



ТРАНСПОРТ НА АЛЬТЕРНАТИВНОМ ТОПЛИВЕ



№ 6 (72) 2019



8 000 километров на метане

ПМГФ-2019: актуальные вопросы отрасли

Сравнение традиционного и водородного дизелей

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. Грачев зав. кафедрами РУДН, д.т.н.

В.И. Ерохов

профессор «Московского Политеха», д.т.н.

В.Л. Зинин начальник 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.

В.В. Миклушевский

ректор «Московского Политеха», профессор, д.э.н.

Б.А. Моргунов директор Института экологии НИУ ВШЭ, д.г.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 (495) 641 05 88

Отдел подписки и рекламы

E-mail: a.tavdidishvili@ngvrus.ru

www.ngvrus.ru

Перевод

А.И. Хлыстова

Компьютерная верстка

И.В. Шерстюк

Отпечатано с представленного электронного оригинал-макета в типографии

«ГалерПринт»

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

Номер заказа

Сдано на верстку 15.10.2019 г.

Подписано в печать 15.11.2019 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
8 000 километров на экономичном и экологичном топливе.	9
Подписаны документы по развитию отечественного газомоторного рынка	11
Господдержка развития рынка газомоторного топлива	13
ПМГФ-2019: ключевые игроки газовой индустрии обсудили актуальные вопросы отрасли	15
Выставка газобаллонного, газозаправочного оборудования и техники на газомоторном топливе GasSuf.	22
Обзор международного рынка ГМТ	24
Будущее водорода Использование возможностей сегодняшнего дня	32
Кавтарадзе Р.З., Голосов А.С., Ичунь Ван, Чэн Жунжун, Чжан Цытянь Сравнительный анализ образования оксидов азота в камерах сгорания традиционного и водородного дизелей	38
Шишков В.А. Способ управления двигателем внутреннего сгорания на газовом топливе.	47
Газомоторное топливо повышает эффективность работы сельхозпредприятий.	53
Ерохов В.И. Экологические и топливно-энергетические показатели однопаливных газобаллонных автомобилей при работе на КПП	54
Abstracts of articles	78
Авторы статей в журнале № 6 (72) 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.

Professor of the Moscow Polytech, 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

Miklushevsky, V.V.

Rector of the Moscow Polytech, Professor,

Doctor of Science

Morgunov, B.A.

Director, Institute of Ecology,

National Research University Higher School of Economics,

Doctor of Geographic Sciences

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

Rybalsky, N.G.

Professor, Moscow State University M.V. Lomonosov, Doctor of Sciences

Yarygin, G.A

Professor, Institute of Fine Chemical Technologies named M.V.

Lomonosov, Doctor of Engineering Sciences

Zinin, V.L.

Head of Division Gazprom PJSC, Director, NGVA, Candidate of
Economic Sciences, deputy chief editor

Editor

Ershova, O.A.

E-mail: transport.1@ngvrus.ru

Phone.: +7 (495) 641 05 88

Subscription and Distribution Department

E-mail: a.tavdidishvili@ngvrus.ru

www.ngvrus.ru

Translation by

Khlystova, A.I.

Computer imposition

Sherstyuk, I.V.

Order number

Passed for press on 15.10.2019

Endorsed to be printed on 15.11.2019

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
8,000 Kilometers on Economical and Environmentally Friendly Fuel	9
Documents on the Development of the Native NGV Fuel Market are Signed	11
SPIGF-2019: Key Players in Gas Industry Discussing Current Industry Issues	15
Exhibition of Compressed-gas, Gas-filling Equipment and Gas-powered Equipment on GasSuf NGV Fuel	22
Review of the International NGV Fuel Market.	24
Future of hydrogen <i>Harnessing the potential of today</i>	32
Revaz Z. Kavtaradze, Andrey Golosov, Yichun Wang, Cheng Rongrong, Zhang Citian A comparative analysis of nitrogen oxides formation in the combustion chambers of traditional and hydrogen engines	38
Vladimir Shishkov Control Method of Internal Combustion Engine on Gas Fuel	47
NGV Fuel Increases the Efficiency of Agricultural Enterprises	53
Victor Erokhov Ecological and fuel and energy indicators of single-fuel gas-filled cars when working on CNG	54
Abstracts of articles	78
Contributors to journal issue № 6 (72) 2019 г.	80

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



ООО «Автомобильный завод «ГАЗ»

Ведущий производитель коммерческого транспорта в России. Выпускает лёгкие и среднетоннажные коммерческие автомобили для малого и среднего бизнеса, различных отраслей промышленности, коммунального хозяйства, сельхозпредприятий, медицинских и школьных учреждений в РФ и за рубежом. Занимает лидирующие позиции на рынке РФ: свыше 50% в сегменте лёгких коммерческих автомобилей, около 70% – в сегменте среднетоннажных грузовиков. Единственный среди производителей комплектует свои автомобили четырьмя типами двигателей: дизельными, бензиновыми, газовыми и биотопливными (газ+бензин). Обладает широкой дилерской сетью: более 220 центров продаж и 1650 фирменных магазинов запчастей. Основные модели выпускаемой техники: «ГАЗель NEXT», «ГАЗон NEXT», «ГАЗель БИЗНЕС», «Соболь БИЗНЕС», «Садко».



АО «Агентство Прямых Инвестиций»

Независимая российская инвестиционно-консалтинговая компания.



ООО «АК-БУР СЕРВИС»

Транспортные услуги на месторождениях в районах Крайнего Севера.



ООО «АТС-сервис»

Производство и переоборудование автотранспорта на КПП, производство ПАГЗ, поставка технологического оборудования для АГНКС.



ЗАО «БАРРЕНС»

Проектирование АГНКС, производство и поставка оборудования для АГНКС, ПАГЗ, МКПП и их комплектующих.



ООО «Бауэр Компрессоры»

Производство компрессоров, комплектных АГНКС.



ООО «БелТракСервис»

Технический центр по ремонту, обслуживанию и продаже газомоторной техники. Продажа запасных частей и комплектующих.



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 КПП (железнодорожного, морского, автомобильного).



АО «ВНИКТИ»

Проведение фундаментальных и прикладных исследований в области железнодорожного транспорта. Разработка локомотивов, работающих на СПГ.



ООО «Газкомплент»

Полный спектр услуг в области производства газовых автомобилей и переоборудования транспорта на газовое топливо.



DIGITRONIC

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.

Члены Ассоциации



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



ООО «Газпром добыча Уренгой»
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 Ямбург»
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 ПХГ»
Компания объединяет в своей структуре подземные хранилища газа, расположенные на территории РФ. В настоящее время компания эксплуатирует 22 хранилища, созданных в 26 геологических структурах (17 – в истощенных газовых месторождениях, 8 – в водоносных структурах, 1 – в отложениях каменной соли). Эксплуатационный фонд скважин ПХГ – 2 685.



ООО «Газпром СПГ технологии»
ООО «Газпром СПГ технологии» – специализированная компания в составе Группы Газпром, назначенная единым оператором по реализации проектов малотоннажного производства СПГ ПАО «Газпром». Компания реализует комплексный подход к развитию инфраструктуры производства и реализации СПГ на территории РФ. Основным направлением деятельности является строительство малотоннажных комплексов по сжижению природного газа. Компания дополнительно занимается логистикой доставки СПГ до пунктов его реализации, сбытовой инфраструктурой, переводом транспорта и оборудованием конечных потребителей для использования СПГ в качестве топлива для двигателей внутреннего сгорания и энергоустановок.



