ФГБОУ ВО «РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева», институт механики и энергетики им. В.П. Горячкина, к.т.н.

От работы топливной системы зависят рабочие процессы и эксплуатационные характеристики дизельного двигателя внутреннего сгорания, применяемого практически во всех отраслях производства. Одним из основных факторов работы топливной системы двигателя является процесс подготовки подачи топлива в магистраль высокого давления и нагнетательную магистраль ТНВД. В статье рассмотрены методика моделирования при учёте эксплуатационных свойств топлива, включая смесевое (рапсовое масло и дизельное топливо), климатические условия с составлением основных расчётных формул гидравлических процессов топливоподачи линией низкого давления топливной системы непосредственного действия («классическая»). Составлена универсальная структурная схема топливной системы, учитывающая прохождение топлива по каждому участку линии низкого давления от топливного бака до насоса высокого давления. Получены характеристики процесса топливоподачи в зависимости от эксплуатационных свойств топлива и климатических условий по каждому участку системы, включая перепады по точкам, линиям, соединительным элементам топливной системы (штуцеры). Особое внимание уделялось расчёту пропускной способности фильтрующих элементов фильтра тонкой очистки топлива, от которого зависит большая часть гидравлических сопротивлений в линии низкого давления. Были даны рекомендации по снижению гидравлического сопротивления на участках топливной системы с фильтром тонкой очистки топлива.

### Ключевые слова:

топливная система дизеля, топливный насос низкого давления, топливный насос высокого давления, эксплуатационные свойства дизельного топлива, фильтр грубой очистки, фильтр тонкой очистки.

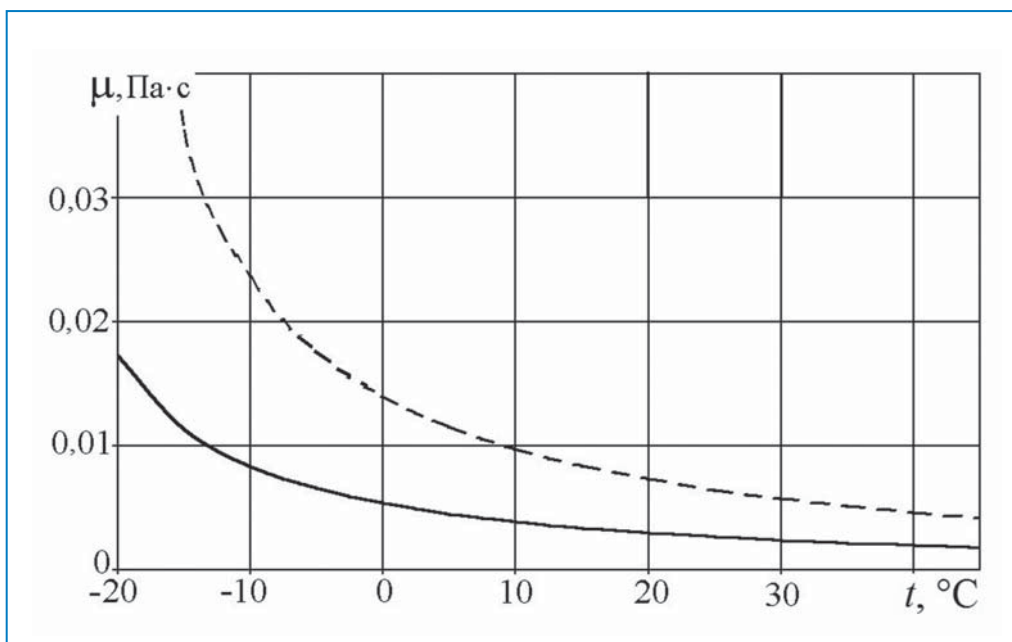
**В** целях оценки работоспособности обобщённой математической модели функционирования линии низкого давления топливоподачи [1-3], а также для её оптимизации была рассмотрена работа топливной системы

низкого давления с насосом низкого давления на примере дизеля типа Д-245 со штатным фильтром тонкой очистки топлива (ФТО) с фильтрующим элементом из фильтровального картона «БФДТ».

Одновременно на модели исследовалось влияние местных сопротивлений при прохождении топлив различной вязкости в топливной магистрали низкого давления с учётом изменения температурных условий.

Как отмечалось другими исследователями, эффективная работа топливной системы существенно зависит от эксплуатационных параметров применяемых топлив [2, 4]. На первом этапе было рассмотрено влияние эксплуатационных параметров различных топлив на работу линии низкого давления. Известно, что изменение давления по линиям топливных магистралей существенно зависит от температуры окружающей среды.

На рис. 1 представлены результаты изменения динамической вязкости дизельного топлива (ДТ) и смесового топлива, состоящего из ДТ и рапсового масла (РМ), в топливной системе низкого давления от температуры окружающей среды.



**Рис. 1.** Изменение динамической вязкости топлив в зависимости от температуры окружающей среды:  
 — ДТ; - - - - - смесовое топливо (70 % ДТ + 30 % РМ)

Экспериментально установлено, что перепады давления топлива в топливных магистралях определяются изменением динамической вязкости и определяются по следующим зависимостям [1-3, 5, 7]:

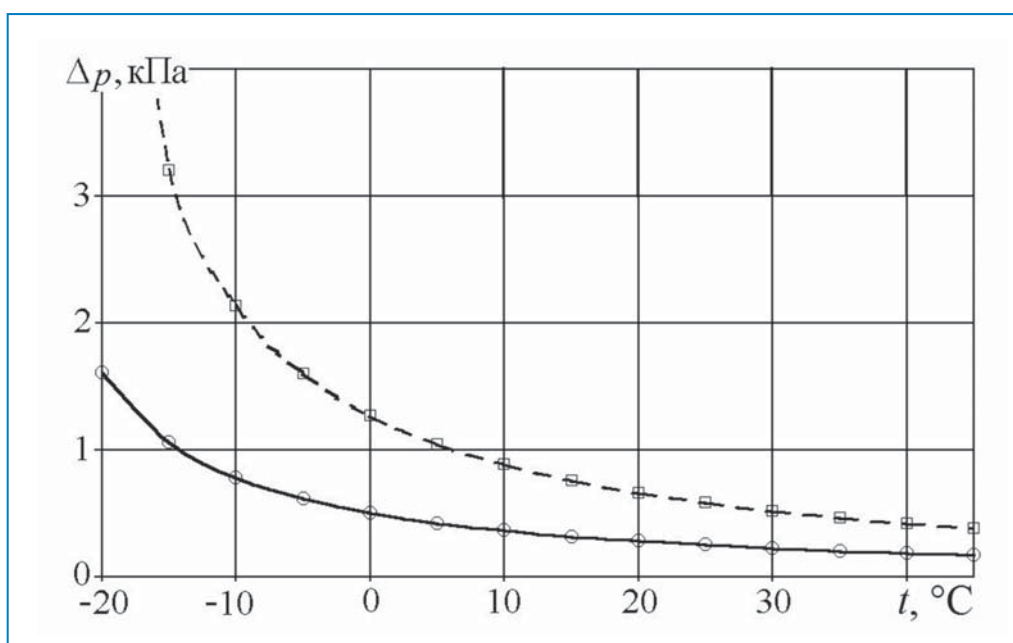
$$\Delta p_{jk} = \frac{\lambda_{jk} L_{T_{jk}} 2\rho_T}{d_{T_{AB}}} \cdot \left( \frac{Q_{jk}}{f_{T_{jk}}} \right) \cdot \left( \frac{\rho_T}{2} \right), \text{ [Па]}, \quad (1)$$

где  $\Delta p_{jk}$  – падение гидравлического давления по длине на участке  $j-k$  магистрали линии низкого давления, Па;  $\lambda_{jk}$  – коэффициент потери напора по длине на участке  $j-k$  магистрали линии низкого давления;  $L_{T_{jk}}$  – длина участка

топливной магистрали, м;  $\rho_T$  – плотность топлива, кг/м<sup>3</sup>;  $d_{TAB}$  – диаметр проходного сечения топливной магистрали, м;  $Q_{jk}$  – объёмный расход топлива в топливной системе, м<sup>3</sup>/ч;  $f_{Tjk}$  – площадь проходного сечения топливной магистрали, м<sup>2</sup>.

Результаты исследований гидравлических процессов топливной системы низкого давления для дизельного и смесового (70 % ДТ + 30 % РМ) топлив представлены в [2]. При температуре окружающей среды  $t = 20$  °С изменение давления для дизельного топлива составит 282 Па, а для смесового (70 % ДТ + 30 % РМ) – 664 Па; при  $t = -20$  °С изменение давления для дизельного топлива составит 1610 Па, а для смесового – 7428 Па.

Анализ данных, представленных на рис. 2, показывает, что характеристики изменения давления топлив в топливной системе низкого давления на участке АВ от топливного бака до фильтра грубой очистки топлива (ФГО) (схема рис. 3.) практически аналогичны до  $t=0$  °С, и можно говорить об идентичности процессов в области положительных температур.



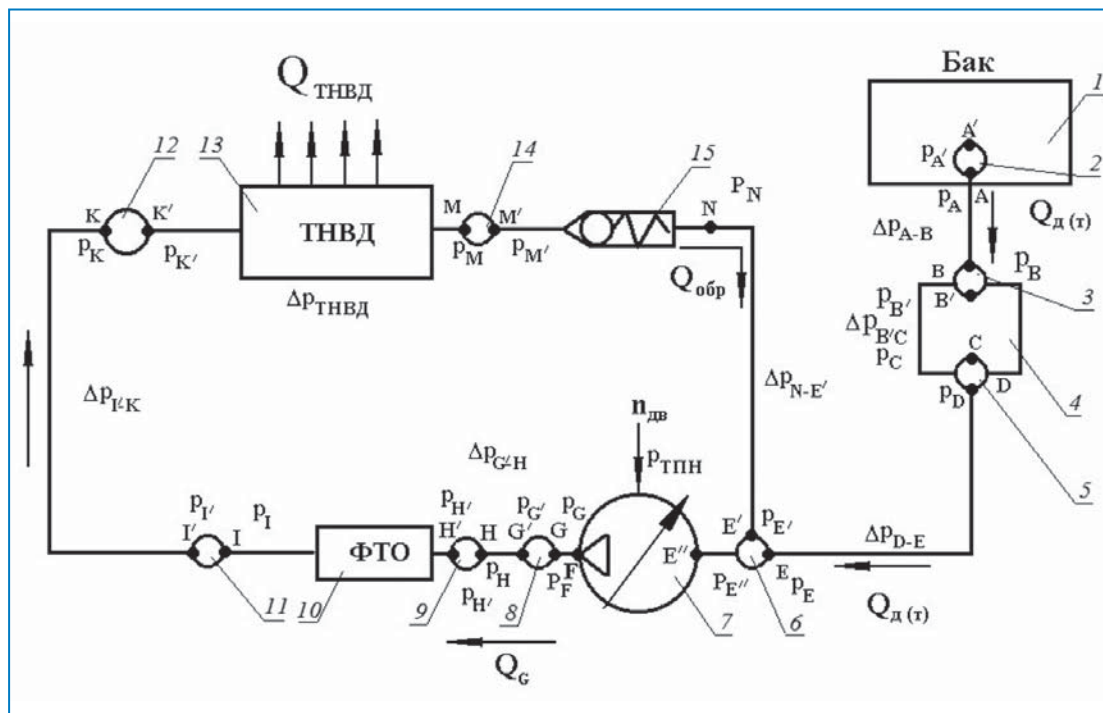
**Рис. 2.** Изменение давления на участке АВ линии низкого давления дизеля типа Д-245 в зависимости от температуры окружающей среды:  
 ——— ДТ; - - - - - смесовое топливо (70 % ДТ + 30 % РМ)

Гидравлическое сопротивление на участках АВ и DE (магистрали входа в ННД) характеризуется существенным снижением сопротивления на участке DE в сравнении с участком АВ вследствие того, что ННД создаёт в точке E разрежение.

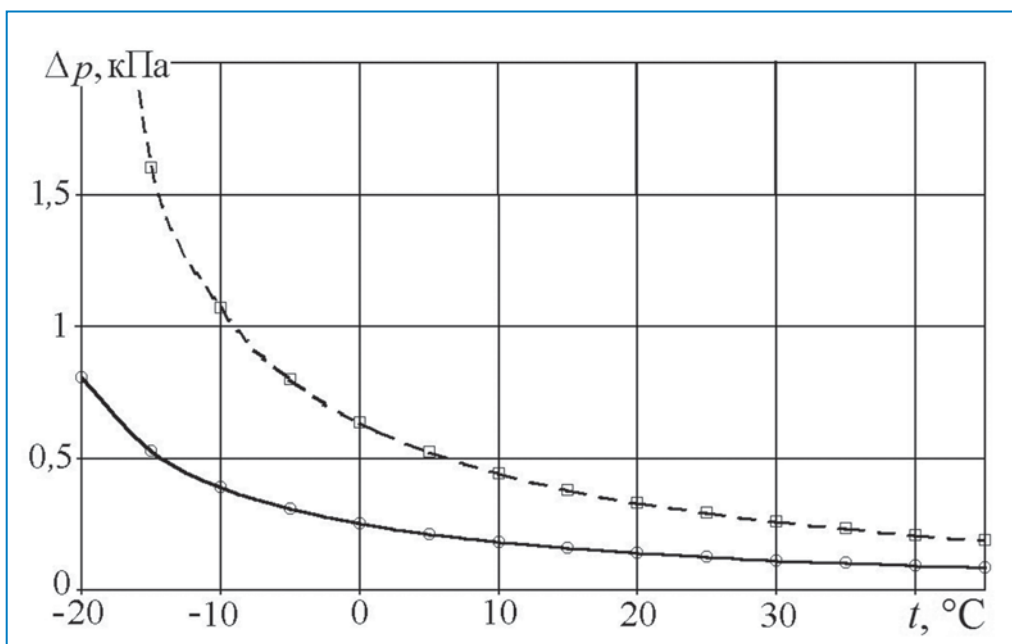
Интервал гидравлических сопротивлений топливных магистралей при прохождении топлив колеблется в широких интервалах:

- при  $t = 20$  °С на дизельном топливе до 141 Па, а на смесовом топливе (70 % ДТ + 30 % РМ) до 332 Па;
- при  $t = -20$  °С для дизельного топлива до 805 Па, а на смесовом топливе до 3714 Па.

По расчётным значениям на участке DE построены зависимости, представленные на рис. 4.



**Рис. 3.** Обобщённая структурная схема топливной системы низкого давления дизеля типа Д-245:  
 1 – топливный бак; 2, 3, 5, 6, 8, 9, 11, 12, 14 – штуцеры линии низкого давления;  
 4 – ФТО; 7 – ННД (насос низкого давления); 10 – ФТО; 13 – ТНВД; 15 – перепускной клапан;  $\Delta p_i$  – перепад давления в точках системы;  $\Delta p_{i-k}$  – перепад давления по магистралям линии низкого давления;  $Q_i$  – объёмный расход топлива по топливной системе;  $n$  – частота вращения кулачкового вала



**Рис. 4.** Изменение сопротивления  $\Delta p_{DE}$  на участке DE линии низкого давления дизеля типа Д-245 в зависимости от температуры окружающей среды:  
 — ДТ; - - - - - смесовое топливо (70 % ДТ + 30 % РМ)

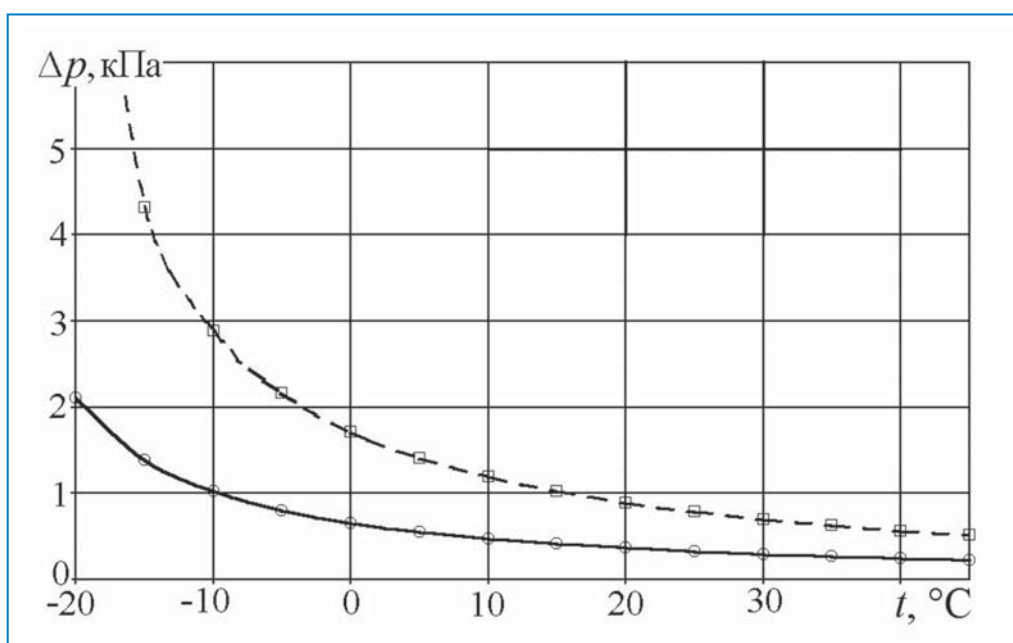
Из расчётных значений на участке *ИК* топливной магистрали перед входом в ТНВД следует, что сопротивление данного участка наибольшее, так как ФТО создаёт значительное гидравлическое сопротивление, связанное с его забивкой механическими примесями.