ОАО «Газпром трансгаз Беларусь»
Реализация КПГ, переоборудование транспортных средств на газомоторное топливо.



ООО «Газпром трансгаз Волгоград»
Транспорт газа, строительство и обслуживание АГНКС, переоборудование автомобилей на КПГ.



ООО «Газпром трансгаз Екатеринбург»
Транспорт газа, строительство и обслуживание АГНКС, переоборудование автомобилей на КПГ.



ООО «Газпром трансгаз Казань»
Транспорт газа, строительство и обслуживание АГНКС, переоборудование автомобилей на КПГ.



ООО «Газпром трансгаз Краснодар»
Транспорт газа, строительство и обслуживание АГНКС, переоборудование автомобилей на КПГ.



ООО «Газпром трансгаз Махачкала»
Транспорт газа, строительство и обслуживание АГНКС, переоборудование автомобилей на КПГ.



ООО «Газпром трансгаз Москва»
Транспорт газа, строительство и обслуживание АГНКС, переоборудование автомобилей на КПГ.



ООО «Газпром трансгаз Нижний Новгород»
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 Санкт-Петербург»
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.



ООО «Газпром энерго»
Оказание услуг по распределению и передаче электрической энергии; оказание услуг по производству, распределению и передаче тепловой энергии; оказание услуг водоснабжения (добыча/забор, очистка, передача и распределение питьевой, фильтрованной, технической и речной воды) и водоотведения (удаление, утилизация и обработка сточных вод, других бытовых и производственных отходов); создание и эксплуатация единой многоуровневой автоматизированной системы коммерческого учета электроэнергии (АСКУЭ).



АО «Газпром энергосбыт»
Один из крупнейших энерготрейдеров России. Основной задачей компании является оптимизация сбыта электроэнергии предприятиям группы «Газпром». Сегодня более 500 крупных и средних потребителей электроэнергии в 32 субъектах РФ являются абонентами компании.



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.



ООО «Гарант-газ»
Компания оказывает услуги по установке газового оборудования на инжекторные и карбюраторные автомобили отечественного и иностранного производства. Сеть компании включает 18 автосервисов в 18 городах России.



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



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.

АО «Грасис Инжиниринг»
Инженеринговые услуги.



ПАО «ГТЛК»
Крупнейшая лизинговая компания России. Поставляет в лизинг воздушный, водный и железнодорожный транспорт, энергоэффективный пассажирский транспорт, автомобильную и специальную технику, осуществляет инвестиционную деятельность в целях развития транспортной инфраструктуры. Единственный акционер компании - Российская Федерация в лице Минтранса РФ.



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 автомобильныегазовые заправочные колонки, системы управления газовыми компрессорами высокого давления, автоматику и программное обеспечение для АГНКС и ПАГЗ.



ООО «Ивеко Россия»
Официальный представитель компании IVECO в России. Компания работает в России начиная с 1974 года. В настоящий момент представляет три бренда: IVECO, IVECO Bus, IVECO Astra. Производство грузовых автомобилей и автобусов.



ООО ИК «ПромТехСервис»
Проектирование, строительство, реконструкция, перевооружение, и обслуживание АЗС, МАЗС и АГНКС, а также комплексная поставка оборудования и запасных частей для данных объектов.



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.

Члены Ассоциации



ООО «Интехгаз»

Определение количественного и качественного состава газомоторного топлива, поставка газоиспользующего и газобалонного 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.



KAMAZ

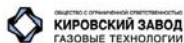
ПАО «КАМАЗ»

Производство грузовой и специализированной автомобильной техники.



ООО «КИМАКО»

Дистрибуция промышленного оборудования, производимого в Южной Корее.



ООО «Кировский завод Газовые технологии»

Строительство АГНКС под ключ: строительно-монтажные работы, технический надзор;

Проектирование: проектно-испытательные 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 «ЛЕВИТЕК»

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 строительно-монтажные работы.



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 «Мониторинг Вентиль и Фитинг»

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



ПАО «Мосэнерго»

Крупнейшая территориальная генерирующая компания России, основной производитель электроэнергии и тепла в Московском регионе. В составе компании работают 15 теплоэлектроцентралей, более 30 районных и квартальных тепловых станций. Установленная электрическая мощность «Мосэнерго» – 12,8 тыс. МВт, тепловая – более 43 тыс. Гкал/ч.



ООО «НИИгазэкономика»

Головной научный центр ПАО «Газпром» в области экономики, организации управления и прогнозирования развития отрасли, имеет 15 научных центров. Ведёт работы по следующим научным направлениям: стратегическое планирование и управление рисками; экономика отрасли; энергетические рынки, ценообразование и тарифная политика; инвестиции и финансы, нормативные исследования; корпоративное управление; информационные технологии.

**ООО «НИИ экологии НГП»**

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

**ООО «НОВАТЭК» - Автозаправочные комплексы**

Создание инфраструктуры для развития рынка газомоторного топлива в РФ: строительство АГНКС, КриоАЗС, КСПГ и прочих инфраструктурных объектов.

**ОАО «Новгородский завод газовой аппаратуры»**

Производство газозапорной и газорегулирующей аппаратуры.

**ООО НПК «ЛенПромАвтоматика»**

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

**ООО «НПК «НТЛ»**

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

**ОАО НПО «Гелиймаш»**

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

**ООО «НПО «НХП»**

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

**ООО НПФ «Реал-Шторм»**

Стальные барабаны, цистерны, газовые баллоны.

**ООО «HTA-Пром»**

Поставка трубной арматуры малого диаметра.

**ООО «Перспектива»**

Производство и освидетельствование газовых баллонов.

**ООО «ПетроГазТех»**

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

**ООО «Предприятие автомобильного транспорта и механизмов»**

Кузовной и слесарный ремонт, услуги спецтехники, пассажирские перевозки. Компания является дочерним предприятием ООО «Газпром нефтехим Салават». Основной задачей является обслуживание транспортом крупного предприятия РФ и Республики Башкортостан - ОАО Салаватнефтеоргсинтез, а также оказание автотранспортных услуг и услуг по ремонту ТС юридическим и физическим лицам.

**ООО «ПРОМГАЗ-ТЕХНОЛОГИЙ»**

Проектирование, производство и обслуживание оборудования для работы с СПГ и продуктами воздухоразделения. Выпускаемая продукция: криогенные поршневые насосы, мобильные и стационарные заправочные станции СПГ, азотные газификационные установки, испарители, запорная арматура.

**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.

**ООО «Региональная Газовая Компания»**

Строительство и эксплуатация собственных АГНКС в составе МАЗК.

**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 «РН Газотопливная компания»**

Создание инфраструктуры для развития рынка газомоторного топлива в РФ: строительство АГНКС, КриоАЗС, КСПГ и прочих инфраструктурных объектов. Реализация КПГ.

**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 «СПГ Проект Инжиниринг»**

Деятельность в области инженерных изысканий, инженерно-технического проектирования, управления проектами строительства, выполнения строительного контроля и авторского надзора, предоставление технических консультаций в этих областях.

**ООО «Тахограф»**

Продажа и обслуживание тахографов.

Члены Ассоциации



ПАО «ГТК-1»

Ведущий производитель электрической и тепловой энергии в Северо-Западном регионе России. Объединяет 53 электростанции в четырёх субъектах РФ: Санкт-Петербурге, Республике Карелия, Ленинградской и Мурманской областях. 19 из них расположены за Полярным кругом. Установленная электрическая мощность составляет 6,95 ГВт, тепловая – 13,75 тыс. Гкал/ч.



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 «Трансстрой»

Строительство, проектирование, газораспределение, эксплуатация объектов газоснабжения и газопотребления, обслуживание, консультирование в области промышленной безопасности, градостроительного законодательства, оформления линейных объектов. Лаборатория неразрушающего контроля. Строительство собственной АГНКС в составе МАЗК.



ООО «ТрансЭнергоСтройГрупп»

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



ООО УК «МЕТАЛЛОИНВЕСТ»

Производство стали, товарного горячебрикетированного железа.



ООО «Флюид-Лайн»

Поставка трубной арматуры низкого и высокого давления диаметром до 50 мм.



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 «ТК Экотранс»

Компания является крупнейшим предприятием Белгородской области по обращению с отходами. На ее долю приходится вывоз 58% и захоронение 45% ТКО по Белгородской области. Имеет автопарк на 314 единиц техники.



ООО «Эксайтон Групп»

Реализация и поставка газобаллонного оборудования.



Газпром ЭП Интернэшнл Б.В.

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



АО «Эр Ликвид Глобал И энд Си Солюшнс Франция»

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



Представительство Юнипер Глобал Коммодитиз СЕ

Участие в нефтегазовых и энергетических проектах.



АО «Яндекс Такси»

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



Fornovo Gas S.r.l.

Компания имеет 50-летний опыт работы с АГНКС и предлагает уникальные газомоторные решения: любые АГНКС на 100-500-1000-1500-2000 м³/час, дочерние дожимные компрессоры мощностью 22-55 кВт, метановые колонки, блоки аккумуляторов газа и т.д. Все модели могут быть оснащены системой oil free в соответствии со стандартом API618. Компания установила более 1200 компрессоров в 70 странах.



HYUNDAI MOTOR

Производство автомобилей. Компании принадлежит ряд автозаводов в Южной Корее, Турции, Северной Америке, Китае, Индии, Чехии, России и Бразилии.



KOA ENG CO., LTD

Инжиниринг и строительство АГНКС.



KwangShin Machine Industry Co., LTD

Производство поршневых компрессоров.



Servisarm

Предприятие образовано в 1997. За время работы компании было произведено более 20 тыс. шаровых кранов и другой запорной арматуры высокого давления, более 240 установок осушки природного газа, пять блочно-модульных АГНКС. В настоящее время компания специализируется на оборудовании для производства КПГ и СПГ.



АО UNIDOM Co.,LTD

Инжиниринговые услуги, проектирование и поставка газового оборудования широкого спектра.

8 000 километров на экономичном и экологичном топливе

Автопробеги техники на природном газе давно стали важным инструментом популяризации использования природного газа на транспорте. Они позволяют протестировать заводскую газомоторную технику, показать действующую и перспективную газозаправочную инфраструктуру, оценить экономическую эффективность использования природного газа в качестве моторного топлива.

Автопробег «Голубой коридор» впервые был организован в 2008 году Группой «Газпром». С 2010 года соорганизатором проекта стала компания Uniper SE. Позднее к проекту присоединились и другие участники европейского и российского газового и автомобильного рынков. За время существования проекта в нём приняли участие в общей сложности более 200 газовых автомобилей заводского производства на компримированном (КПГ) и сжиженном (СПГ) природном газе. Они проехали более 60 тыс. км по 130 городам 26 стран Европы и Азии от Атлантического до Тихого океана.



Участники автопробега

В этом году автопробег «Голубой коридор – Газ в моторы 2019» прошёл по территориям Европы и России. В мероприятии приняли участие более 20 легковых, грузовых и пассажирских транспортных средств, использующих в качестве топлива КПГ и СПГ. Общая протяжённость маршрута составила более 8000 км. Маршрут европейского участка автопробега проходил по территории Турции, Болгарии, Сербии, Хорватии, Словении, Италии, Бельгии, Австрии, Германии. Российский участок автопробега пролегал через Краснодарский край, Республику Адыгею, Ростовскую, Воронежскую, Курскую, Белгородскую, Тульскую, Московскую, Тверскую, Новгородскую и Ленинградскую области.

По маршруту движения состоялись встречи с участниками рынка газомоторного топлива, представителями органов государственной власти, экспертами, а также были организованы выставки техники участников автопробега.

Заправку транспорта компримированным природным газом на российском участке автопробега обеспечили 14 АГНКС «Газпром», сжиженным природным газом – передвижной автогазозаправщик, сопровождавший колонну, а также Криоблок на «Московском газоперерабатывающем заводе». Сегодня «Газпрому» принадлежит самое большое количество газозаправочных объектов в стране – 317 из 446, располагающихся на территории Российской Федерации.



Газовая техника подтвердила высокую надёжность и продемонстрировала экономическую эффективность использования природного газа в качестве моторного топлива. В частности, на российском участке (протяжённость – 2 760 км) расходы на заправку природным газом были в 2-3,5 раза ниже по сравнению с использованием традиционных видов топлива.

Например, затраты на заправку природным газом легкового автомобиля LADA Largus CNG на российском участке составили 2 742 рубля. То же расстояние на бензине обошлось бы в 9 680 рублей, экономия – 6 938 рублей. Ещё один участник российского участка автопробега Газон Next CNG потратил на природный газ 9 360 рублей, затраты на дизель составили бы 21 372 рубля. Таким образом, использование природного газа обеспечило экономию на топливе 12 012 рублей. КАМАЗ 5490 Neo во время автопробега использовал в качестве топлива СПГ. Затраты на заправку тягача сжиженным природным газом составили 16 560 рублей, экономический эффект – 23 978 рублей.

Отдел внешних коммуникаций
ООО «Газпром газомоторное топливо»

Подписаны документы по развитию отечественного газомоторного рынка

На прошедшем в начале октября IX Петербургском международном газовом форуме заместитель председателя правления ПАО «Газпром» Виталий Маркелов подписал с руководством ряда субъектов РФ и компаний документы по расширению использования природного газа в качестве моторного топлива.

Кроме этого, с вице-губернатором Санкт-Петербурга Максимом Шаскольским подписана дорожная карта по ускоренному развитию газомоторного рынка до 2024 года. В соответствии с документом «Газпром» обеспечит расширение газозаправочной сети в городе до 25 объектов (в настоящее время их шесть) и создание новых сервисных центров по переоборудованию и обслуживанию газомоторных автомобилей. Усилия правительства Санкт-Петербурга будут направлены, в частности, на увеличение количества техники, использующей природный газ, в парках дорожно-коммунальных служб и автотранспортных пассажирских предприятий.

Также подписана дорожная карта до 2024 года с заместителем председателя по строительству правительства Ленинградской области Михаилом Москвиным.

На территории области сегодня действуют четыре газозаправочных объекта «Газпрома». Компания планирует довести их число до 22 единиц, в том числе построить автомобильные газонаполнительные компрессорные станции (АГНКС) и криогенные автозаправочные станции (КриоАЗС, заправка как сжиженным, так и компримированным природным газом). Их предполагается разместить в Бокситогорском, Всеволожском, Выборгском, Кировском, Ломоносовском, Лужском, Приозёрском, Сланцевском, Тосненском районах и Сосновоборгском городском округе.

Правительство Ленинградской области, в частности, обеспечит разработку и реализацию мер по стимулированию приобретения газомоторных транспортных средств и переоборудованию автомобилей для использования природного газа со стороны организаций всех форм собственности и частных лиц.