В результате перепады давления топлива участка *ИК* будут следующими:

- при  $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$  на дизельном топливе составят до 369 Па, а на смесевом топливе (70 % ДТ+30 % РМ) до 896 Па;

- при  $t = -20\text{ }^{\circ}\text{C}$  на дизельном топливе составят до 2110 Па, а на смесевом топливе (70 % ДТ+30 % РМ) до 10025 Па.

По результатам расчёта построен рис. 5 с приведением сравнительных гидравлических характеристик на участке *ИК*, соответствующих работе на дизельном и смесевом (70 % ДТ + 30 % РМ) топливах.



**Рис. 5.** Изменение гидравлического сопротивления  $\Delta p_{\text{ИК}}$  на участке *ИК* линии низкого давления дизеля типа Д-245 в зависимости от температуры окружающей среды:  
 — ДТ; - - - - - смесевое топливо (70% ДТ + 30% РМ)

Минимальное гидравлическое сопротивление топливной магистрали при температуре  $t = 45\text{ }^{\circ}\text{C}$  (рис. 5) составляет 224 Па на дизельном топливе и 514 Па на смесевом (70 % ДТ + 30 % РМ). Расчётные данные на участках линии низкого давления (рис. 6) от топливного бака до входа в фильтр грубой очистки топлива и на входе в топливный насос высокого давления при  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  колеблются от 250 до 500 Па на входе в топливный насос высокого давления.

Данные обобщённого расчёта гидравлических сопротивлений линии низкого давления при использовании смесевое топлива (70 % ДТ + 30 % РМ) приведены в табл. 1. Они показывают, что изменение динамической вязкости  $\mu$  составляет от 0,017264 Па·с при  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  до 0,001834 Па·с при  $+45\text{ }^{\circ}\text{C}$  для дизельного топлива и от 0,082046 Па·с при  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  до 0,004207 Па·с при  $+45\text{ }^{\circ}\text{C}$  для биотоплива, что требует учёта этого фактора при расчётах и модернизации топливоподачи линией низкого давления.

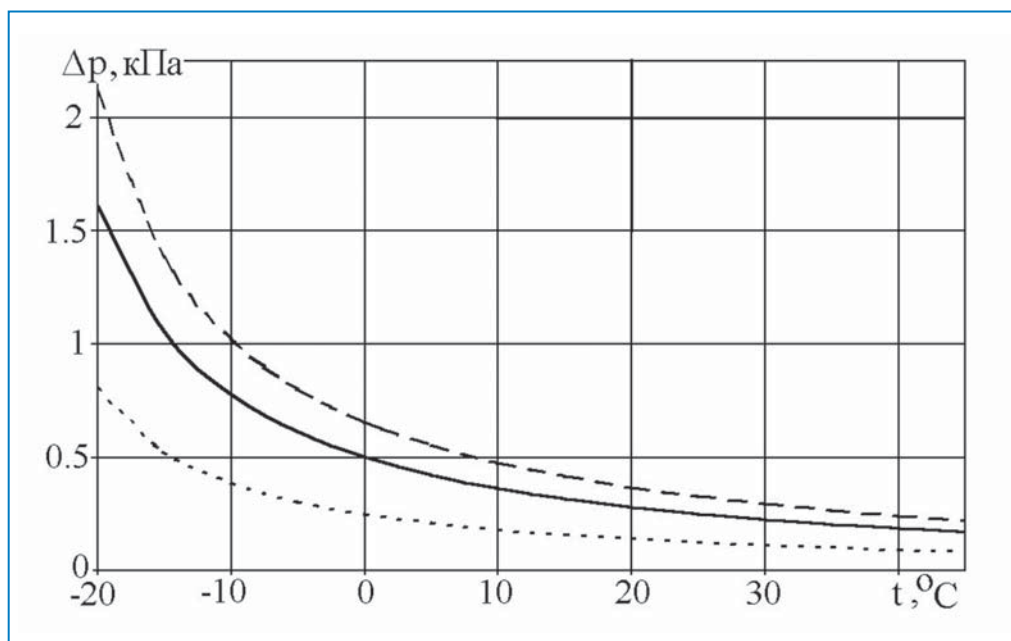


Рис. 6. Гидравлическое сопротивление на участках АВ, DE, IK при работе дизеля типа Д-245 в зависимости от температуры окружающей среды: — ДТ; - - - - - смесевое топливо (70 % ДТ + 30 % РМ)

Таблица 1

Расчётные значения гидравлического сопротивления линии низкого давления

Участок	Давление, Па
$p_A$	203
$p_{AB}$	7428
$p_B$	203
$p_C$	0
$p_D$	203
$p_{DE}$	3714
$p_E$	1477
$p_{ННД}$	10000
$p_G$	1477
$p_{GH}$	1025
$p_H$	1477
$p_{ФТО}$	1274,9
$p_I$	1477
$p_{IK}$	10025
$p_K$	1477
$p_{ТНВД}$	2
$p_M$	585
$p_{NE}$	1262

Представленные в таблице расчётные данные и характеристики показывают участки топливной системы низкого давления, на которых возрастает или уменьшается сопротивление при использовании биотоплива.

В процессе эксплуатации ФТО задерживает механические примеси размером от 4...6 мкм, поэтому он в течение определённого времени забивается, снижает свою пропускную способность, в результате чего повышается его гидравлическое сопротивление прохождению топлива.

Сопротивление ФТО меняется в зависимости от времени его работы на дизельном топливе при расходе  $Q_t = 300$  кг/ч и средней концентрации механических примесей 0,005 % об., предельное значение сопротивления ФТО составляет 70 кПа [4]. При достижении предельного значения сопротивления ФТО расход топлива через него существенно падает, в результате чего нарушается процесс обеспечения двигателя отфильтрованным топливом.

Для предотвращения этого необходимо вовремя проводить техническое обслуживание фильтра. ТО-1 заключается в периодической промывке и замене фильтрующих элементов. Через 100...110 ч работы (ТО-1) сливается отстой из фильтра и промываются внутренние полости, а через 125 ч заменяется фильтрующий элемент.

Определим гидравлические сопротивления участка топливной системы с ФТО при использовании дизельного и смесового (70 % ДТ + 30 % РМ) топлив. Изменение гидравлического сопротивления ФТО с учётом вязкости применяемых топлив определяем по формуле [3-7]

$$\Delta p_{\text{ФТО}} = \frac{\mu Q_{\text{ННД}}}{\alpha F_{\text{ФТО}}}, [\text{Па}] \quad (2)$$

где  $\mu$  – динамическая вязкость, Па·с;  $Q_{\text{ННД}}$  – производительность насоса низкого давления, м<sup>3</sup>/ч;  $\alpha$  – коэффициент пропорциональности (представляет собой удельную пропускную способность единицы площади фильтра при перепаде давления  $\Delta p = 0,1$  МПа и динамической вязкости топлива 1 Па·с);  $F_{\text{ФТО}}$  – поверхность фильтрации фильтрующего элемента, м<sup>2</sup>.

Динамическая вязкость дизельного и смесового (70 % ДТ + 30 % РМ) топлив отличается. Используя данные рис. 7, рассчитываем изменение  $\Delta p$  ФТО при работе на этих топливах. Результаты расчётов сопротивлений ФТО на различных топливах приведены в табл. 2.

Анализ данных табл. 2 показывает, что сопротивление ФТО при работе на смесовом топливе (70 % ДТ + 30 % РМ) через 360 кг/ч более чем вдвое превышает сопротивление ФТО при работе на дизельном топливе.

По данным табл. 2. построена кривая изменения давления ФТО, работающего на дизельном и смесовом (70 % ДТ + 30 % РМ) топливах, которая позволяет сделать вывод, что замену фильтрующего элемента ФТО при работе на смесовом топливе необходимо проводить при ТО-1 через 100...125 моточасов. Таким образом, замену фильтрующего элемента ФТО при работе на смесовом топливе необходимо производить в 2 раза чаще, чем при работе на дизельном топливе.

Для снижения гидравлического сопротивления возможна замена штатного однопоточного ФТО трактора МТЗ-82 на двухпоточный параллельной фильтрации ФТО марки 2ФТ-3 с двумя фильтрующими элементами.



Таблица 2

Расчёт сопротивления ФТО марки 2ФТ-3 при работе на различных топливах

$Q_{\text{ннд}}$ , кг/ч	$\Delta p$ топлив, МПа		Удельная пропускная способность ФТО
	Дизельное	Смесевое	
0	0	0	-
50	0,000525	0,001274876	287,71
100	0,00131	0,003181119	230,61
150	0,0026	0,006313671	174,29
200	0,00447	0,010854657	135,17
250	0,00668	0,016221278	113,06
300	0,01	0,02428335	90,63
360	0,015	0,036425025	72,71

На рис. 7 представлены гидравлические характеристики ФТО марки 2ФТ-3, позволяющие судить о положительном эффекте его применения на дизеле типа Д-245 при его работе на более вязких альтернативных топливах.

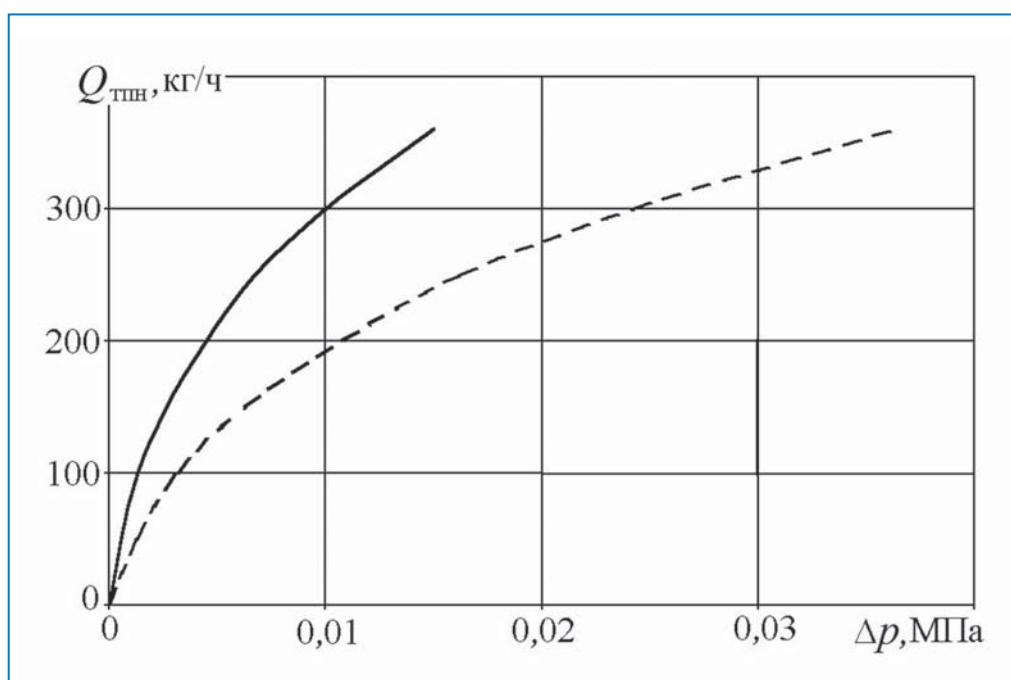


Рис. 7. Производительность ФТО марки 2ФТ-3 при работе на различных видах топлива в зависимости от изменения гидравлического сопротивления:  
 — ДТ; - - - - смесевое топливо (70 % ДТ + 30 % РМ)

На основании результатов проведённого моделирования выявлено, что гидравлические сопротивления в линии низкого давления топливной системы дизеля типа Д-245 на смесевом топливе выше, но при условии стандартных конструктивных параметров системы.

## Использованные источники

1. Белов В.М., Девянин С.Н., Слепцов О.Н. Применение в дизелях топлива растительного происхождения // Вестник ФГОУ высшего профессионального образования Московский государственный агроинженерный университет им. В.П. Горячкина. – 2003. – № 4. – С. 15-21.
2. Слепцов О.Н. Эффективность применения топлив растительного происхождения в АПК / Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Московский государственный агроинженерный университет им. В.П. Горячкина. – Москва, 2007
3. Слепцов О.Н. Проблемы в топливной системе дизеля при использовании вязких топлив // Грузовик. – 2012. – № 1. – С. 14-17.
4. Марков В.А., Девянин С.Н., Зыков С.А., Гайдар С.М. Биотоплива для двигателей внутреннего сгорания: Монография. – М.: НИЦ «Инженер» (Союз НИО), 2016. – 292 с.
5. Конструирование и производство топливной аппаратуры тракторных дизелей / В. Г. Кислов [и др.]. – М.: Машиностроение, 1971. – С. 51-54.
6. Справочник слесаря по топливной аппаратуре двигателей / А.А. Зарин, А.З. Зарин, В.Е. Логинов. – М.: Машиностроение, 1990. – С. 126-133.
7. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы. – М.: Машиностроение, 1982. – 422 с.

## Для тульского муниципального транспорта закуплено топливо на 29 млн рублей

МКП «Тулгорэлектротранс» заключил контракт на поставку сжатого природного газа для заправки городского общественного транспорта. По итогам аукциона поставщиком топлива выступила компания «Газпром газомоторное топливо».

Согласно договору, муниципальному перевозчику требуется порядка 1,8 млн кубометров природного газа. Сумма контракта – 28,8 млн рублей, в том числе НДС 20 %.

В документе прописано, что поставщик ресурса обязан поставить товар надлежащего качества, осуществлять заправку автотранспорта по топливным картам, по ведомостям на АГНКС или МАЗС, также поставщик должен гарантировать соответствие качества поставляемого топлива действующим стандартам – ГОСТ 27577–2000 «Газ природный топливный сжатый для двигателей внутреннего сгорания. Технические условия».

Договор действует с момента заключения до 29 февраля 2020 года.

<http://www.tsn24.ru>

## Исследование токсичности дизелей, работающих на различных альтернативных топливах и режиме максимального крутящего момента

**В.А. Лиханов**, профессор, зав. кафедрой ФГБОУ ВО «Вятская ГСХА», д.т.н.,  
**О.П. Лопатин**, доцент кафедры ФГБОУ ВО «Вятская ГСХА», к.т.н.

В работе представлены исследования нагрузочных характеристик токсичности дизельных двигателей, работающих на различных альтернативных топливах. На основании проведённых лабораторно-стендовых исследований рабочих процессов дизельных двигателей установлена возможность улучшения их экологических показателей, экономии нефтяного дизельного топлива путём применения таких альтернативных источников энергии как природный газ, метанолю-топливная эмульсия (МТЭ), этанолю-топливная эмульсия (ЭТЭ), метанол и метиловый эфир рапсового масла (МЭРМ).

**Ключевые слова:**

дизель, газомоторное топливо, метанол, этанол, эмульсия, метиловый эфир рапсового масла, токсичность, отработавшие газы.