Ещё один совместный проект ускоренного развития газомоторного рынка будет реализован в Калининградской области. Дорожная карта до 2024 года подписана с заместителем председателя правительства Калининградской области Александром Рольбиновым. Документ предусматривает создание в регионе газозаправочной сети «Газпрома» из 13 объектов (в настоящее время их пять). В частности, вместо площадок для размещения передвижных автогазозаправщиков в городах Калининград, Советск и Черняховск предполагается построить современные АГНКС. Три дополнительных станции запланированы в Калининграде. В планах компании также сооружение АГНКС в городах Гусев, Светлый, Пионерский и посёлке Новосёлово. Правительство области будет содействовать приросту парка автотранспорта, использующего в качестве моторного топлива природный газ. Речь идёт, в первую очередь, о промышленных, транспортных и таксомоторных предприятиях.

С губернатором Нижегородской области Глебом Никитиным и заместителем главы администрации Липецкой области Ильёй Тузовым подписаны соглашения о расширении использования газа в качестве моторного топлива.

Документы, в частности, предусматривают совместные и согласованные

действия сторон по развитию газозаправочной инфраструктуры в регионах и синхронизированному увеличению парка техники на природном газе, а также организации пунктов переоборудования и технического обслуживания газомоторных автомобилей.

Дорожная карта, направленная на реализацию проектов строительства комплекса по сжижению природного газа (СПГ) и сооружению сети КриоАЗС, подписана с заместителем премьер-министра Республики Татарстан – руководителем аппарата кабинета министров Республики Татарстан Шамилем Гафаровым. Стороны определяют потенциальных потребителей в регионе и необходимые им ежегодные объёмы СПГ. Затем будут выбраны места размещения комплекса по производству СПГ и КриоАЗС. «Газпром» планирует завершить их строительство в 2022 году. Правительство республики разработает специальную региональную программу стимулирования развития рынка СПГ.

Дорожная карта по стратегическому взаимодействию в области использования газомоторного топлива подписана с членом правления – управляющим директором ООО «СИБУР» Павлом Ляховичем. В соответствии с документом, «Газпром» планирует в 2020 году реализовать пилотный проект по строительству газозаправочного объекта в г. Тобольске – на ключевой производственной площадке СИБУРа. На основе полученного опыта стороны определяют дальнейшие направления взаимодействия.

С председателем совета директоров – генеральным конструктором АО «Центральное конструкторское бюро по судам на подводных крыльях имени Р.Е. Алексеева» Георгием Анцевым подписана дорожная карта по реализации меморандума о сотрудничестве в области использования природного газа в качестве моторного топлива на водном транспорте. Документом предусмотрена, в частности, разработка технических заданий на проектирование судового двигателя на природном газе, системы хранения газомоторного топлива на скоростных судах, типовых решений для бункеровки СПГ на внутреннем водном транспорте и создания отечественными предприятиями плавучих пунктов заправки речных судов. Стороны подготовят технико-экономическое обоснование пилотного проекта строительства и эксплуатации судна (или судов) на СПГ.

С генеральным директором ООО «Хендэ Мотор Мануфактуринг Рус» Сон Кёнксу подписано Соглашение о сотрудничестве. В числе ключевых направлений взаимодействия сторон – расширение линейки выпускаемой в России газомоторной техники. «Хендэ Мотор Мануфактуринг Рус» принадлежит один из крупнейших отечественных заводов по производству легковых автомобилей.

С Генеральным директором ООО «Объединенная машиностроительная группа» Дмитрием Стрежневым подписано Соглашение о стратегических направлениях сотрудничества. Совместная работа сторон будет нацелена, в частности, на организацию производства новых образцов грузовой и специальной техники на газомоторном топливе, совершенствование её технико-эксплуатационных показателей. Отдельное внимание будет уделено проработке предложений в области импортозамещения и локализации производства газового оборудования и автокомпонентов.

Генеральный директор АО «Газпром бытовые системы» Алексей Самсоненко и председатель совета директоров итальянской компании Savagna Group S.p.A. Эцио Каванья подписали Меморандум о намерениях. Стороны изучат возможность создания в России совместного предприятия по производству различных видов газобаллонного оборудования, которое отечественные автопроизводители в настоящее время закупают за рубежом. В том числе будет проработан вопрос локализации выпуска элементов такого оборудования.

По материалам Управления информации ПАО «Газпром»

Господдержка развития рынка газомоторного топлива

В октябре состоялось отраслевое совещание «Опережающее развитие инфраструктуры – стратегия развития рынка газомоторного топлива», которое прошло в рамках Российской энергетической недели. Работой заседания руководил заместитель председателя правительства Российской Федерации Дмитрий Козак. От Национальной газомоторной ассоциации в совещании принял участие исполнительный директор НГА Василий Зинин.

«В целях повышения конкурентоспособности транспортной отрасли и улучшения экологии в 2019 году начался новый этап развития ГМТ – реализация стратегии опережающего развития сети газомоторных заправочных станций, которая позволит создать необходимые условия для инвестиций в расширение парков машин на газомоторном топливе», – сказал Дмитрий Козак.

По его словам, в настоящее время для этого разработана полноценная программа, в том числе Дорожная карта, и параметры финансирования 27 регионов до 2024 года.

«Мы планируем достичь опережающего развития за счёт господдержки, однако поступательное развитие сети в регионах, не попавших в число приоритетных по Дорожной карте, не должно прекращаться. В ближайшие пять лет 50 млрд рублей будут направлены на переоборудование существующего транспорта и расширение линейки новой техники, поддержку спроса на газомоторные автомобили и строительство новых заправочных станций», – отметил Антон Инюцын.

Замминистра подчеркнул, что в качестве ключевых целевых показателей регионов будут учитываться количество заправочных станций и транспорта на газомоторном топливе.

В ходе совещания эксперты также детально обсудили задачи в области расширения инфраструктуры, увеличения модельного ряда техники на КПП и СПГ,



АГНКС «Газпром» в Москве

развития программы переоборудования и системных мер по стимулированию перехода на газомоторное топливо, популяризации ГМТ, создания условий для инвесторов. Кроме этого, главы регионов, присутствовавшие на мероприятии, высоко оценили программу льготного лизинга, закреплённую в Дорожной карте, а также подчеркнули значимость реализации программы.

Следует отметить, что с 2020 года меняется порядок предоставления субсидий на технику, использующую природный газ в качестве моторного топлива. Обсуждается государственная программа «Лизинг техники на газомоторном топливе». Она направлена на субсидирование покупки легковых автомобилей, автобусов, техники для ЖКХ и тракторов российского производства, использующих природный газ в качестве ГМТ.

Согласно принятой в правительстве программе развития рынка газомоторного топлива, субсидию получают следующие регионы:

- | | |
|--------------------------|----------------------------|
| 1 Белгородская область | 15 Пермский край |
| 2 Владимирская область | 16 Республика Адыгея |
| 3 Волгоградская область | 17 Республика Башкортостан |
| 4 Воронежская область | 18 Республика Татарстан |
| 5 г. Москва | 19 Удмуртская Республика |
| 6 г. Санкт-Петербург | 20 Чувашская Республика |
| 7 Краснодарский край | 21 Ростовская область |
| 8 Курская область | 22 Саратовская область |
| 9 Ленинградская область | 23 Ставропольский край |
| 10 Липецкая область | 24 Тверская область |
| 11 Московская область | 25 Тульская область |
| 12 Нижегородская область | 26 Ульяновская область |
| 13 Новгородская область | 27 Челябинская область |
| 14 Орловская область | |

Национальная газомоторная ассоциация более 20 лет является специализированным экспертным центром по развитию рынка ГМТ. Ежегодно на основе мониторинга и анализа лучших практик государственного регулирования НГА осуществляет выработку модельных нормативных, нормативно-технических и административных мер по развитию указанного сегмента. Так, в 2019 году эксперты Ассоциации принимали непосредственное участие в подготовке следующих документов:

- решений по механизмам предоставления субсидий для строительства газозаправочной инфраструктуры;
- примерного Плана мероприятий по развитию рынка природного газа как моторного топлива в субъекте Российской Федерации;
- модельной государственной программы субъекта Российской Федерации «Развитие рынка природного газа в качестве моторного топлива в субъекте Российской Федерации в 2019-2020 гг.» (размещена в электронном виде на официальном сайте Ассоциации ngvus.ru в разделе «База знаний»).

По материалам

<https://minenergo.gov.ru/node/15965>

ПМГФ-2019: ключевые игроки газовой индустрии обсудили актуальные вопросы отрасли

В конгрессно-выставочном центре «Экспофорум» (Санкт-Петербург) с 1 по 4 октября 2019 года состоялся IX Петербургский международный газовый форум. Его посетили более 30 000 участников из 55 стран, в том числе 5500 делегатов. В рамках выставочной программы свои разработки для газовой отрасли продемонстрировали 535 компаний.



На пленарном заседании «Стратегические приоритеты международного энергетического партнёрства» участники обсудили потенциал объединения усилий отрасли для выработки и распространения самого экологичного энергетического ресурса – газа.

Елена Бурмистрова, заместитель председателя правления компании «Газпром», генеральный директор компании «Газпром экспорт», в своём выступлении обозначила одну из ключевых задач отрасли, которая проявляется в попытках нефтегазовых компаний приспособить регулирующие нормы под потребности бизнеса. Она считает, что такой подход вредит экономической и правовой системе, инвестиционному климату, а также наносит отрасли репутационный ущерб. Спикер не оставила без внимания и экологическую повестку: «Мы должны подходить к делу с холодным рассудком. Мгновенно сократить выбросы CO₂ до нуля невозможно технологически, из-за этого тысячи людей могут лишиться рабочих мест, а такой результат не нужен никому».



Марио Мерен

Поддержал эту мысль Марио Мерен, председатель правления, главный исполнительный директор компании Wintershall Dea GmbH (Германия), сказав, что отрасль должна стремиться к выполнению климатических задач. «В Германии решили отказаться от угля, таким образом мы на 20 % снизили выбросы CO₂ в год. Это неплохой результат, учитывая, что наша промышленность одна из самых развитых», – поделился опытом спикер. Кроме того, он призвал игроков отрасли к объединению, так как это единственный способ, который позволит достичь процветания.

«Уильям Гершель открыл способ



Маартен Ветселаар



Джо М. Канг

измерения температуры света. Большинство на этом остановилось бы, но только не он. Гершель направил свет дальше красного спектра и таким образом открыл инфракрасное излучение. Нам нужно следовать его примеру – мыслить глобально и не считать, что мы уже всё открыли, а идти дальше», – призвал коллег Маартен Ветселаар, директор по газовому бизнесу и новым источникам энергии, член исполнительного комитета компании Royal Dutch Shell PLC (Великобритания, Нидерланды). Спикер считает, что несмотря на все достижения по сокращению выбросов углекислого газа отрасли рано почивать на лаврах.

Джо М. Канг, президент Международного газового союза, сделал акцент на сложностях перехода на новую энергетическую политику, поскольку осуществить это «по взмаху волшебной палочки» невозможно. Единственный доступный путь – инновации и технологии, для разработки которых все заинтересованные люди разных поколений должны объединиться. «Сейчас молодые люди сами говорят о климатической катастрофе, и это вызов для нас», – отметил глава Международного газового союза, имея в виду Грету Тунберг.

О смене энергетической парадигмы в Европе и переходе с угля и атомной энергетики на газ напомнил Ульф Хайт-

мюллер, председатель правления компании VNG AG (Германия). По его словам, непокрытая потребность Европы в газе составляет около 120 млрд кубометров в год, её могут удовлетворить поставки из России, поэтому компания так дорожит сотрудничеством с «Газпромом», которое длится уже 46 лет. «Роль России очень велика. Раньше была холодная война, трения, которые мешали строить тесные отношения, но посмотрите, чего удалось достичь в сотрудничестве Германии с «Газпромом». Полвека назад газового рынка вообще не было. Он был построен нашими совместными усилиями. Это и «Северный поток – 2», и строительство подземного газового хранилища «Катарина», и другие совместные проекты», – подчеркнул Хайтмюллер.

Райнер Зеле, председатель правления, главный исполнительный директор компании OMV AG (Австрия), заявил, что Европейский союз не вкладывается в развитие газовой инфраструктуры и блокирует сторонние инвестиции. «Газпром» готов инвестировать деньги в инфраструктуру, мы вместе делим риски, и если третьи стороны пытаются заблокировать нашу инвестиционную деятельность,



Ульф Хайтмюллер



Лин Сяо

то мы должны пересмотреть условия партнёрства», – добавил он. Спикер также отметил, что европейский рынок жаждет импорта, поэтому поставщикам придётся предлагать конкурентные условия и вкладываться в диверсификацию путей поставок.

Лин Сяо, вице-президент компании PetroChina Company Limited (Китай), поделился с участниками заседания перспективами китайского рынка сбыта. «Китай будет следовать Парижскому соглашению по климату. Наша страна – лидер по выбросам, и газ поможет нам изменить это. К 2020 году доля газа в структуре первичного потребления составит 10 %, а к 2030 году – 15 %», – сообщил он. По прогнозам эксперта, к 2035 году спрос Китая на газ будет составлять около 24 % от мирового спроса, а потребность в этом энергетическом ресурсе составит 610 млрд кубометров в год к 2035 году и 900 млрд – к 2050-му.

Деловая программа ПМГФ в этом году объединила более 90 мероприятий в рамках 15 тематических направлений: социальная и кадровая политика нефтегазового комплекса; молодёжный день; международный диалог; газомоторное топливо; продукты природного газа; проектирование; газораспределение и газопотребление; автоматизация нефтегазовой отрасли и ИТ; технологическое развитие; импортозамещение

и экспорт в нефтегазовом секторе; энергетика и газ; нефть; инвестиции и финансирование; экология; водород.

В рамках Газового форума состоялся финиш традиционного международного автопробега «Голубой коридор – газ в моторы 2019», стартовавшего 29 августа в Турции. В церемонии по итогам пробега приняли участие председатель совета директоров компании «Газпром» Виктор Зубков, вице-президент по закупкам газа компании Uniper SE (Германия) Уве Фип, заместитель председателя правления компании «Газпром» Виталий Маркелов, член правления компании «Газпром» Вячеслав Михаленко, генеральный директор компании «Газпром газомоторное топливо» Олег Мелёхин. На мероприятии представили транспортные средства, проехавшие российский участок «Голубого коридора» на компримированном природном газе (КПГ).

Состав участников был патриотичным: компактный автомобиль LADA Vesta, двухтопливный минивэн LADA Largus, грузовой автомобиль ГАЗон NEXT, автобус Lotos. Немецкий Volkswagen тоже принял участие в пробеге по России,



Участники автопробега

подчёркивая партнёрство Германии и компании Uniper SE в проекте «Голубой коридор – газ в моторы».