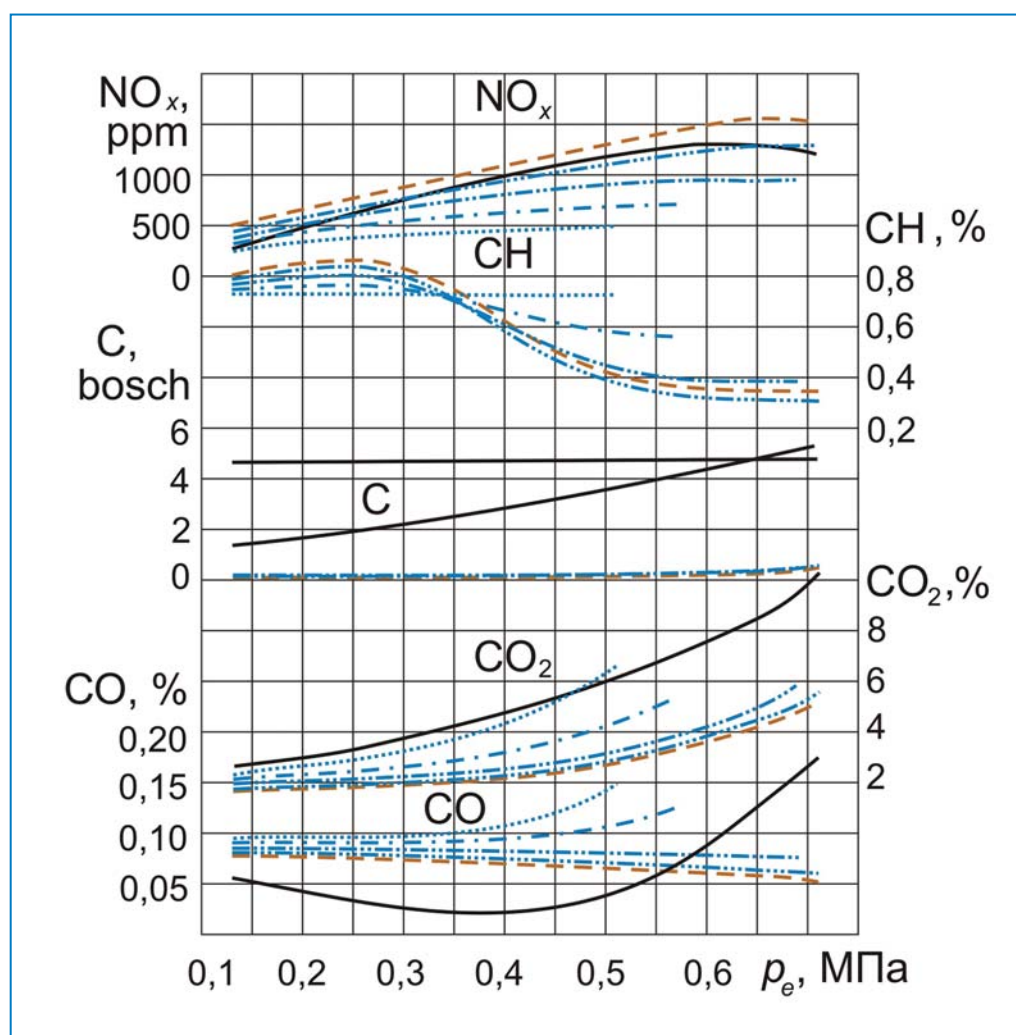
**П**роизводство дизелей – одно из приоритетных направлений в машиностроении, поскольку оно обеспечивает решение целого ряда проблем: научно-технических, экономических, экологических, оборонных и других. Поскольку характеристики дизеля являются определяющими показателями эксплуатационных, энергетических, экономических, экологических и массогабаритных свойств эксплуатируемой техники, то дизель ещё долгое время будет оставаться безальтернативной энергетической установкой [1, 2].

Необходимо отметить, что наметившаяся в последние годы тенденция по укреплению обороноспособности страны имеет не только стратегическое значение для Российской Федерации, но и непосредственно влияет на развитие и производство силовых установок для всего автотранспортного парка страны, достаточно немалая доля которого оснащена силовыми установками – дизельными двигателями. При современном перспективном развитии дизельных двигателей предполагается не только их топливная экономичность, но и минимизация выбросов вредных веществ с отработавшими газами (ОГ): оксидов азота ( $\text{NO}_x$ ), сажи (С), суммарных углеводородов (СН), оксида углерода (СО) и диоксида углерода ( $\text{CO}_2$ ) [3, 4].

Мировой опыт решения экологических проблем, связанных с использованием дизельных двигателей, позволил выработать многочисленные пути для этого,

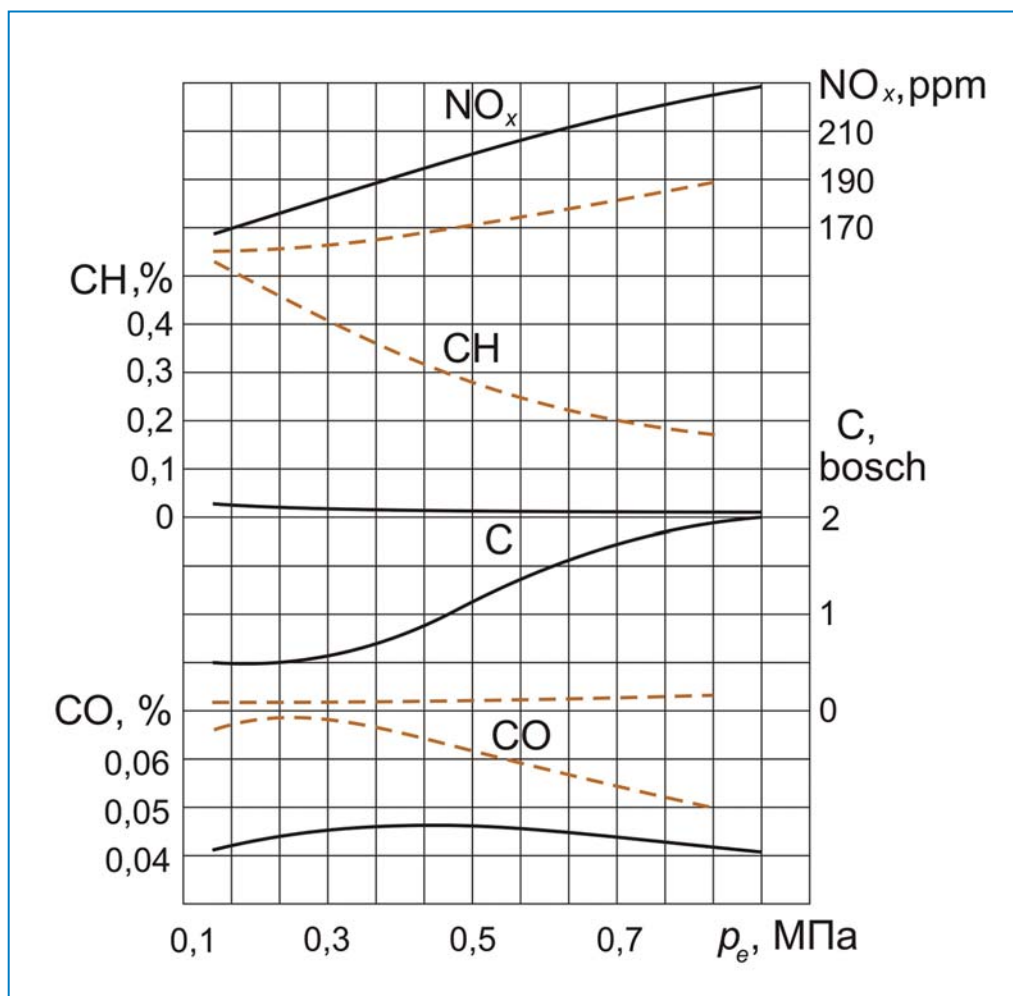
в том числе и перевод на альтернативные топлива. Кроме того, постепенное ужесточение законодательных норм по ограничению эмиссии указанных токсичных компонентов ОГ дизелей, а также ограниченные запасы природных ресурсов способствуют активизации поиска новых альтернативных топлив и совершенствования топливных систем для правильной организации процесса сгорания этих топлив в дизелях. При этом всё более массовое применение находят не только газомоторные топлива, но и альтернативные биотоплива, основанные на спиртах (метилвый, этиловый) и растительных маслах (рапсовое, подсолнечное, соевое, арахисовое, пальмовое), а также их производные [5, 6].

Работу дизелей, служащих для привода транспортной техники, принято оценивать по нагрузочным характеристикам при постоянной частоте вращения коленчатого вала (КВ). При этом в качестве параметров, характеризующих нагрузку дизеля, могут быть использованы эффективная мощность, крутящий момент или среднее эффективное давление.



**Рис. 1.** Нагрузочные характеристики токсичности дизеля 4С 11,0/12,5 ( $\Theta_{впр} = 23^\circ$ ,  $n = 1700 \text{ мин}^{-1}$ ):

- дизельное топливо; — — газомоторное топливо;
- — — газомоторное топливо с EGR 10 %; — — — газомоторное топливо с EGR 20 %;
- — — газомоторное топливо с EGR 30 %; — — — газомоторное топливо с EGR 40 %



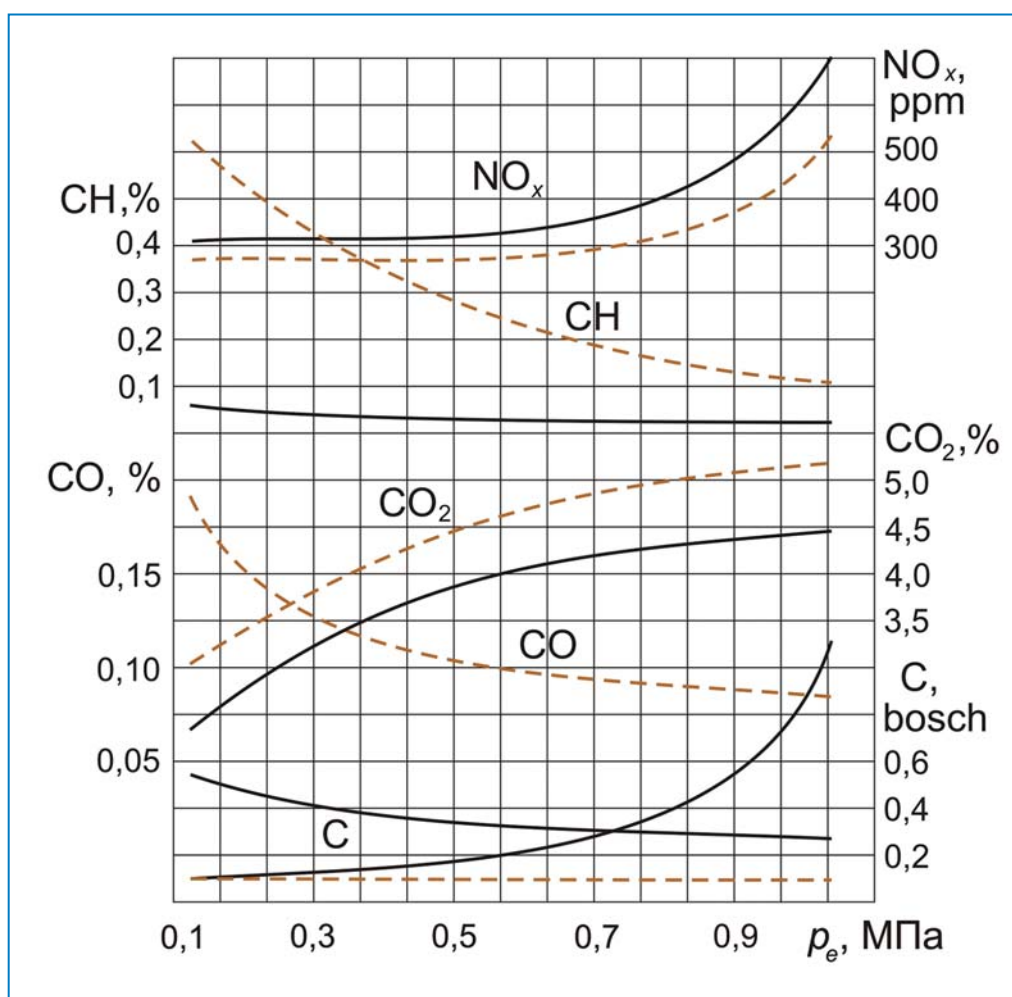
**Рис. 2.** Нагрузочные характеристики токсичности дизеля 4ЧН 11,0/12,5 ( $\Theta_{впр} = 11^\circ$ ,  $n = 1900 \text{ мин}^{-1}$ ):

— — — — — дизельное топливо; — — — — — газомоторное топливо

При проведении стендовых исследований дизелей в число скоростных режимов почти всегда, кроме номинального, характеризующего заявленное изготовителем двигателя значение частоты вращения КВ, при которой обеспечиваются номинальная (нетто) и эксплуатационная (брутто) мощности, входит и характерный промежуточный режим, характеризующийся частотой вращения коленчатого вала дизеля, соответствующей режиму максимального крутящего момента, если данный режим лежит в диапазоне частоты вращения КВ от 60 до 75 % от номинальной. Максимальный крутящий момент характеризуется наибольшим значением крутящего момента дизеля при работе последнего по внешней скоростной характеристике.

Значение максимального крутящего момента характеризует так называемый коэффициент приспособляемости дизеля, от которого в свою очередь зависят его тяговые свойства и устойчивая работа под нагрузкой.

Целью данной работы является изучение показателей токсичности и дымности ОГ высокооборотных дизельных двигателей малой размерности, работающих на различных альтернативных топливах на режиме максимального крутящего момента.

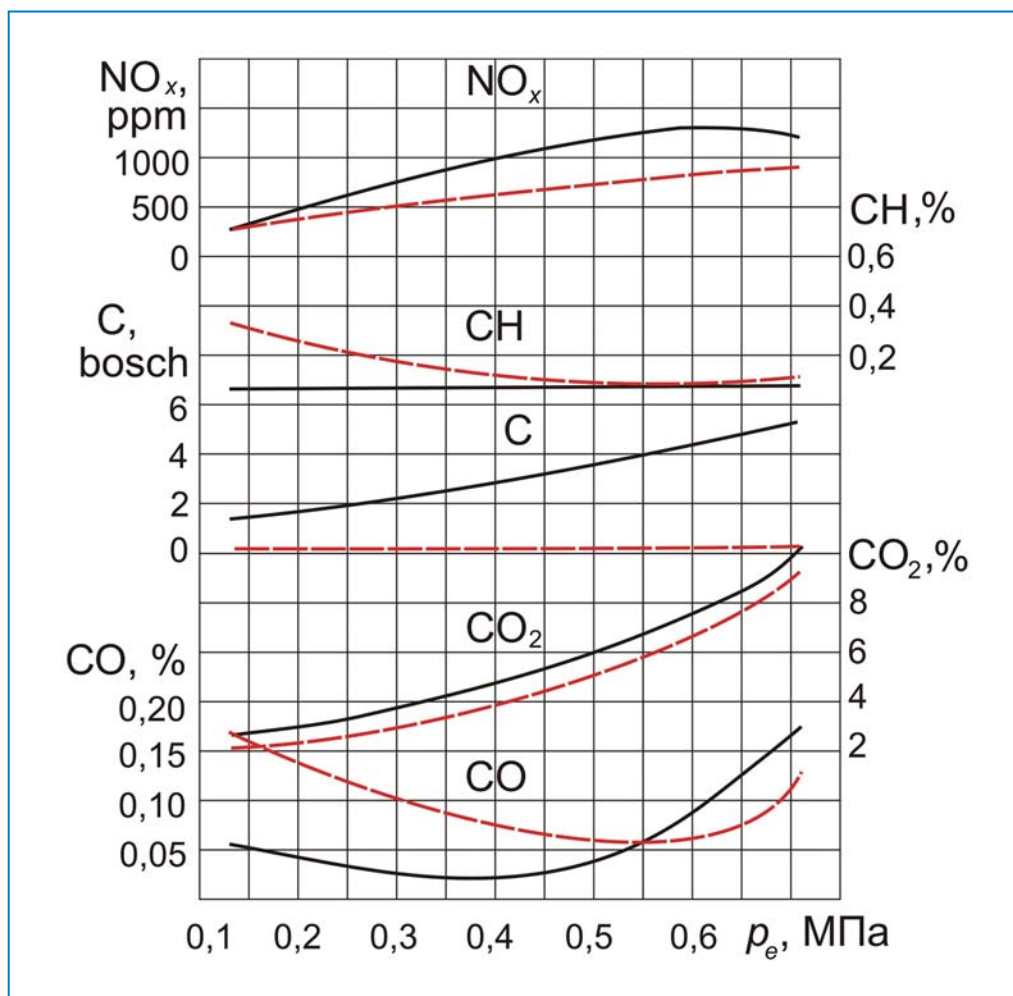


**Рис. 3.** Нагрузочные характеристики токсичности дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с охлаждением наддувочного воздуха ( $\Theta_{впр} = 11^\circ$ ,  $n = 1700 \text{ мин}^{-1}$ ):  
 — — — дизельное топливо; — — — газомоторное топливо

В Вятской государственной сельскохозяйственной академии на базе кафедры тепловых двигателей, автомобилей и тракторов проведены исследования и разработаны модификации следующих дизелей: Д-240 (4Ч 11,0/12,5) для работы на газомоторном топливе (80 % природный газ, 20 % дизельное топливо), спиртосодержащих топливах – МТЭ, ЭТЭ, состоящие из 25 % спирта (метанол либо этанол), 0,5 % сукцинимиды С-5А, 7 % воды, 67,5 % дизельного топлива (ДТ); Д-245.12С (4ЧН 11,0/12,5) с турбонаддувом, Д-245.7 (4ЧН 11,0/12,5) с охлаждением наддувочного воздуха для работы на газомоторном топливе; Д-21А1 (2Ч 10,5/12,0) для работы на метаноле (88 %) и МЭРМ (12 %) [7-10].