В павильонах «Экспофорума» на площади 40 000 м² все дни активно функционировала экспозиция ПМГФ, включавшая три международных специализированные выставки – «InGAS Stream – Инновации в газовой отрасли», «Газомоторное топливо», «Рос-Газ-Экспо», а также специализированная экспозиция «Импортозамещение в газовой отрасли». Впервые на площадке Форума была представлена корпоративная экспозиция компании «Газпром» – «Современные отечественные технологии в газовой отрасли», продемонстрировавшая комплекс оборудования и технологий, используемых в процессах добычи, транспортировки, распределения, подземного хранения и переработки газа. Тематика экспозиции объединила в себе основные сферы нефтегазовой отрасли: от добычи углеводородов до газораспределения.

Новинки нефтегазового рынка масштабно и концептуально представили более 500 крупнейших компаний: «Газпром», OMV AG, Wintershall Dea, Uniper SE, Cavagna Group S.p.A., «Северсталь», ГК «Комита», Boskalis, «Газпром автоматизация», «Трубная металлургическая компания», «Загорский трубный завод», «Группа ГМС», «Концерн ВКО «Алмаз-Антей», «ЧТПЗ», «Салаватский катализаторный завод», «Вега-ГАЗ», «Межрегионгаз технологии», «Газпром СтройТЭК Салават», «Газпром бурение», «Газпром газомоторное топливо», «Газпром межрегионгаз», «Газпром СПГ технологии», «Объединённая металлургическая компания» и другие.

На стенде Загорского трубного завода презентовали инсталляцию на тему космоса, которая символизировала открывающиеся перед Россией горизонты в развитии газовой отрасли. «Национальный Буровой Сервис» (НБС) продемонстрировал систему управления отходами бурения и вторичными ресурсами, а также инновационные системы, реагенты и композиции для повышения эффективности строительства скважин. На стенде компании Uniper SE была создана праздничная атмосфера – экспозиция была посвящена 50-летию поставок российского газа в Германию, Дню германского единства и Октоберфесту.

На коллективном стенде компаний «Газпром газомоторное топливо» и «Газпром СПГ технологии» в режиме телемоста состоялась церемония ввода



в эксплуатацию трёх газозаправочных объектов инфраструктуры сети АГНКС «Газпром». Председатель совета директоров компании «Газпром» Виктор Зубков принял доклады управляющих и торжественно дал команду не поднимать цены на отпускной газ.

Сотрудники «ЧТПЗ» на своём стенде презентовали новую продуктовую линейку емкостного оборудования ЭТЕРНО INGENIUM и макет узла трубопровода, изготовленного с применением технологии лазерной сварки.

Важной частью конгрессной программы стала ежегодная Кадровая конференция, организованная при поддержке Минэнерго России. Тема социальной и кадровой политики нефтегазового комплекса объединила в себе цикл панельных дискуссий, заседаний и сессий. Ведущие HR-специалисты уделили особое внимание нескольким ключевым факторам: взаимодействию предприятий и вузов; цифровой трансформации бизнес-процессов; повышению производительности труда; уникальным кадровым и социальным проектам.

В рамках ПМГФ–2019 традиционно прошёл «Молодёжный день – энергетика будущего», который собрал молодых специалистов из 11 стран мира: Германии, Австрии, Швейцарии, Великобритании, Италии, Франции, Венгрии, Белоруссии, Боливии, Китая, России. В этом году партнёрами Молодёжного дня впервые стали компании Siemens, Schneider Electric, Energy Delta Institute.

Участники мероприятия работали все дни: в ходе бизнес-квеста учились принимать инвестиционные решения и оценивать их последствия, придумывали способы обеспечения энергией крупного городского района, дискутировали с топ-менеджерами компаний о будущем мировой энергетики.

В дни Форума состоялось одно из главных конгрессных мероприятий – совещание по вопросам технологического развития компании «Газпром», куда вошли пленарное заседание на тему «Отраслевая нефтегазовая инициатива – международный институт нефти и газа», круглые столы «Шельф» и «Распределённая генерация. Собственная генерация или сети – два ответа на один вопрос», торжественная церемония награждения молодёжного конкурса «Нефтегазовые проекты: взгляд в будущее».



«Молодёжный день»

В масштабах сотрудничества с Российским экспортным центром (РЭЦ), который предоставляет финансовую и нефинансовую поддержку российским экспортерам, свои продукты продемонстрировали 20 компаний-участниц, выступивших с индивидуальными стендами. Кроме того, коллективный стенд РЭЦ объединил четыре компании: «ППМТС «Пемснабсбыт», «Агро», «Фидесис» и «Мета-хром».

Наиболее интересным экспонатом этого стенда стала важная разработка компании «ППМТС «Пермснабсбыт» – анодный заземлитель типа «АЗП-РА», не имеющий мировых аналогов. Устройство защищает от коррозии стальные коммуникации: газопроводы, водопроводы. Преимущества заземлителя – эко-безопасность (по мере эксплуатации в земле он постепенно разлагается), долгий срок службы (от 35 лет), прочность, лёгкость монтажа. «Основное направление деятельности нашей компании – комплексное решение задач, связанных с защитой от электрохимической коррозии: отведение её путём наложенного тока и сбрасывание коррозии в землю или на поверхность», – пояснили в компании.

Представили участники коллективного стенда РЭЦ и свои услуги: транспортная фирма «Агро» – автомобильные грузовые перевозки нефтегазового и бурового оборудования по России и Европе, специалисты инжиниринговой компании «Фидесис» – программное обеспечение для нефтегазовой промышленности. «Мета-хром», четвёртый участник коллективного стенда, занимается производством газовых хроматографов (устройства для анализа сложных газовых веществ), а также разработкой измерительных приборов по заказу компаний различного промышленного профиля. Хроматографы используются в исследовательской работе пищевой, медицинской, добывающей и других областях промышленности.

В рамках культурной программы ПМГФ–2019 в Большом зале Санкт-Петербургской академической Филармонии имени Д.Д. Шостаковича состоялся ежегодный благотворительный проект компаний «Газпром» и OMV AG – «Имперские столицы: Санкт-Петербург – Вена». На мероприятии прозвучали музыкальные произведения русских и австрийских композиторов XX века в сопровождении видеопроекции картин из коллекций Государственного Русского музея и трёх ведущих музеев Австрии.

Впервые в спортивную программу Форума был включён турнир по гольфу, организованный совместно с официальным спортивным партнером ПМГФ–2019 – Клубом MillCreek. Участникам Газового форума была предоставлена уникальная возможность не только открыть для себя гольф с новой стороны, но и продолжить диалог с коллегами и партнёрами на поле в неформальной обстановке.



Участники форума

ПМГФ – это площадка, объединяющая крупнейших игроков газовой отрасли для обмена опытом, заключения договорённостей по эффективному взаимодействию, решения актуальных проблем. В Форуме участвуют топ-менеджеры ключевых нефтегазовых компаний России, представители международного бизнес-сообщества, руководители научно-исследовательских институтов, профильных вузов, представители органов власти и эксперты инновационных центров.

ПМГФ–2019 прошёл при участии Министерства промышленности и торговли РФ, Министерства энергетики РФ, Министерства природных ресурсов и экологии РФ, правительства Санкт-Петербурга, Российского экспортного центра, Национального газомоторного консорциума Италии, Российского газового общества. Активную поддержку оказали Ассоциация европейского бизнеса (АЕБ), Мировой энергетический совет (РНК МИРЭС), Европейский союз газовой промышленности (Eurogas), Форум стран-экспортёров газа (GECF), а также другие международные и российские отраслевые ассоциации и объединения.