Для оценки токсичности и дымности ОГ дизеля при работе на тех или иных режимах используют характеристики токсичности. При эксплуатации дизелей наиболее часто изменяемыми параметрами являются нагрузка и частота вращения [10].

На рис. 1 представлены нагрузочные характеристики токсичности дизеля, работающего на газомоторном топливе на скоростном режиме, соответствующем максимальному крутящему моменту.



**Рис. 4.** Нагрузочные характеристики токсичности дизеля 4Ч 11,0/12,5 ( $\Theta_{впр} = 23^\circ$ ,  $n = 1700 \text{ мин}^{-1}$ ):

— — дизельное топливо; - - - - МТЭ

Анализируя графики содержания токсичных компонентов при работе двигателя на газомоторном и газомоторном с рециркуляцией отработавших газов (EGR) режимах, можно отметить, что характер кривых в целом схож с дизельным процессом. Применение газомоторного топлива приводит к значительному снижению содержания в ОГ сажи,  $CO_2$  и  $CO$  (при нагрузке выше 0,57 МПа), при этом отмечается рост  $NO_x$ ,  $CH$  и  $CO$  (при малых нагрузках). Применение EGR снижает содержание  $NO_x$  в ОГ во всём диапазоне нагрузок. Так, при работе на газомоторном топливе с EGR 40 % в диапазоне изменения нагрузки от 0,13 до 0,26 МПа происходит снижение  $NO_x$  от 2,1 до 2,7 раза. Применение 10%-ной EGR приводит к снижению содержания  $CH$  в ОГ газодизеля до 11,8 %, а применение EGR в размере 20 % вызывает уже увеличение содержания  $CH$ .

На рис. 2 представлены нагрузочные характеристики токсичности дизеля с турбонаддувом, работающего на газомоторном топливе, при частоте вращения, соответствующей максимальному крутящему моменту.

Из рис. 2 хорошо видно, что при переходе с дизельного топлива на газомоторное происходит снижение в ОГ содержания  $NO_x$  и сажи, но при этом наблюдается рост содержания  $CH$  и  $CO$ .

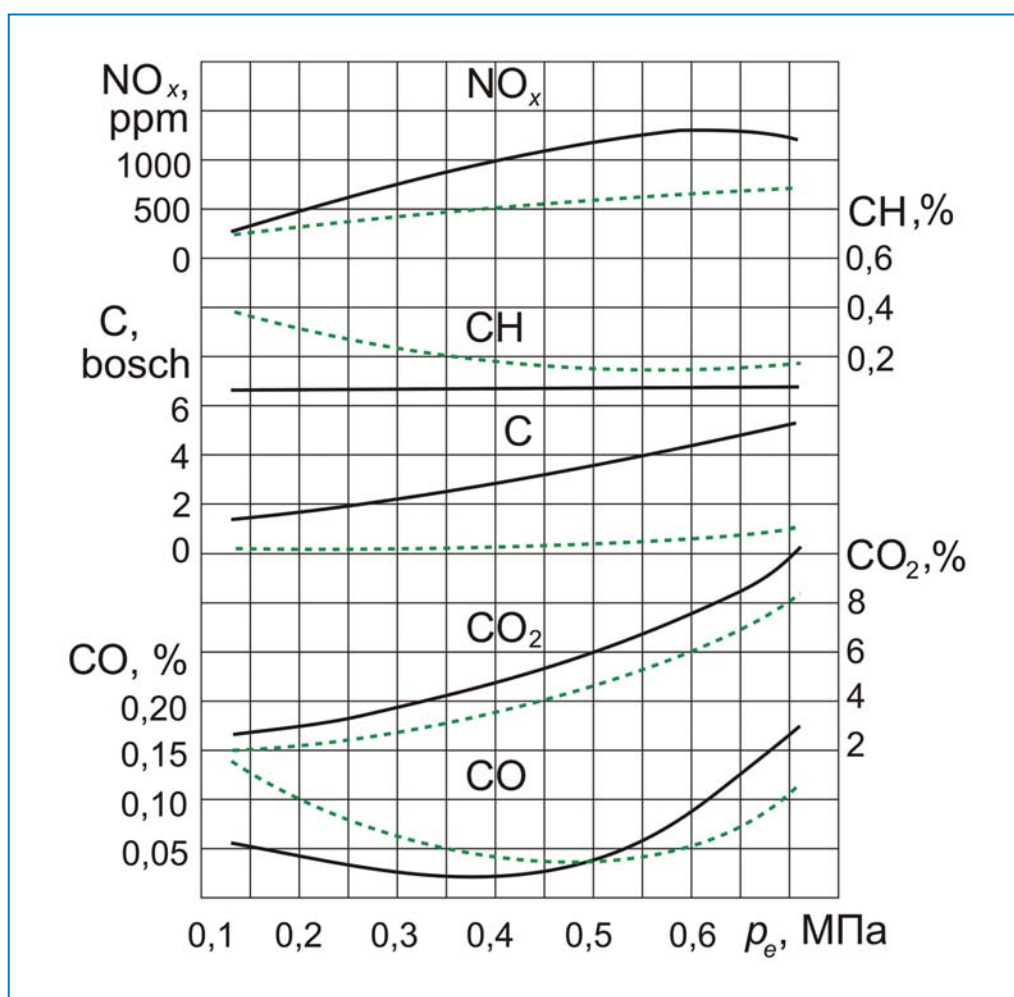


Рис. 5. Нагрузочные характеристики токсичности дизеля 4Ч 11,0/12,5

( $\Theta_{впр} = 23^\circ$ ,  $n = 1700 \text{ мин}^{-1}$ ):

— — — — — дизельное топливо; - - - - - ЭТЭ

На рис. 3 представлены нагрузочные характеристики токсичности дизеля с охлаждением наддувочного воздуха, работающего на газомоторном топливе, на режиме максимального крутящего момента.

Анализируя изменение содержания токсичных компонентов в ОГ дизеля с охлаждением наддувочного воздуха при переходе с дизельного топлива на газодизельный режим необходимо отметить, что при работе дизеля на газомоторном топливе во всём нагрузочном диапазоне значительно снижается содержание оксидов азота  $NO_x$  и дымности ОГ, при этом отмечается увеличение других исследуемых токсичных компонентов.

На рис. 4 и 5 представлены нагрузочные характеристики токсичности дизеля, работающего на МТЭ и ЭТЭ, на скоростном режиме, соответствующем максимальному крутящему моменту.

Сравнивая содержание токсичных компонентов в ОГ дизеля при работе на дизельном топливе и спирто-топливных эмульсиях (рис. 4 и 5), можно отметить, что применение на дизеле МТЭ и ЭТЭ приводит к снижению содержания сажи,  $NO_x$ ,  $CO_2$  и CO (при средних и максимальных нагрузках).

На рис. 6 представлены нагрузочные характеристики токсичности дизеля,



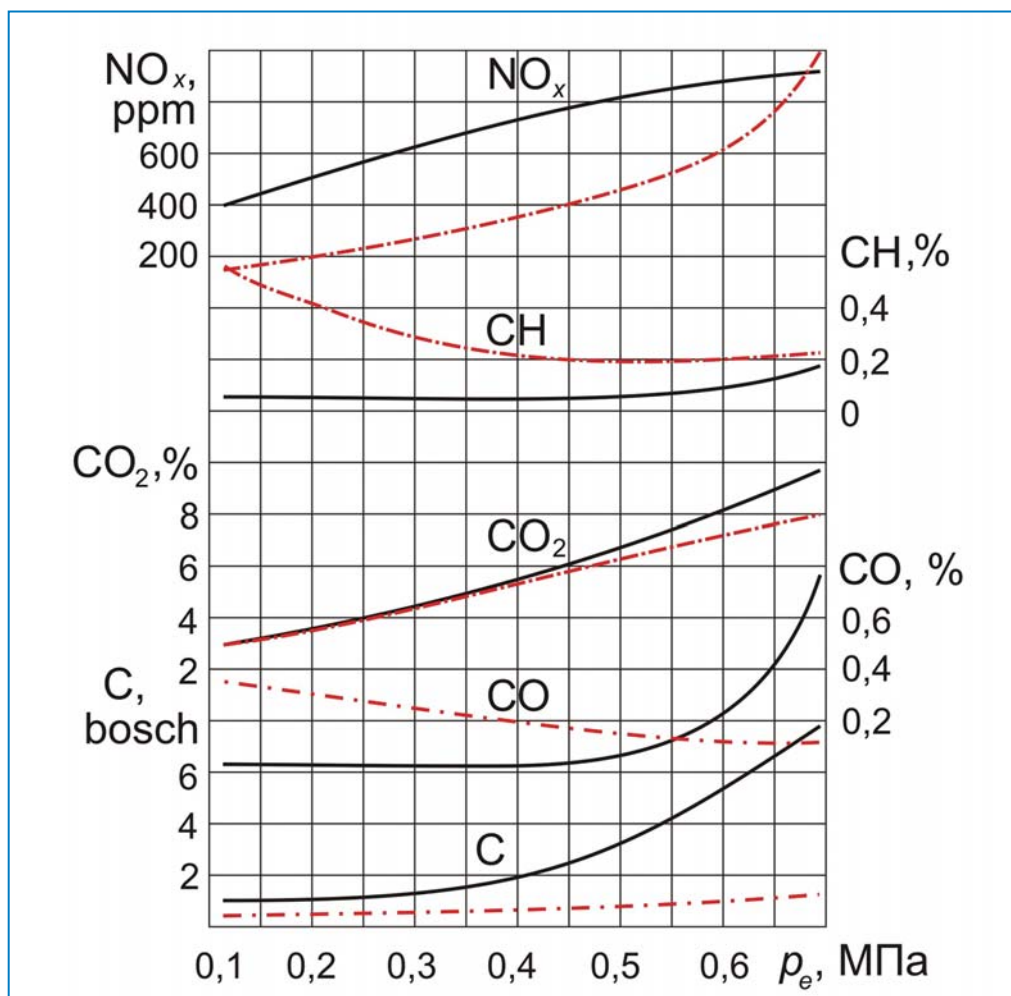


Рис. 6. Нагрузочные характеристики токсичности дизеля 2С 10,5/12,0 ( $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$ ):

— дизельное топливо ( $\Theta_{\text{впр}} = 30^\circ$ );

- - - метанол и МЭРМ ( $\Theta_{\text{впр}} = 34^\circ$ )

работающего на метаноле и МЭРМ, на скоростном режиме, соответствующем максимальному крутящему моменту.

Как видно из рис. 6, у дизеля, работающего на метиловом спирте и МЭРМ, наблюдается снижение выбросов сажи и  $\text{NO}_x$  во всём исследуемом нагрузочном диапазоне, причём с увеличением нагрузки снижение выбросов сажи становится более существенным, что характеризуется более полным её выгоранием. Также необходимо отметить снижение оксида и диоксида углерода на максимальных нагрузках.

## Выводы

На основании проведённых лабораторно-стендовых исследований рабочих процессов дизелей Д-240 (4С 11,0/12,5), Д-245.12С (4СН 11,0/12,5) с турбонаддувом, Д-245.7 (4СН 11,0/12,5) с охлаждением наддувочного воздуха и Д-21А1 (2С 10,5/12,0) установлена возможность улучшения их экологических показателей, экономии дизельного топлива путём применения различных альтернативных топлив – природного газа, МТЭ, ЭТЭ, метанола и МЭРМ.

При работе дизеля на газомоторном топливе с EGR 20 % происходит снижение содержания в ОГ сажи от 7,3 до 13,0 раз,  $\text{NO}_x$  до 29,6 %, CO до 2,3 раза,  $\text{CO}_2$  от 28,6 до 42,3 %.

При работе дизеля с турбонаддувом на газомоторном топливе происходит снижение содержания в ОГ сажи от 5,0 до 12,7 раза и  $\text{NO}_x$  от 5,3 до 16,0 %.

При работе дизеля с охлаждением наддувочного воздуха на газомоторном топливе происходит снижение содержания в ОГ сажи до 11,0 раз,  $\text{NO}_x$  от 12,9 до 25,7 %.

При работе дизеля на МТЭ происходит снижение содержания в ОГ сажи от 7,9 до 16,6 раза,  $\text{NO}_x$  до 35,5 %, CO до 31,3 %,  $\text{CO}_2$  от 8,3 до 11,6 %.

При работе дизеля на ЭТЭ происходит снижение содержания в ОГ сажи от 5,7 до 7,7 раза,  $\text{NO}_x$  до 43,9 %, CO до 37,5 %,  $\text{CO}_2$  от 14,8 до 22,6 %.

При работе дизеля на метаноле и МЭРМ происходит снижение содержания в ОГ сажи от 3,7 до 6,7 раза,  $\text{NO}_x$  до 46,1 %, CO до 6,5 раза,  $\text{CO}_2$  до 17,5 %.

## Использованные источники

1. Starik A.M., Savelev A.M., Favorskii O.N., Titova N.S. Analysis of emission characteristics of gas turbine engines with some alternative fuels // International Journal of Green Energy. – 2018. – Vol. 15. – No. 3. – P.161-168.

2. Presser C., Nazarian A., Millo A. Laser-driven calorimetry measurements of petroleum and biodiesel fuels // Fuel. – 2018. – Vol. 214. – P. 656-666.

3. Mikulski M., Wierzbicki S. Numerical investigation of the impact of gas composition on the combustion process in a dual-fuel compression-ignition engine // Journal of Natural Gas Science and Engineering. – 2016. – Vol. 31. – P. 525-537.

4. Sivakumar M., Ramesh kumar R., Syed Thasthagir M.H., Shanmuga Sundaram N. Effect of aluminium oxide nanoparticles blended pongamia methyl ester on performance, combustion and emission characteristics of diesel engine // Renewable Energy. – 2018. – Vol. 116. – P. 518-526.

5. Chai X., Mahajan D., Tonjes D.J. Methane emissions as energy reservoir: context, scope, causes and mitigation strategies // Progress in Energy and Combustion Science. – 2016. – Vol. 56. – P. 33-70.

6. Romanyuk V., Likhanov V.A., Lopatin O.P. Reducing the environmental threat of motor vehicles by converting engines for operating on natural gas // Теоретическая и прикладная экология. – 2018. – № 3. – С. 27-32.

7. Лиханов В.А., Лопатин О.П. Снижение токсичности отработавших газов автомобильного дизеля конвертацией на спирто-топливные эмульсии // Экология и промышленность России. – 2018. – Т. 22. – № 10. – С. 54-59.

8. Копчиков В.Н., Фоминых А.В. Влияние применения метанола и метилового эфира рапсового масла на содержание оксидов азота в отработавших газах дизеля 2Ч 10,5/12,0 в зависимости от изменения установочных углов // Научно-технический вестник Поволжья. – 2015. – № 1. – С. 107-110.

9. Фоминых А.В., Копчиков В.Н., Николаевский М.Д. Определение оптимальных установочных углов опережения впрыска метанола и метилового эфира рапсового масла дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе с двойной системой топливоподачи // Аграрный научный журнал. – 2015. – № 1. – С. 51-53.

10. Лиханов В.А., Лопатин О.П. Улучшение экологических показателей дизельных двигателей применением биотоплива // Двигателестроение. – 2018. – № 4 (274). – С. 13-17.

## Современные однотопливные автомобили на сжатом природном газе

**В.И. Ерохов**, профессор Московского политехнического университета (Московский Политех), Заслуженный деятель науки РФ, д.т.н.

Обобщены результаты проектирования и создания конструкций современных однотопливных газобаллонных автомобилей при работе на КПГ. Приведены конструктивные и функциональные особенности современного газобаллонного автомобиля для работы на сжатом природном газе. Показана техническая, социально-экономическая и экологическая эффективность газобаллонного автомобиля на КПГ.

**Ключевые слова:**

сжатый природный газ, газовая система питания, двухступенчатый редуктор, система управления, функциональные датчики и исполнительные устройства, эффективность системы питания КПГ.

**В** мировой практике промышленное производство газобаллонных автомобилей для работы на сжатом природном газе (КПГ) является ведущей концепцией современной автомобилизации. Отечественной промышленностью разработаны наземные транспортные средства (ТС) нового поколения, реализующие потенциальные преимущества газового топлива. Подобные ТС выполнены однотопливными для работы на КПГ.

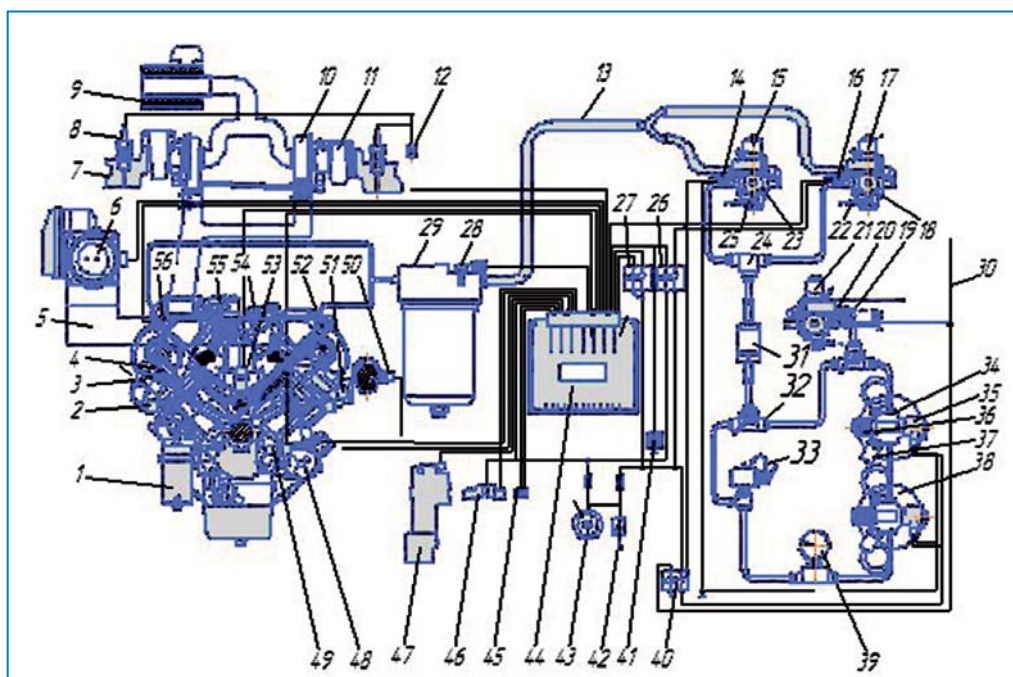
ПАО «КАМАЗ» разработало модельный ряд грузовых автомобилей, спецтехники и автобусов для работы на КПГ. Новая техника удовлетворяет современным топливно-энергетическим и экологическим требованиям [1, 2].

Значительная часть наземных ТС оснащена базовым двигателем КАМАЗ 820.60-260 (8 VЧ 12/13), предназначенным для установки на шасси самосвала КАМАЗ-65115, седельного тягача КАМАЗ-65116, спецтехники КАМАЗ-43118 и 43114. Двигатель КАМАЗ 820.61-260 (8 VЧ 12/13) предназначен для установки на автобусные шасси НЕФАЗ-5339 [3, 4].

Принципиальная схема системы питания однотопливного газового двигателя с принудительным воспламенением 8 VЧ (12/13) для работы на КПГ приведена на рис. 1.

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

Газобаллонная установка автомобилей семейства КАМАЗ содержит кассету газовых баллонов 38, сообщённых между собой с помощью трубопроводов высокого давления, заправочное устройство 33, магистральный трубопровод высокого



**Рис. 1.** Принципиальная схема системы питания однопливного газового двигателя с принудительным воспламенением 8 VЧ (12/13) для работы на КПП:

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 разъём; 13 – общий газопровод; 14, 16 – штуцеры; 15, 17 – редукторы; 18 – ЭМК редуктора; 19 – штуцер подогрева; 20 – ЭМК подогревателя; 21 – двухступенчатый газовый редуктор; 22, 25 – штуцеры отвода ОЖ; 23 – ЭМК высокого давления; 24 – тройник; 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, 56 – газовая распределительная магистраль; 53 – датчик фазы; 54 – датчик давления и температуры воздуха; 55 – компрессор

давления с магистральным вентилем 32 высокого давления, газовые редукторы 15 и 17, сообщённые 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.

Заправочное устройство 33 содержит встроенную заглушку, размещённую на гибком шланге, обратный клапан, предотвращающий обратный поток газа при негерметичной системе, и устройство крепления.

Газовый ЭМК 18 высокого давления обеспечивает подачу газа к первой ступени редукторов 15 и 17. В первой ступени редукторов 15 и 17 происходит переход от высокого давления газа к низкому.

Таблица 1

Технические характеристики двигателей КАМАЗ на КПГ

Наименование основных параметров и размеров	Значения параметров и размеров			
	820.60-60	820.61-260	820.62-00	820.63-00
Тип двигателя	Четырёхтактный с принудительным искровым зажиганием			
Число и расположение цилиндров	V-8, с углом развала 90°			
Диаметр и ход поршня, мм (D/S)	120/130			
Рабочий объём 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 <sup>-1</sup>	2200			
Частота вращения КВ, соответствующая максимальному крутящему моменту, мин <sup>-1</sup>	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 <sup>2</sup> ) при номинальной частоте вращения КВ при минимальной частоте вращения КВ	0,4...0,54 (4,0...5,5) 0,1(1)			
Фильтр очистки газа с фильтрующим элементом	820.4411010 3707140			
Температура ОЖ на выходе из двигателя (должна быть), °С	80...100			

Система подачи наддувочного воздуха содержит воздушный фильтр 9, впускной трубопровод (ВТ) с размещённым в нём левым и правым 10 нагнетательными турбокомпрессорами (ТРК).

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

Узел 6 дроссельной заслонки (ДЗ) модели Siemens ETC 5 объединяет в одном корпусе дроссельную заслонку, шаговый электродвигатель, редуктор привода заслонки и датчики положения заслонки, связанные электрической цепью 30 с ЭБУ 44 двигателя. Узел 6 ДЗ сообщён с трубопроводом 5 подачи наддувочного воздуха. При отключении электрического питания ДЗ устанавливается в положение около 3 % от полного её закрытия [5].

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 (ХХ).

Блок управления 44 двигателя подаёт сигнал на магистральный клапан 32 отключения подачи газа. Магнитное поле клапана обеспечивает перемещение

запорного элемента вверх, открывая доступ к газовому баллону 38. Электронный блок 44 управления обеспечивает сбор информации от функциональных датчиков и исполнительных устройств для правильного расчёта алгоритмов управления подачей требуемого количества газа и искровым разрядом в газовом двигателе.

Электромагнитные форсунки расположены во впускных каналах блока цилиндров. В режиме работы на газе они получают управление от ЭБУ 44 двигателя при помощи сигнала с широтно-импульсной модуляцией.

Информация датчиков поступает в ЭБУ и преобразуется в управляющие сигналы для воздушной заслонки, газовых форсунок и катушек искровой системы зажигания. Оптимальные алгоритмы управления газового двигателя обеспечивают его высокие экологические показатели и позволяют снизить затраты на топливо.

Главное реле 27 включается ЭБУ 44 при включении замка зажигания. При включении реле подаётся 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 (модель S12) быстро отключается после остановки двигателя, даже если замок зажигания остался во включённом 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 49 частоты вращения КВ (синхронизации) обеспечивает согласование работы дозаторов газа с фазами открытия и закрытия впускных клапанов. Этот датчик индуктивного типа. Он установлен над диском синхронизации с числом зубьев 58 и двумя удалёнными зубьями. Расстояние от торца датчика до зубчатого венца составляет 0,5...1 мм. Сигнал датчика 53 используется для определения частоты вращения КВ и положения в ВМТ 1 или 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 положения коленчатого вала (ДПКВ) представляет собой катушку с магнитным сердечником. Этот датчик индуктивного типа и установлен на передней крышке двигателя. Для нормальной работы системы управления необходимо, чтобы зазор между датчиком и зубьями диска составлял 0,5...1,2 мм. Наличие посторонних частиц (загрязнения) в зазоре не допускается. Соединительный кабель датчика должен быть надёжно закреплён во избежание его повреждения вращающимися деталями двигателя. При неисправном датчике положения КВ и повреждениях соединительного жгута эксплуатация двигателя невозможна.

Датчики температуры ОГ 8 размещены в приёмных патрубках выпускного трубопровода вблизи корпусов турбин. В качестве датчиков используют термодары.

Датчик 50 температуры ОЖ корректирует продолжительность открытого состояния газовых форсунок. По результатам показаний датчика 50 температуры ОЖ ЭБУ 44 проводит расчёт положения ДЗ, расчёт необходимой топливоподачи при пуске двигателя и заданных оборотов холостого хода (обороты увеличиваются для холодного двигателя и снижаются до  $800 \text{ мин}^{-1}$  при прогреве), а также проводится обогащение горючей смеси для холодного двигателя.

Датчик 54 давления и температуры воздуха предназначен для определения абсолютного давления и температуры воздуха в ВТ. Датчик давления терморезистивного типа. На основании показаний датчика температуры и давления 54 воздуха

корректируется время открытого состояния газовых форсунок для поддержания необходимого состава газозвоздушной смеси при изменении внешних условий.

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

На основании показаний датчика ЭБУ производит расчёт заданного положения ДЗ, а также производится переход в режимы поддержания заданной частоты вращения на холостом ходу и торможения двигателем.

Электромагнитный дозатор газа осуществляет фазированную подачу необходимого количества газа по сигналам блока управления.

Датчики температуры предназначены для определения температурного состояния систем двигателя (система охлаждения, система питания воздухом, система питания газом). Датчики температуры – полупроводникового типа. Электронный блок 44 по измеренным значениям температуры корректирует значения угла опережения зажигания, положения дросселя и топливоподачи. Датчик температуры охлаждающей жидкости установлен на корпусе термостатов двигателя, датчик температуры воздуха – на передней стенке впускного трубопровода, датчик температуры газа – на корпусе газового фильтра с электромагнитным клапаном. Датчики подключены к жгуту проводов посредством двухконтактного соединителя.

Свечи зажигания обеспечивают 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 современного газового двигателя при работе на КПГ приведена на рис. 2.

Система управления транспортного газового двигателя содержит датчик температуры воздуха во впускном трубопроводе, педальный модуль 24, датчик углового положения коленчатого вала 27, датчик фазы 28, датчик температуры охлаждающей жидкости 14, электропривод 17 дроссельной заслонки 13, датчик давления воздуха 15 во впускном трубопроводе (40...250 кПа), датчик температуры газа 7, датчик давления газа 6 (40...400 кПа), жгут проводов, электронный блок управления 21, электромагнитную газовую форсунку 4, катушки зажигания 23 и высоковольтные провода.

Жгут проводов соединяет элементы системы управления с электронным блоком 21, шиной питания и шиной заземления. Применяемые электрические соединители обеспечивают надёжность соединений и их защиту от влияния внешних условий. Расположение жгута проводов на установках должно исключать опасность его перелома при вибрации или повреждения острыми либо нагретыми частями.

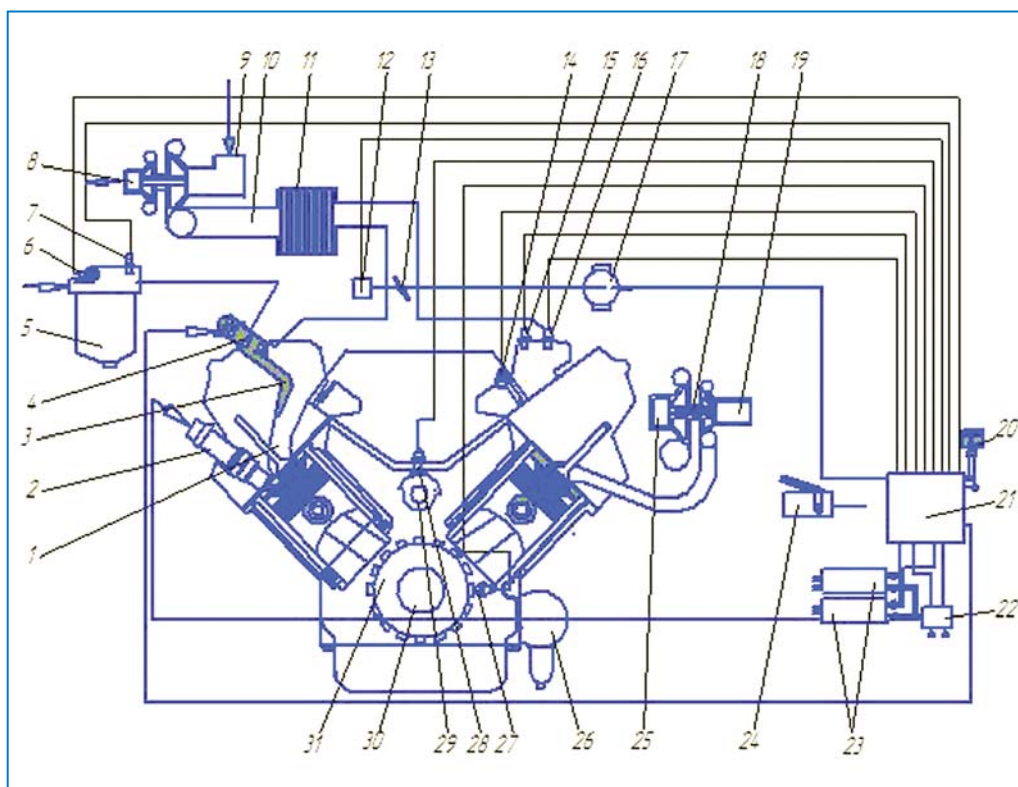
Электромагнитный дозатор газа осуществляет фазированную подачу необходимого количества газа по сигналам блока управления.

Электромагнитная форсунка (ЭМФ) 4 осуществляет отключение подачи газа при выключении системы управления и при аварийных ситуациях.

Электропривод 17 дроссельной заслонки 13 обеспечивает управление положением дроссельной заслонки по сигналам от электронной педали 24.

В системе управления применяют датчик температуры газа 7 в системе питания и датчик абсолютного давления газа во впускном трубопроводе.

Датчик давления газа 6 в системе питания установлен на корпусе фильтра очистки газа 5.