Генеральным партнёром ПМГФ–2019 стала компания «Газпром», генеральным международным партнёром – компания OMV AG. В качестве партнёров выступили компании Uniper SE, Wintershall Dea, «Газпром автоматизация», ГК «Комита», Boskalis, «Газпромбанк», «Трубная металлургическая компания», «Загорский трубный завод», «Группа ГМС», «Концерн ВКО «Алмаз-Антей», «ЧТПЗ», «АБ «Россия», «Газпром бурение», «Вега-ГАЗ», «Газпром СтройТЭК Салават», «Салаватский катализаторный завод», «Салаватнефтемаш», «РЭП Холдинг», «Гипрониогаз», «Межрегионгаз Технологии», фонд «Газпром социальные инициативы», ассоциация по сертификации «Русский регистр», «ИНГК», НДЦ НПФ «Русская лаборатория», ФПК «Космос-Нефть-Газ», «ПромМаш Тест», «ГазНефтеторг.ру», «Газпром теплоэнерго», «Газтехэксперт», DATUM Group.

Официальный страховой партнёр – «СОГАЗ», официальный переводчик – «ГОЛОС МИРА», официальный спортивный партнер – Клуб MillCreek, партнёр по стилю – компания INDEVER, партнёр lounge-зоны – компания Pernod Ricard Rous.

Выставка газобаллонного, газозаправочного оборудования и техники на газомоторном топливе GasSuf

С 22 по 24 октября в Москве, в КВЦ «Сокольники», состоялась 17-я Международная выставка газобаллонного, газозаправочного оборудования и техники на газомоторном топливе GasSuf.



В выставке приняли участие 60 компаний из 13 стран мира. Посетителями выставки стали 1920 специалистов из 67 регионов России, в работе деловой программы приняли участие 25 спикеров и 465 делегатов.

Мероприятие прошло при поддержке Министерства энергетики Российской Федерации, Национальной газомоторной ассоциации, Корейского института экологической промышленности и технологий KEITI, Союза Предприятий Газомоторной Отрасли.

С приветственным письмом к участникам и посетителям выставки обратился заместитель министра энергетики РФ Антон Юрьевич Инюцын: «Президентом России В.В. Путиным поставлена задача по качественному расширению использования природного газа в качестве моторного топлива в Российской Федерации в кратчайшие сроки. Во исполнение данной задачи правительством Российской Федерации принято решение о мерах государственной поддержки опережающего развития заправочной инфраструктуры, стимулирования потребителей к переходу на экономичное и экологичное газомоторное топливо. Минэнерго России



отмечает важную роль Международной выставки GasSuf – как специализированной площадки для широкой профессиональной и общественной дискуссии по ключевым вопросам развития рынка газомоторного топлива, практического знакомства бизнеса и граждан с техникой на газомоторном топливе и её компонентной базой».

В церемонии открытия выставки приняли участие генеральный директор ООО «МВК» Александр Викторович Шталенков, заместитель директора департамента проектного управления и обеспечения деятельности Министерства энергетики РФ Алексей Леонидович Трибунский и исполнительный директор Национальной газомоторной ассоциации Василий Леонидович Зинин.

Деловая программа



В рамках выставки состоялась 2-я ежегодная конференция «Развитие газозаправочной инфраструктуры и использования транспорта на газомоторном топливе».

Первый день конференции был посвящён вопросам газозаправочной инфраструктуры. В частности, обсуждались запланированные проекты по расширению использования природного газа, существующие проблемы развития сети АГНКС в регионах РФ, перспективы развития малотоннажных СПГ-проектов и сети Крио-АЗС. Также была затронута тема газомоторного парка страны: опыт перевода и эксплуатации коммерческого автопарка на ГМТ (КПГ, СПГ), коммерческая эффективность, сложности, связанные с этой сферой деятельности; перспективы развития транспорта на СПГ; лизинг как инструмент расширения парка газомоторного транспорта и техники, а также другие вопросы.

В дискуссиях первого дня приняли участие: Алексей Трибунский; Марат Хусаинов, заместитель начальника отдела организации продаж и работы с партнёрами ООО «Газпром газомоторное топливо»; Роман Ланихин, начальник отдела маркетинга малотоннажного СПГ ПАО «НОВАТЭК»; Дмитрий Кадышев, начальник управления корпоративных продаж Торгового дома «Нефтьмагистраль»; Надежда Акимова, генеральный директор ООО «Региональная Газовая Компания»; Игорь Юрченко, заместитель руководителя рабочей группы по газомоторному топливу ТПП РФ; Александр Куроптев, руководитель службы развития автопарков Яндекс Такси; Фаиль Шигабутдинов, генеральный директор транспортной компании GLT; Евгений Пронин, директор по газомоторной технике ПАО «КАМАЗ» и другие.

Обзор международного рынка ГМТ

24

Альтернативные топлива упрочивают свои позиции на международном топливном рынке. В первую очередь это касается природного газа. В предлагаемом обзоре¹ мы постарались охватить как можно больше сфер в этой отрасли. Это и расширение инфраструктуры альтернативных топлив, и производство новой техники, и подготовка специалистов для отрасли, а также много других интересных тем.

Обучение



(Naturgy), Испания.

Испания

Бадалона – первый город в Каталонии, где построена АГНКС. Станция также будет использоваться в качестве площадки обучения для будущих специалистов по монтажу оборудования на заправочных мини-комплексах. Заправочные модули будут устанавливаться в частных домах или общественных учреждениях.

Поставщик КПП – Nedgia Cataluña



Финляндия

Wartsila предлагает решения для обучения персонала для бункеровки СПГ. Компания разработала тренажёр TechSim LCHS Network Class для обучения экипажа СПГ-бункеровщика. Первый тренажёр приобрела малазийская компания Kasi Group.

Спрос на тренажёры по обучению персонала на суда для бункеровок СПГ неуклонно растёт. К концу 2018 года в эксплуатации находились девять судов-бункеровщиков. В течение ближайших пяти лет число судов увеличится до 30.

Автомобильный транспорт

Россия

В России принята государственная программа поддержки, разработанная Минэнерго при участии Минпромторга и Минтранса. Программа рассчитана

1. Источники: LNG Industry; LNG World News; Port news; Badalona City Council; World Maritime News; Busworld.

на шесть лет и предполагает субсидии нефтегазовым компаниям, производителям автомобилей, региональным властям (на производство и закупку общественного транспорта) в объеме 174,7 млрд рублей. Нефтегазовым компаниям будут компенсированы от 25 до 40 % расходов на строительство новых АГНКС.



На рекламную кампанию по использованию природного газа в качестве моторного топлива планируется выделить 1 млрд рублей.

Министерство транспорта РФ считает более целесообразным развивать в регионах России наземный транспорт. По заявлению первого замминистра транспорта РФ Иннокентия Алафинова на заседании комитета Госдумы по бюджету, Минтранс в рамках национального проекта «Безопасные и качественные автомобильные дороги» предусматривает с 2020 года финансовую поддержку регионов по переводу автобусных парков на газомоторное топливо в объеме 20 млрд рублей.



Правительство РФ может разрешить бесплатно ездить по платным дорогам всем автомобилям, работающим на газе. С инициативой выступило Российское газовое общество (РГО), которое направило необходимые документы на рассмотрение в правительство.

Право на бесплатный проезд по федеральным автомобильным дорогам общего пользования могут получить газомоторные грузовые автомобили 3-й категории, а право на бесплатный проезд по платным автомобильным дорогам и участкам дорог – все виды монотопливных газомоторных автомобилей.

Следующая инициатива РГО – законопроект о сдаче в аренду без проведения торгов земельного участка юридическому лицу для размещения газомоторных автозаправочных станций. Также РГО предлагает дополнительно информировать водителей об энергоэффективности транспортных средств на газомоторном топливе и организации выставок таких автомобилей.