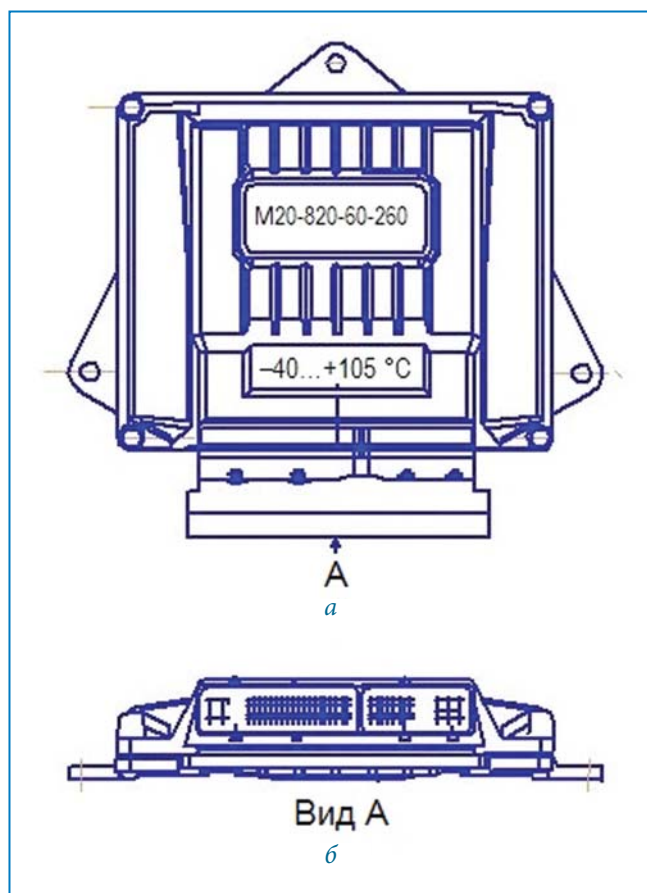
**Рис. 2.** Принципиальная схема системы управления газового двигателя:

1 – впускной канал; 2 – свеча зажигания; 3 – хвостовик ЭМФ; 4 – ЭМФ; 5 – фильтр очистки газа; 6 – датчик давления газа; 7 – датчик температуры газа; 8 – турбокомпрессор; 9 – воздушный патрубок; 10 – воздушный канал; 11 – охладитель наддувочного воздуха; 12 – датчик углового положения дроссельной заслонки; 13 – дроссельная заслонка; 14 – датчик температуры ОЖ; 15 – датчик абсолютного давления на впуске; 16 – датчик температуры на впуске; 17 – электропривод дроссельной заслонки; 18 – турбокомпрессор; 19 – патрубок ОГ; 20 – диагностический разъём; 21 – ЭБУ газовым двигателем; 22 – АКБ 24 В; 23 – катушка зажигания; 24 – педальный модуль; 25 – патрубок; 26 – масляный фильтр; 27 – датчик угловой скорости и положения КВ; 28 – датчик углового положения распределительного вала (фазы); 29 – колесо датчика фазы; 30 – коленчатый вал; 31 – зубчатый венец

Датчик абсолютного давления воздуха 15 размещён в задроссельном пространстве впускного трубопровода. По измеренным значениям давлений блок управления определяет количество воздуха, поступающего в цилиндры двигателя, и количество газа, необходимое для обеспечения режимов работы двигателя. Датчик питается стабилизированным напряжением 5 В и имеет линейную характеристику зависимости выходного напряжения от величины измеряемого давления. Датчик подключён к жгуту проводов посредством трёхконтактной вилки.

Датчик фазы 53 (см. рис. 1) обеспечивает согласование работы дозаторов газа и катушек зажигания с фазами открытия и закрытия впускных клапанов. Датчик установлен на верхней части картера маховика. Колесо датчика фаз с выступом размещено на валу. Принцип действия датчика основан на эффекте Холла. Он выдаёт контроллеру информацию об угловом положении распределительного вала. Соединительный кабель датчика должен быть надёжно закреплён во избежание его повреждения вращающимися деталями двигателя.





**Рис. 3.** Внешний вид электронного блока управления двигателя M20:  
*a* – общий вид; *б* – вид А

При неправильной установке датчика фазы двигатель может не запуститься, так как нарушается порядок искрообразования по цилиндрам. Соединительный кабель датчика должен быть надёжно закреплён во избежание его повреждения вращающимися деталями двигателя. При отсутствии сигнала датчика ЭБУ 21 переходит в режим нефазированного впрыска газа.

Электромагнитные газовые форсунки по сигналам ЭБУ 44 (см. рис. 1) открывают каналы выхода газа в ВТ. В зависимости от частоты вращения КВ и давления в ВТ блок управления рассчитывает продолжительность открытия электромагнитных газовых форсунок. Объём дозируемого газа определяется величиной длительности импульса и величиной давления газа в газовой распределительной магистрали [6].

Внешний вид электронного блока управления M20 двигателя семейства КАМАЗ показан на рис. 3.

Микропроцессорный блок управления M20 двигателем семейства КАМАЗ предназначен для выработки сигналов управления катушками зажигания, приводом дроссельной заслонки, электромагнитными дозаторами газа и электромагнитным клапаном высокого давления на основе информации, получаемой от датчиков ЭСУД. Также он определяет неисправности в системе управления и предупреждает о них водителя путём включения диагностической лампы Check Engine («проверь двигатель») в комбинации приборов [7, 8].

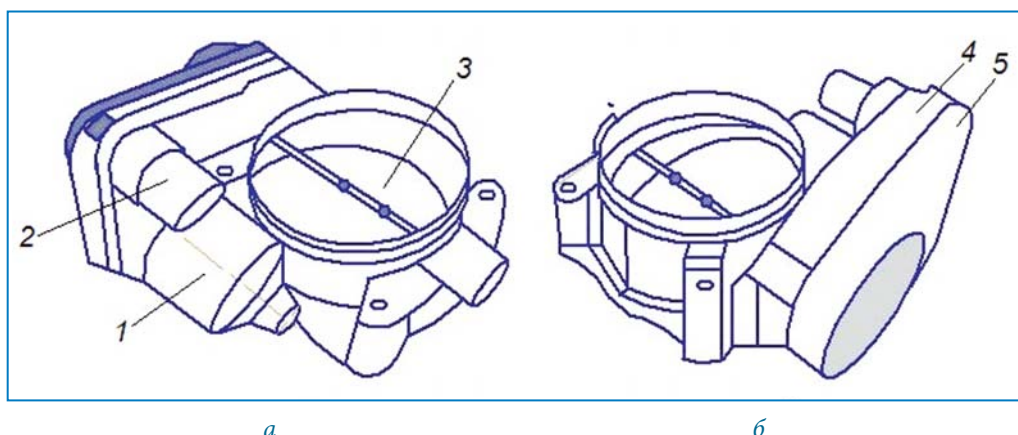
При включении зажигания лампа должна загореться и погаснуть после пуска двигателя. Если лампа не загорится или горит постоянно, то в системе управления двигателем возникла неисправность. В этом случае водителю необходимо обратиться на станцию технического обслуживания для определения и устранения неисправности в работе двигателя.

Принципиальная схема узла дроссельной заслонки приведена на рис. 4.

В корпусе узла дроссельной заслонки Siemens ETC 5 размещена подвижная пластина 3, электрический привод заслонки и редуктор 5 привода заслонки, датчики положения заслонки.

Электрический разъём содержит шесть контактов. Электрические контакты предназначены для сообщения с датчиками положения ДЗ, привода заслонки и питания узла.

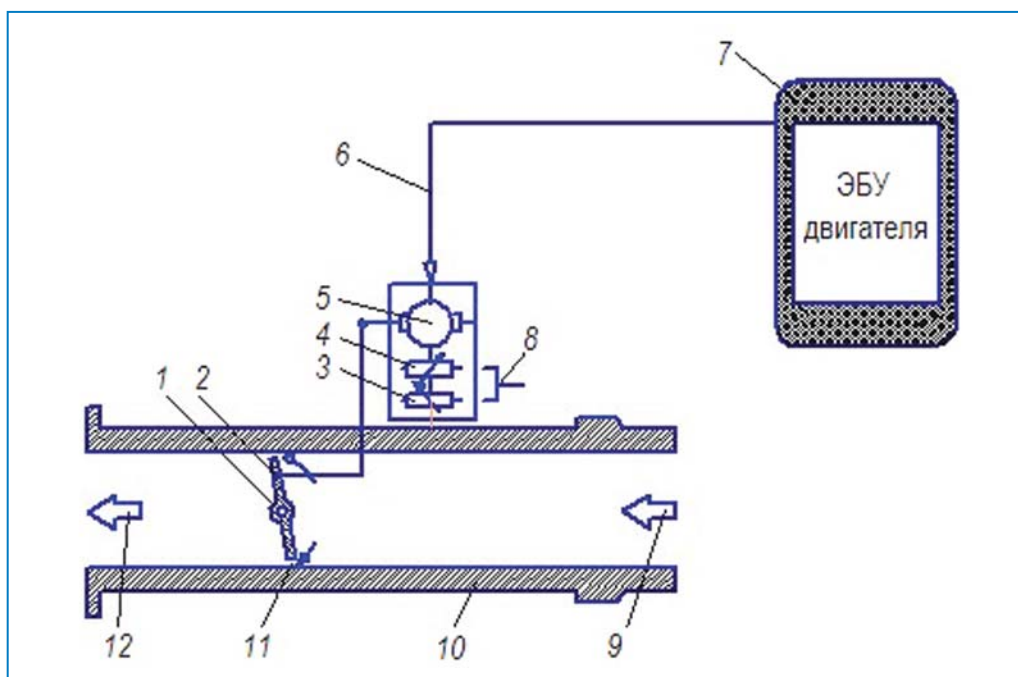
При отключении электрического питания подвижная пластина 3 устанавливается в положение около 5 % от полного её закрытия. При перемещении вручную дроссельной заслонки должно ощущаться усилие возвратной пружины.



**Рис. 4.** Принципиальная схема узла дроссельной заслонки:  
*a* – вид со стороны двигателя; *б* – вид со стороны редуктора; 1 – электродвигатель привода дроссельной заслонки; 2 – электрический разъём; 3 – подвижная пластина узла; 4 – печатная плата; 5 – редуктор

Заслонка должна перемещаться плавно, без заеданий. Перед проведением проверки необходимо отключить узел дросселя от жгута проводов. В эксплуатации возможна поломка редуктора привода заслонки.

При работе двигателя на режиме холостого хода (педаль управления отпущена) положение дроссельной заслонки обеспечивает поддержание заданной частоты вращения КВ. При снижении частоты вращения заслонка открывается, при увеличении – закрывается.



**Рис. 5.** Принципиальная схема управления дроссельной заслонкой с электронным приводом:  
 1 – пластина; 2, 11 – зазор подачи воздуха; 3, 4 – датчик положения дросселя; 5 – мотор-редуктор ДЗ; 6 – электрическая цепь; 7 – ЭБУ двигателя; 8 – датчики положения ДЗ; 9 – полость воздушного фильтра; 10 – корпус; 12 – полость ВТ

При нажатии на педаль управления дроссельная заслонка автоматически устанавливается в положение, необходимое для поддержания заданного давления для поддержания заданного давления воздуха во впускном коллекторе. Заданное давление рассчитывается ЭБУ в зависимости от частоты вращения КВ и положения педали. Таким образом, положение ДЗ не связано напрямую с положением педали. При неисправности датчика давления воздуха во впускном трубопроводе алгоритм поддержания заданного давления отключается, и положение ДЗ определяется только положением педали управления.

Принципиальная схема управления дроссельной заслонкой с электронным приводом приведена на рис. 5.

Электронный модуль дроссельной заслонки содержит пластину 1, мотор-редуктор 5, управляющий заслонкой и двумя датчиками положения ДЗ.

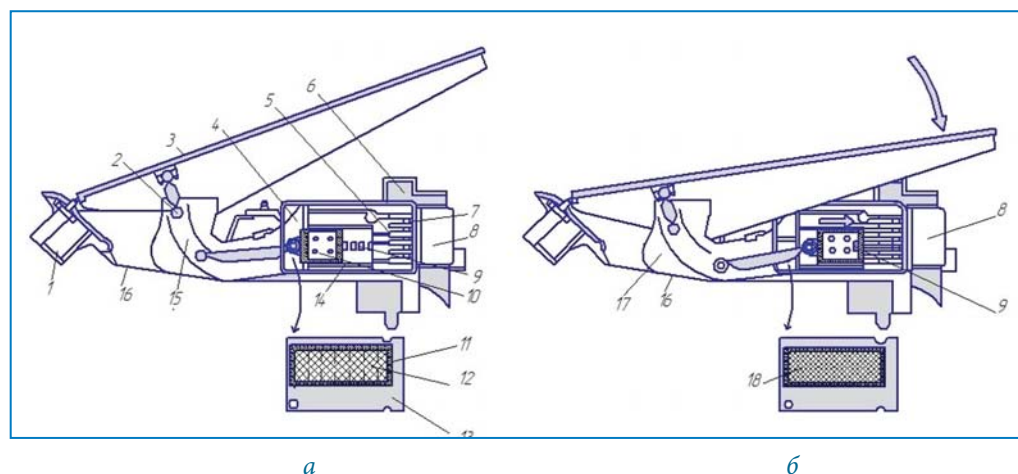
Автомобили с электронной дроссельной заслонкой не содержат традиционный регулятор холостого хода в виде отдельной детали. За регулировку ХХ отвечает непосредственно дроссельная заслонка (пластина). Для поддержания частоты вращения при ХХ дроссельная заслонка приоткрывается на величину 5...6 %, и поступающий воздух обеспечивает поддержание режимов холостых оборотов. Пластинкой 1 управляет мотор-редуктор 5. Датчики 3, 4 считывают текущее значение положения заслонки.

Для повышения частоты вращения до 1400...1600 мин<sup>-1</sup> мотор-редуктор приоткрывает ДЗ на 10...12 %. В процессе регулировки ХХ участвует электронная ДЗ.

Блок управления считывает текущее положение педали управления ДЗ для информации о том, на какой угол он открывает дроссельную заслонку.

Модуль педали управления газобаллонного автомобиля приведён [9,10] на рис. 6.

Модуль педали управления содержит педаль (пластина) 3, основной и дополнительный датчики положения педали дросселя, размещённые на печатной плате 13,



**Рис. 6.** Модуль педали управления:

*a* – исходное положение; *б* – при перемещении педали; 1 – опора модуля; 2 – шарнир; 3 – опорная пластина; 4 – печатная плата; 5, 7 – электрическая цепь; 6 – корпус; 8 – блок-электронная схема; 9 – промежуточные электрические контакты; 10 – задающая металлическая пластина; 11 – катушка возбуждения; 12 – приёмные катушки; 13 – печатная плата (в сборе); 14 – направляющая; 15 – механический привод; 16 – основание; 17 – предохранительная крышка корпуса; 18 – область приёмных катушек

и механическую систему, преобразующую перемещение педали в поступательное движение задающей металлической пластины 10. Также модуль педали управления содержит электронную схему, размещённую на металлической пластине, и катушки возбуждения. Датчик положения педали акселератора выполнен в виде потенциометра, напряжение на концах которого является функцией её положения. Датчик регистрирует ход педали и посылает электрический сигнал в ЭБУ двигателя.

ЭБУ содержит программу характеристики, используемой для расчёта хода или углового перемещения дроссельной заслонки по величине напряжения.

Каждый независимый датчик положения педали содержит катушку возбуждения 11 и три приёмных катушки 12, электронные элементы регулирования и обработки сигналов. Задающим элементом служит подвижная металлическая пластина, размещённая на минимальном расстоянии от печатной платы. По результатам показаний датчика производят расчёт заданного положения дроссельной заслонки, а также осуществляют переход в режим поддержания заданной частоты вращения КВ холостого хода или торможения двигателем.

На электронную схему модуля педали дросселя подают питание напряжением 5 В, используемое для создания переменного тока высокой частоты, питающего катушки возбуждения. В свою очередь катушки возбуждения создают переменное магнитное поле, действующее на подвижную металлическую пластину, вокруг которой создаётся собственное магнитное поле. Магнитное поле, зависящее от положения опорной пластины, действует на приёмные катушки, генерируя в них переменные токи, используемые для выработки выходного сигнала датчика. Этот сигнал направляется на вход блока управления двигателем. Сигнал в виде напряжения линейно изменяется по ходу педали.

Характеристика датчика положения педали управления приведена на рис. 7.

Педальный модуль включает в себя два независимых датчика положения педали, работающие параллельно и повышающие надёжность системы. Датчик положения педали встроены в корпус педального модуля.

В исходном положении педали управления перекрытие катушек наименьшее, поэтому напряжение индуцируемого тока минимальное. При полностью нажатой педали перекрытие катушек подвижной пластиной максимальное, поэтому напряжение индуцируемого тока принимает наибольшее значение.

В электрической схеме переменный ток трёх катушек выпрямляется и усиливается, после обработки получают сигнал, напряжение которого линейно изменяется по ходу педали. Этот сигнал направляется на вход ЭБУ.

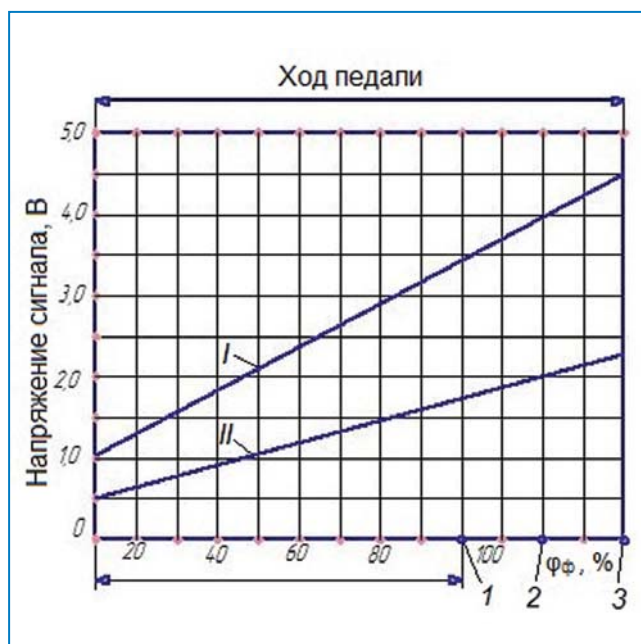


Рис. 7. Характеристика датчика положения педали управления:

I – основной датчик; II – промежуточный датчик; 1 – промежуточное положение педали дросселя; 2 – упор полной нагрузки; 3 – упор полного хода педали

Существуют модификации педальных модулей с «параллельными» (при нажатии на педаль выходное напряжение обоих датчиков увеличивается) и «встречными» (при нажатии на педаль выходное напряжение одного датчика увеличивается, а другого уменьшается) датчиками.

Напряжение индуцируемой каждой приёмной катушкой тока зависит от положения относительно неё металлической пластины. Напряжение подаётся на концы потенциометра.

В ЭБУ запрограммирована кривая характеристики, которая используется для расчёта хода или углового перемещения педали акселератора по этому напряжению.

В одном из вариантов исполнения датчик работает со вторым потенциометром. Напряжение на концах этого потенциометра равно половине напря-

жения на первом потенциометре. Датчик выдаёт два независимых сигнала, которые используются для поиска неисправностей.

Принципиальная схема совместного управления педали и узла дроссельной заслонки приведена на рис. 8.

Педали управления содержит рычаг 14 и два резистивных (омических) 16 и 17 датчика.

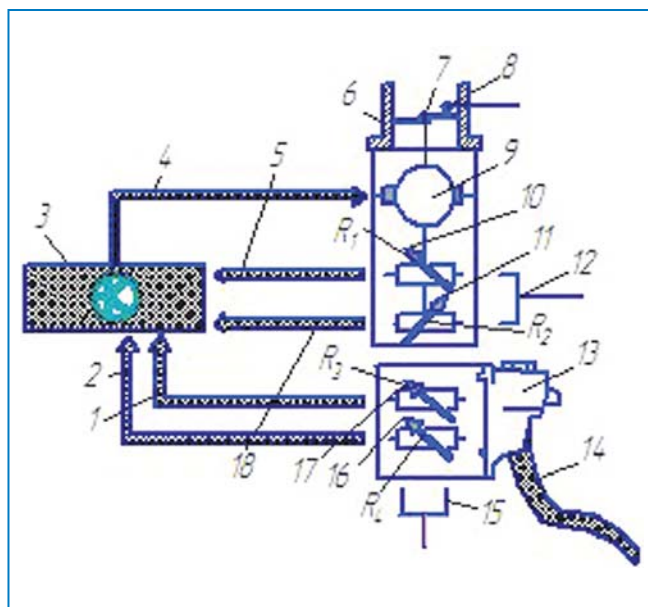
В эксплуатации характерно два положения педали управления углом дроссельной заслонки.

Педали подачи газа не нажата (положение 1). В данном случае зажигание включено, педаль газа не нажата, ДЗ повернута на 7...8 %. Такой зазор обеспечивает подачу воздуха для запуска ДВС.

Зажигание включено, педаль газа нажата до упора (положение 2). В данном положении ДЗ повернута на 24 %. Данный зазор необходим для подачи воздуха для запуска ДВС.

Напряжение  $R_3$  педали газа, делённое на 2, равно  $R_4$ , то есть  $R_3/2=R_4$ . Сумма напряжения  $R_1$  и  $R_2$  дроссельной заслонки равна 5 В, то есть  $R_1+R_2=5$  В.

*Окончание статьи читайте в следующем номере.*



**Рис. 8.** Принципиальная схема педали управления дросселем:

1 – электрическая цепь датчика минимального положения педали; 2 – электрическая цепь максимального положения педали; 3 – ЭБУ; 4, 8 – электрическая цепь; 5 – электрическая цепь датчика минимального открытия ДЗ; 6 – дроссельный узел; 7 – дроссельная заслонка; 9 – мотор-привод; 10 – датчик минимального открытия ДЗ; 11 – датчик максимального открытия ДЗ; 12 – датчики положения дроссельной заслонки; 13 – корпус блока педали управления; 14 – рычаг; 15 – датчики положения педали управления; 16, 17 – резистивные датчики; 18 – электрическая цепь максимального открытия ДЗ

## Использованные источники

1. Автомобили КАМАЗ 65115, 65116 с газовым двигателем. 65115-39020001 РТ, отв. редактор Д.Х. Валеев, 2010 г. – 79 с.
2. А.Г. Малюга, Р.Х. Хафизов. ОАО «КАМАЗ»: решение проблем экологии больших городов России // Транспорт на альтернативном топливе. – 2010. – № 6 (18). – С. 19-21.
3. Интернет-страница kamaz.ru <http://kamaz.ru/ru/vehicle/restyling/dumper/>
4. Ерохов В.И. Газобаллонные автомобили (конструкция, расчет, диагностика). – Учеб. для вузов. – М: Горячая линия – Телеком, 2016. – 598 с.
5. Ерохов В.И. Системы впрыска бензиновых двигателей (конструкция, расчёт, диагностика), учеб. для вузов. – М.: Горячая линия, 2011. – 567 с.
6. Ерохов В.И. Проектирование и расчёт электромагнитных форсунок двигателей с принудительным воспламенением // Транспорт на альтернативном топливе. – 2012. – № 4 (28). – С. 42-50.
7. Ерохов В.И., Одиноква И.В. Совершенствование экологических параметров газодизельных автомобилей // Транспорт на альтернативном топливе. – 2016. – № 2 (50). – С. 57-66.
8. Григорьев Е.Г., Колубаев Б.Д., Ерохов В.И. Газобаллонные автомобили. – М.: Машиностроение, 216 с.
9. ServiceTrainingVSQ-1.BiFuel.427.«VOLKSWAGENGroupAcademy» [http://jetta-club.org/uploads/SSP\\_rus\\_427\\_dreysteija.Pdf](http://jetta-club.org/uploads/SSP_rus_427_dreysteija.Pdf) 2009. – 59 с.
10. Двигатели на природном газе с блоком управления EGCA. Электрооборудование. Фирма MAN Truck Bus Aktiengesellschaft, 2011. – 166 с.
11. Усошин В.А., Ковалев А.Н. Старые ошибки, сегодняшние проблемы, новые тенденции в сфере использования газомоторного топлива (аналитический обзор). // Транспорт на альтернативном топливе. – 2017. – № 1 (55). – С. 43-51.
12. Правила ЕЭК ООН 110.
13. Ерохов В.И. Безопасность и эффективность эксплуатации газобаллонного автомобиля на сжатом природном газе // Транспорт на альтернативном топливе. – 2017. – № 5 (59). – С. 5-20.
14. Ерохов В.И. Системы рециркуляции отработавших газов современных двигателей // Транспорт на альтернативном топливе. – 2013. – № 4 (34). – С. 36-42.
15. Ерохов В.И. Экологическая эффективность газобаллонного автомобиля на сжатом природном газе // Транспорт на альтернативном топливе. – 2017. – № 2 (56). – С. 21-32.

## Abstracts of articles

P. 29

### *Advanced adsorption batteries of natural gas for automotive transport*

Aslan Tsivadze, Oleg Aksyutin, Alexander Ishkov, Ilya Menshchikov, Anatoly Fomkin, Konstantin Romanov, Roman Teterlev, Andrey Shkolin, Vladimir Grachev

The article presents an overview of the promising designs of onboard systems' reservoirs of adsorption natural gas storage. It has shown that today the optimal design of the tank for the onboard adsorption natural gas storage system does not exist due to a number of technical and economic factors. All the described constructions of conformal containers, despite their uniqueness, have a number of drawbacks such as technical complexity, high cost, and problems associated with operation, in particular, with issues of heat removal and supply during gas filling and dispensing. The article also describes the idea presented by the IPCE RAS. This design is promising for the implementation of technology based on standardized cylinders. At the first stage of the natural gas storage course development, it is advisable to limit ourselves to the adaptation of already existing technologies in terms of onboard storage of natural gas, and in the future to ensure a smooth transition to constructive solutions of a new type.

**Keywords:** adsorbed natural gas, adsorbents, adsorption storage of natural gas, onboard gas storage systems.

#### References

- Zolotnitsky V.A. Automotive gas fuel systems. – M: Astrel, 2009. – 128 p.
- Serdyukov S.G., Khodorkov I.L., Boriskin V.V. To the Russian gasification program based on liquefied natural gas (LNG) «Liquefied natural gas – motor fuel». Issue 1. – SPb.: Publishing house of JSC «Gazprom»; DP «Lentransgaz», 1998.
- Tsivadze A.Yu., Aksyutin O.E., Ishkov A.G., Men'shchikov I.E., Fomkin A.A., Shkolin A.V., Khozina E.V., Grachev V.A. Russ. Chem. Rev., 87, 950 (2018).
- Men'shchikov I.E., Fomkin A.A., Tsivadze A.Yu., Shkolin A.V., Strizhenov E.M., Khozina E.V. Adsorption accumulation of natural gas based on microporous carbon adsorbents of different origin // Adsorption J. – April 2017. – Volume 23, Issue 2. – P. 327-339.
- DOI 10.1007 / s11465-016-0381-2
- Pfeifer P. Advanced natural gas fuel tank project. In: Proceedings of Natural Gas Vehicle Technology Forum. – San Francisco, 2011.
- Pfeifer P., Burrella J.W., Wood M.B. et al. High-surface area of natural gas and hydrogen. In: Fthenakis V., Dillon A., Savage N., eds. MRS Proceedings. Volume 1041. – Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- Xu H., Lin Y. Optimal Design of Conformable Adsorbed Natural Gas Tank. University of Missouri Project Report, 2013.
- Lin Y., Xu H. US Patent Application, 2014 0166664 A1, 2014-06-19.
- Electronic resource: <https://www.angpinc.com>. Date of access: 04/17/2019.

P. 37

### *Simulation of the working process and local heat transfer in the dual-fuel engine*

#### *Part 2. Heat-stressed condition of injection nozzle*

Revaz Kavtaradze, Dmitriy Onishchenko, Andrey Zelentsov, Andrey Kozlov, Andrey Golosov

The features of local heat transfer in perspective piston engine with micro-pilot injection of diesel fuel are discussed in the paper. The numeric investigation of working processes in combustion chambers was carried out using the three-dimensional non-stationary equations of energy, motion, diffusion and continuity in Reynolds form with addition of k- $\epsilon$ -f turbulence model. Simultaneous combustion of two types of fuel (gas and diesel fuel) is described using of CFM model. AVL FIRE was used to obtain the numerical results. As a result, the local heat fluxes, heat transfer coefficients and gas temperatures were obtained for the real combustion chamber geometry and gas exchange (inlet and outlet) processes. The local thermal loads on the injection nozzle were obtained, its heat stress values were calculated.

**Keywords:** piston engine, gas engine, natural gas, local heat transfer, mathematical modeling.

#### References

- Kavtaradze R.Z. Thermophysical processes in diesel engines converted to natural gas and hydrogen. – M.: Publishing House of the Bauman Moscow State Technical University, 2011. – 238 p.
- Kavtaradze R.Z. Theory of piston engines. Special chapters. 2nd edition. – M.: Publishing House of the Bauman Moscow State Technical University, 2016. – 589 p.
- FIRE. Users Manual Version 2017 / AVL List GmbH. Graz (Austria), 2018.
- Hanjalić K., Popovac M., Hadziabdić M. A Robust Near-Wall Elliptic-Relaxation Eddy-Viscosity Turbulence Model for CFD // Int. J. Heat Fluid Flow. – 2004. – No.25. – P. 897-901.
- Kavtaradze R.Z. Local heat transfer in piston engines. 3rd edition. – M.: Publishing House of Bauman Moscow State Technical University, 2016. – 515 p.
- Popovac M., Hanjalić K. Compounding Turbulent Flow / Proc. 3rd M.I.T. Conference, Boston, USA, 2005. – P. 1-28.
- Merke G., Teichmann R. (Hrsg). Grundlagen Verbrennungsmotoren. Funktionsweise. Simulation. Messtechnik. 7. Auflage. Stuttgart, Leipzig, Wiesbaden: Springer Vieweg-Verlag, 2014. – 1132 S.
- Kavtaradze R.Z., Natriashvili T.M., Zelentsov A.A. Nognious Substances and Eggs / Chapter 15 (p. 109-120) NOVA Publishers. – New-York, 2015. – 138 p.
- Natriashvili T., Kavtaradze R., Glonti M. International Automobile Scientific Forum (IASF-2017) «Intelligent Transport Systems». IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 315 (2018) 012018. – Pp. 1-7.
- Patankar S. Numerical solution of problems of heat conduction and convective heat exchange during flow in channels. – M.: Publishing house of MPEI, 2003. – 311 p.
- Kavtaradze R.Z., Zinoviev I.A. The influence of partial homogenization of the combustion process on the environmental performance of diesel // Herald of the Bauman Moscow State Technical University. Series Mechanical Engineering. – 2016. – № 4. – P. 113-127.
- Kavtaradze R.Z., Bahramov E.V. The influence of the homogenization of the working mixture and exhaust gas recirculation on the formation of nitrogen oxides and soot in the combustion chamber of a diesel engine // Herald of the Bauman Moscow State Technical University. Series Mechanical Engineering. – 2018. – № 2. – P. 44-61.
- Kavtaradze R.Z., Zelentsov A.A., Kavtaradze Z.R., Nikitin Yu.N., Finkelberg L.A. Simulation of local non-stationary heat exchange in the combustion chamber and the heat-stressed state of the piston of an aircraft engine. Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Power Engineering. – 2010. – № 2. – P. 133-151.
- Zelentsov A.A. Analysis of the influence of features of work processes on the effective performance of aviation piston engines. Herald of the Bauman Moscow State Technical University. Series Mechanical Engineering. – 2013. – № 4. – P. 81-93.
- Kavtaradze R.Z., Zelentsov A.A., Krasnov V.V. Local Heat Transfer to Diesel Combustion and Hydrogen // High Temperature. – 2018. – Vol. 56. – No. 6. – Pp. 900-909.

P. 49

### *The results of fuel supply process modeling by the low-pressure line using diesel type D-245*

Otari Didmanidze, Segrey Zykov, Oleg Slepsov

The working processes and performance of the diesel internal combustion engine used in almost all industries depend on the operation of the fuel system.

One of the main factors of the fuel system of the engine is the process of preparing the fuel supply to the high-pressure line and injection pump. The article considers the method of modeling taking into account the operational properties of fuel including mixed (rapeseed oil and diesel fuel), climatic conditions with the preparation of the basic design formulas of hydraulic processes of fuel supply by the low-pressure line of the fuel system of direct action («classical»). A universal block diagram of the fuel system is drawn up considering the passage of fuel along each section of the low-pressure line from the fuel tank to the high-pressure pump. The characteristics of the fuel supply process are obtained depending on the operational properties of the fuel and climatic conditions for each section of the system including pre-pads on points, lines, fuel system interconnecting elements (fittings). Particular attention was paid to the calculation of the filter elements' flow capacity of the fine fuel filter on which most of the hydraulic resistances in the low pressure line depend. Recommendations for reducing the hydraulic resistance in areas of the fuel system with the filter of thin clearing of fuel were proposed.

**Keywords:** diesel fuel system, low pressure fuel pump, high pressure fuel pump, diesel fuel performance properties, coarse filter, fine filter.

#### References

1. Belov V.M., Devyanin S.N., Sleptsov O.N. Application in diesel fuel of plant origin // Bulletin of the Federal State Educational Institution of Higher Professional Education Moscow State Agroengineering University. V.P. Goryachkina. – 2003. – № 4. – P. 15-21.
2. Sleptsov O.N. Efficiency of application of fuels of plant origin in the agroindustrial complex / Dissertation for the degree of Candidate Engineering Science / Moscow State Agricultural Engineering University. V.P. Goryachkina. – Moscow, 2007.
3. Sleptsov O.N. Problems in the diesel fuel system when using viscous fuels // Truck. – 2012. – № 1. – P. 14-17.
4. Markov V.A., Devyanin S.N., Zykov S.A., Gaidar S.M. Biofuels for internal combustion engines: Monograph. – M.: SIC «Engineer» (Union NIO), 2016. – 292 p.
5. Design and manufacture of fuel equipment for tractor diesel engines / VG Kislov [and others]. – M.: Mashinostroenie, 1971. – P. 51-54.
6. Reference of the mechanic on the fuel equipment of engines / A.A. Zarin, A.Z. Zarin, V.E. Loginov. – M.: Mashinostroenie, 1990. – P. 126-133.
7. Hydraulics, hydraulic machines and hydraulic drives. – M.: Mashinostroenie, 1982. – 422 p.

#### P. 58

##### Study on the toxicity of diesel engines operating on different alternative fuels and in maximum torque mode

Vitaly Likhonov, Oleg Lopatin

The paper presents studies of the load characteristics of the diesel engines toxicity running on various alternative fuels. Based on conducted laboratory and bench tests of diesel engines' working processes, the possibility of improvement of their ecological indicators and oil diesel fuel saving by application of such alternative energy sources as natural gas, methanol-fuel emulsion (MFE), ethanol-fuel emulsion (EFE), methanol and methyl ether of rapeseed oil (MERO) was defined.

**Keywords:** diesel, gas engine fuel, methanol, ethanol, emulsion, rapeseed oil methyl ether, toxicity, exhaust gases.

#### References

1. Starik A.M., Savel'ev A.M., Favorskii O.N., Titova N.S. Analysis of emission characteristics of gas turbine engines with some alternative fuels // International Journal of Green Energy. – 2018. – Vol. 15. – No. 3. – P.161-168.
2. Presser C., Nazarian A., Millo A. Laser-driven calorimetry measurements of biodiesel fuels // Fuel. – 2018. – Vol. 214. – P. 656-666.
3. Mikulski M., Wierzbicki S. Numerical investigation of the impact of gas composition on the combustion process in a dual-fuel compression-ignition engine // Journal of Natural Gas Science and Engineering. – 2016. – Vol. 31. – P. 525-537.
4. Sivakumar M., Ramesh kumar R., Syed Thasthagir M.H., Shanmuga Sundaram N. Effect of aluminium oxide nanoparticles blended pongamia methyl ester on performance, combustion and emission characteristics of diesel engine // Renewable Energy. – 2018. – Vol. 116. – P. 518-526.
5. Chai X., Mahajan D., Tonjes D.J. Methane emissions as energy reservoir: context, scope, causes and mitigation strategies // Progress in Energy and Combustion Science. – 2016. – Vol. 56. – P. 33-70.
6. Romanyuk V., Likhonov V.A., Lopatin O.P. Reduction of the environment and motor vehicles // Theoretical and applied ecology. – 2018. – № 3. – P. 27-32.
7. Likhonov V.A., Lopatin O.P. Reducing the toxicity of exhaust gases of a diesel engine by converting into alcohol-fuel emulsions // Ecology and Industry of Russia. – 2018. – V. 22. – № 10. – P. 54-59.
8. Kopchikov V.N., Fominykh A.V. The effect of the use of methanol and methyl ether of rapeseed oil on the content of nitrogen oxides in exhaust gases of a diesel engine 2 × 10.5 / 12.0, depending on changes in the installation angles // Scientific and Technical Bulletin of the Volga Region. – 2015. – № 1. – P. 107-110.
9. Fominykh A.V., Kopchikov V.N., Nikolaevsky M.D. Determination of the optimal installation angle of injection of methanol and methyl ether of rapeseed oil diesel 2Ч 10,5 / 12,0 when working with a dual fuel injection system // Agrarian Scientific Journal. – 2015. – № 1. – P. 51-53.
10. Likhonov V.A., Lopatin O.P. Improving the environmental performance of diesel engines using biofuels // Dvigatelsestroyeniye. – 2018. – № 4 (274). – P. 13-17.

#### P. 66

##### Modern single fuel engines on CNG

Viktor Erokhov

The results of the design and construction of modern single-fuel gas-cylinder vehicles when working on CNG are summarized. The design and functional features of a modern gas-balloon vehicle for working on compressed natural gas are presented. The technical, socio-economic and environmental effectiveness of a gas cylinder car at CNG is shown.

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

#### References

1. Automobiles KAMAZ 65115, 65116 with a gas engine. 65115-39020001 RT, resp. editor D.H. Valeev, 2010. – 79 p.
2. Malyuga A.G., Hafizov R.H. OJSC KAMAZ: solving the problems of ecology of big cities of Russia // Transport on alternative fuel. – 2010. – № 6 (18). – P. 19-21.
3. Internet page kamaz.ruhttp://kamaz.ru/ru/vehicle/restyling/dumper/
4. Erokhov V.I. Gas cylinder cars (design, calculation, diagnostics). – Textbook for universities. – M: Goryachaya linia –Telecom, 2016. – 598 p.
5. Erokhov V.I. Gasoline engine injection systems (design, calculation, diagnostics), textbook for universities. – M.: Goryachaya linia, 2011. – 567 c.
6. Erokhov V.I. Design and calculation of electromagnetic nozzles of engines with forced ignition // Transport on alternative fuel. – 2012. – № 4 (28). – P. 42-50.
7. Erokhov V.I., Odinkova I.V. Improving the environmental parameters of gas diesel cars // Transport on alternative fuel. – 2016. – № 2 (50). – P. 57-66.
8. Grigoriev E.G., Kolubaev B.D., Erokhov V.I. Gas cylinder cars. – M.: Mashinostroenie, 216 p.
9. ServiceTrainingVSQ-1.BiFuel427. «VOLKSWAGENGAcademy» http://jetta-club.org/uploads/SSP\_rus\_427\_dreysteija. Pdf 2009. – 59 p.
10. Natural gas engines with an EGCA control unit. Electrical equipment. MAN Truck Bus Aktiengesellschaft, 2011. – 166 p.
11. Usoshin V.A., Kovalev A.N. Old mistakes, today's problems, new trends in the use of gas engine fuel (analytical review) // Transport on alternative fuel. – 2017. – № 1 (55). – P. 43-51.
12. UNECE Regulations 110.
13. Erokhov V.I. Safety and efficiency of gas car operation on compressed natural gas // Transport on alternative fuel. – 2017. – № 5 (59). – P. 5-20.
14. Erokhov V.I. Exhaust gas recirculation systems of modern engines // Transport on alternative fuel. – 2013. – № 4 (34). – P. 36-42.
15. Erokhov V.I. Ecological efficiency of a gas car on compressed natural gas // Transport on alternative fuel. – 2017. – № 2 (56). – P. 21-32.



## Авторы статей в журнале № 3 (69) 2019 г.

**Аксютин Олег Евгеньевич**,  
заместитель председателя правления – начальник департамента ПАО  
«Газпром», д.т.н., член-корреспондент РАН,  
тел. +7 (495) 719-27-49, e-mail: T.Diveeva@adm.gazprom.ru

**Голосов Андрей Сергеевич**,  
к.т.н., заведующий сектором ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ»,  
e-mail: golosow@mail.ru

**Грачев Владимир Александрович**,  
главный научный сотрудник лаборатории высококонцентрированных  
дисперсных систем ИФХЭ РАН, ФГБУН Институт физической химии и  
электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН, д.т.н., член-корреспондент РАН,  
тел. +7 (495)952-5681, e-mail: vagrachev@gmail.com

**Дидманидзе Отари Назирович**,  
член-корр. РАН, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой  
«Тракторы и автомобили» имени академика В.Н. Болтинского,  
ФГБОУ ВО «РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева», институт механики  
и энергетики им. В.П. Горячкина,  
тел. +7 (499) 976-10-14, e-mail: Didmanidze@rgau-msha.ru

**Ерохов Виктор Иванович**,  
д.т.н., профессор Московского политехнического  
университета (Московский Политех), Заслуженный деятель науки РФ,  
адрес: 107023, г. Москва, ул. Большая Семёновская, д. 38,  
тел. м. 8 916-150-17-87, e-mail: PDO@mami.ru

**Зеленцов Андрей Александрович**,  
к.т.н., доцент кафедры «Поршневые двигатели»  
МГТУ им. Н.Э. Баумана, e-mail: zelentsov.aa@gmail.com

**Зыков Сергей Анатольевич**,  
к.т.н., профессор кафедры «Тракторы и автомобили»  
имени академика В.Н. Болтинского, ФГБОУ ВО «РГАУ-МСХА  
им. К.А. Тимирязева», институт механики и энергетики  
им. В.П. Горячкина, тел. +7 (499) 977-14-33, e-mail: sabi@timacad.ru

**Ишков Александр Гаврилович**,  
заместитель начальника департамента – начальник управления  
ПАО «Газпром», д.х.н., e-mail: A.Ishkov@adm.gazprom.ru

**Кавтарадзе Реваз Зурабович**,  
д.т.н., профессор кафедры «Поршневые двигатели»  
МГТУ им. Н.Э. Баумана, e-mail: kavtaradzerz@mail.ru

**Козлов Андрей Викторович**,  
д.т.н., заведующий отделом ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ»,  
e-mail: a.kozlov@nami.ru

**Лиханов Виталий Анатольевич**,  
доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой  
Тепловых двигателей, автомобилей и тракторов ФГБОУ ВО Вятская  
ГСХА, 610017, г. Киров, Октябрьский проспект, 133,  
e-mail: lihanov.fsp@mail.ru, тел. (8332) 57-43-07

**Лопатин Олег Петрович**,  
к.т.н., доцент ФГБОУ ВПО Вятская ГСХА, служебный адрес: 610017, г.  
Киров, Октябрьский проспект, 133, кафедра ДВС,  
р.т. 8 (8332) 37-57-28, м.т. 912 361-77-55, e-mail: nirs\_vsaa@mail.ru

**Меньшиков Илья Евгеньевич**,  
научный сотрудник лаборатории сорбционных процессов ИФХЭ РАН,  
ФГБУН Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумки-  
на РАН, к.х.н., тел. +7 (495)952-5681, e-mail: i.menshchikov@phyche.ac.ru

**Онищенко Дмитрий Олегович**,  
д.т.н., профессор кафедры «Поршневые двигатели»  
МГТУ им. Н.Э. Баумана, e-mail: doctor@baumanracing.ru

**Романов Константин Владимирович**,  
начальник отдела ПАО «Газпром», к.э.н.,  
e-mail: K.Romanov@adm.gazprom.ru

**Слепцов Олег Николаевич**,  
к.т.н., доцент кафедры «Тракторы и автомобили»  
имени академика В.Н. Болтинского, ФГБОУ ВО «РГАУ-МСХА  
им. К.А. Тимирязева», институт механики и энергетики  
им. В.П. Горячкина, +7 (495) 977-23-77, e-mail: mabill@yandex.ru

**Тетеревлёв Роман Викторович**,  
главный технолог ПАО «Газпром»,  
e-mail: R.Teterevlev@adm.gazprom.ru

**Фомкин Анатолий Алексеевич**,  
зав. лабораторией сорбционных процессов ИФХЭ РАН,  
ФГБУН Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумки-  
на РАН, д.ф.-м.н., тел. +7 (495)952-5681, e-mail: fomkin@phyche.ac.ru

**Цивадзе Аслан Юсупович**,  
научный руководитель ИФХЭ РАН, ФГБУН Институт физической  
химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН, д.х.н.,  
действительный член РАН, тел. +7 (495)952-5681,  
e-mail: tsiv@phyche.ac.ru

**Школин Андрей Вячеславович**,  
ведущий научный сотрудник лаборатории сорбционных процессов  
ИФХЭ РАН, ФГБУН Институт физической химии и электрохимии им.  
А.Н. Фрумкина РАН, к.х.н., тел. +7 (495)952-5681,  
e-mail: shkolin@phyche.ac.ru

## Contributors to journal issue No 3 (69) 2019

**Aksyutin Oleg**,  
Deputy Chairman of the Board, Head of the Department,  
PJSC Gazprom, Doctor of Engineering Science, Corresponding  
Member of the Russian Academy of Sciences, tel. +7 (495) 719-27-49,  
e-mail: T.Diveeva@adm.gazprom.ru

**Didmanidze Otari**,  
corresponding member of the Russian Academy of Sciences, Doctor  
of Engineering Science, Professor, head of the Department «Tractors  
and cars» named after akad. W.N. Boltinsky, Russian State Agrarian University –  
Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Institute  
Of Mechanics and Energy Named After V.P. Goryachkin,  
e-mail: Didmanidze@rgau-msha.ru

**Erokhov Viktor I.**,  
the professor of the Moscow state technical university (MAMI),  
Dr.Sci.Tech., the Honored worker of a science of the Russian Federation,  
e-mail: PDO@mami.ru

**Fomkin Anatoly**,  
Head of Laboratory of Sorption Processes, Frumkin Institute of Physical  
chemistry and Electrochemistry Russian academy of sciences (IPCE RAS),  
Doctor of Physics and Mathematics, tel. +7 (495) 952-5681,  
e-mail: fomkin@phyche.ac.ru

**Golosov Andrej**,  
PhD, research assistant of Bauman Moscow State Technical University,  
mobile phone: +7 9031522583, e-mail: golosow@mail.ru

**Grachev Vladimir**,  
Chief Researcher, Laboratory of Highly Concentrated Disperse Systems,  
Frumkin Institute of Physical chemistry and Electrochemistry Russian academy  
of sciences (IPCE RAS), Doctor of Engineering Science, Corresponding  
Member of the Russian Academy of Sciences,  
tel. +7 (495) 952-5681, e-mail: vagrachev@gmail.com

**Ishkov Alexander**,  
deputy chief of department – managing director,  
Public Joint Stock Company Gazprom, Doctor of Chemistry,  
e-mail: A.Ishkov@adm.gazprom.ru

**Kavtaradze Revaz**,  
professor of Bauman Moscow State Technical University, Doctor of Engineering,  
mobile phone: 8 910 469-00-12, office phone: (499) 265-78-92, e-mail:  
kavtaradzerz@mail.ru

**Kozlov Andrej**,  
Dr. Sci. Tech., Chief Scientist of NAMI, office phone: + 7 (495) 454-01-91

**Likhanov Vitaly**,  
Academician of RTA, Professor of Vyatka State Agricultural Academy,  
Dr. Sci. Tech., phone: +7 (8332) 57-43-07, e-mail: info@vgsaa.info

**Lopatin Oleg**,  
Ph.D., Associate Professor of Vyatka State Agricultural Academy,  
phone: + (8332) 37-57-28, e-mail: nirs\_vsaa@mail.ru

**Menshchikov Ilya**,  
Researcher, Laboratory of Sorption Processes, Frumkin Institute of Physical  
chemistry and Electrochemistry Russian academy of sciences (IPCE RAS),  
Candidate of Chemistry, tel. +7 (495) 952-5681,  
e-mail: i.menshchikov@phyche.ac.ru

**Onishchenko Dmitry**,  
professor of Bauman Moscow State Technical University, Doctor of Engineering,  
mobile phone: +7 925 475-75-70, e-mail: doctor@baumanracing.ru

**Romanov Konstantin**,  
head of section, Public Joint Stock Company Gazprom, PhD in Economics,  
e-mail: K.Romanov@adm.gazprom.ru

**Shkolin Andrej**,  
Leading Researcher, Laboratory of Sorption Processes, Frumkin Institute of  
Physical chemistry and Electrochemistry Russian academy of sciences (IPCE  
RAS), Candidate of Chemistry, tel. +7 (495) 952-5681,  
e-mail: shkolin@phyche.ac.ru

**Sleptsov Oleg**,  
Candidate of Engineering Science, associate Professor of the Department  
«Tractors and cars» named after akad. W.N. Boltinsky, Russian State Agrarian  
University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy,  
Institute Of Mechanics and Energy Named After V.P. Goryachkin,  
e-mail: mabill@yandex.ru

**Teterevlev Roman**,  
chief technologist (Public Joint Stock Company Gazprom),  
phone: + 7 9169734192, e-mail: R.Teterevlev@adm.gazprom.ru

**Tsvadze Aslan**,  
Academic Director, Frumkin Institute of Physical chemistry and  
Electrochemistry Russian academy of sciences (IPCE RAS),  
Doctor of Chemistry, full member of the Russian Academy of Sciences,  
phone: +7 (495) 952-5681, e-mail: tsiv@phyche.ac.ru

**Zelentsov Andrej**,  
Dr., Associate Professor of Bauman Moscow State Technical University,  
phone: + 7 9169734192, e-mail: zelentsov.aa@gmail.com

**Zykov Segrey**,  
Candidate of Engineering Science, Professor, head of the Department «Tractors  
and cars» named after akad. W.N. Boltinsky, Russian State Agrarian University -  
Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Institute Of Mechanics and Energy  
Named After V.P. Goryachkin, e-mail: sabi@timacad.ru