Для устойчивого развития комфорта туристов и местных жителей

В Татарстане запланирована реализация пилотного проекта по использованию речных судов, работающих на сжиженном природном газе, на туристиче-



ских маршрутах. Экскурсионное судно «Чайка» рассчитано на 180 человек, скорость – 18 км/ч, дальность хода на одной заправке – 400 км.

В Свердловской области в два раза снизят налог на автомобили с газовым двигателем

Правительство Свердловской области разработало проект закона, снижающий с 2020 года транспортный налог для экологически безопасных автомобилей на 50 %. В первую очередь льгота коснётся автомобилей, работающих на газомоторном топливе – автобусы и новые грузовые автомобили 5-го экологического класса. В правительстве рассчитывают, что такая мера будет способствовать снижению уровня выбросов вредных веществ в регионе. В ближайшее время законопроект будет внесён в Законодательное собрание Свердловской области.

В Воронежской области в МФЦ появятся окна для перевода автотранспорта на газ

С февраля 2014 года Воронежская область является одним из двадцати пилотных субъектов РФ, реализующих проекты по переводу транспортных средств и техники на природный газ.

Правительство области направило в адрес Минэнерго России заявку на возмещение затрат инвесторов из федерального бюджета на строительство/реконструкцию четырёх объектов заправки природным газом, которые планируется ввести в эксплуатацию до конца 2019 года.

Предполагается, что если количество техники, работающей на природном газе, будет расти, то возникнет потребность в соответствующих деталях и комплектующих. В связи с этим глава региона поручил проработать вопрос о включении воронежских предприятий в соответствующую цепочку производства. Отдельное поручение Александр Гусев дал относительно обеспечения безопасности при эксплуатации и хранении газомоторного транспорта.

Правила предоставления межбюджетных субсидий-трансфертов из резервного фонда правительства РФ на указанные мероприятия пока не утверждены. Тем не менее в Минэнерго России имеются региональные лимиты, согласно которым Воронежская область может рассчитывать на 160 млн рублей.

comtrans



OPEN FUTURE
TOKYO MOTOR SHOW 2019

Oct 24 (Thu) – Nov 4 (Mon)
Tokyo Big Sight & Odaiiba Area

Газомоторная техника – один из наиболее перспективных и быстрорастущих сегментов рынка коммерческой техники в России.

Автопроизводители, которые стремятся закрепиться в сегменте коммерческих автомобилей на газе, представили новые модели на выставках Comtrans–2019 (3-7 сентября, Москва),

VI Международной специализированной выставке «Газомоторное топливо» в рамках IX Петербургского международного газового форума (6-9 октября, Санкт-Петербург), Busworld 2019 (18-21 октября, Брюссель), GasSuf-2019 (22-24 октября, Москва), 46 Tokyo Motor Show (24-4 ноября, Токио).

Isuzu Rus представил фургон-мороженицу с эвтектическим холодильным агрегатом на шасси Isuzu ELF 7.5 (NPR82) CNG на метане и единственный на российском рынке пикап марки – Isuzu D-Max в версии Arctic Trucks.

Стартовали продажи Isuzu Elf в газовом исполнении, двигатели которых работают на сжатом метане. Топливные баллоны с газом объёмом 300 л размещены с двух сторон от рамы. Запас топлива рассчитан на пробег 350 км в смешанном цикле, что вполне достаточно, чтобы использовать грузовик в течение нескольких дней для доставки в пределах города. Цена газовой версии Isuzu Elf немного дороже дизельной (от 3,58 млн руб.).



Renault Россия представила двухтопливную версию седана Logan на метане – Renault Logan CNG.

Прототип седана Logan в комплектации Life оснащён газобаллонной установкой с увеличенным запасом хода и снижением затрат на топливо в три раза. Когда в баллоне заканчивается газ, мотор автоматически переходит на бензин. Запуск двигателя всегда происходит на бензине.

Renault Россия намерена изучить спрос. Если к новинке проявят интерес, Renault Logan CNG запустят в серийное производство.



Тойота представит в Токио второе поколение модели Toyota Mirai на водородном топливе. Водородомобиль – больше предшественника. Производитель обещает увеличенный на треть запас хода. С учётом малой распространенности водородных заправок эксплуатировать такие автомобили непросто. Стоимость как у самолёта.



Турецкая компания Anadolu Isuzu презентовала новый автобус на КПП – Interliner 13 CNG для междугородного сообщения.

13-метровый автобус Interliner 13 CNG оснащён двигателем Cummins мощностью 320 л.с. с запасом хода до 700 км. Автобус рассчитан на перевозку 63 пассажиров.



Новый концепт-кар Mitsubishi – гибридный кроссовер-родстер Mitsubishi Mi-Tech Гибрид с газотурбинной силовой установкой. Mi-Tech оснащен полным приводом Quad Motor с двумя двигателями Motor AYC, который за счёт четырёх электромоторов позволит гибко варьировать количество подаваемой на каждое колесо тяги. Вместе с электромоторами машина получила газотурбинный двигатель, который выступает в роли генератора для зарядки батарей и при необходимости может подключаться для привода колёс.

Для машины предложен комплекс систем активной безопасности Mi-Pilot, который обладает возможностью передавать человеку информацию с помощью систем дополненной

реальности, а также может помогать в управлении машиной не только на трассе, но и на бездорожье.



АО «Грасис Инжиниринг», ведущий российский разработчик, производитель и EPC-подрядчик в области разделения и компримирования воздуха и газов, производства, реализации КПП и СПГ в СНГ и Восточной Европе, представляет комплексные решения для АГНКС и Крио-АЗС «под ключ».

В рамках проекта «Газодизельные карьерные самосвалы» Инжиниринговый центр промышленных технологий Кузбасского государственного технического университета представил двухтопливные карьерные самосвалы БелАЗ на СПГ с криогенной бортовой топливной системой «ТехноЭко». В настоящее время 60 карьерных самосвалов БелАЗ грузоподъёмностью 130 тонн, оснащённых данной системой, эксплуатируются на одном из разрезов Кузбасса. В мировой практике примеры использования СПГ в качестве топлива для карьерных самосвалов единичны. Их реализация началась относительно недавно, и у направления

есть широкие перспективы развития, в том числе, модернизация других видов карьерной техники, которые работают на дизельном топливе.

Соглашения

Компании OMV (Австрия) и Snam (Италия) подписали меморандум о взаимопонимании (MOU) в области использования СПГ. Меморандум предусматривает совместное изучение потенциальных возможностей использования СПГ в Австрии: строительство малотоннажного СПГ-завода; поставки СПГ; развитие рынка СПГ.



Исследования показывают, что количество грузовиков на СПГ в Европе к 2030 году увеличится до 280 000 единиц. Газ является быстрым решением для сокращения выбросов углекислого газа транспортом. Спрос на СПГ для транспорта будет расти, поэтому OMV будет продолжать расширять необходимую инфраструктуру и поставки, а Snam – инвестировать в дальнейшее развитие сети заправочных станций для легковых и грузовых автомобилей на природном газе.

Деятельность Snam в Австрии будет направлена на повышение использования природного газа на основе уже успешного опыта компании. В Италии построено самое большое в Европе количество АГНКС (более 1300) и Крио-АЗС (более 50).

Компания LIQAL (Нидерланды) и Drive Systems (Бельгия) заключили партнёрское соглашение о строительстве АГНКС и Крио-АЗС в городе Лондерзел в Бельгии. Увеличение числа газозаправочных станций в Европе показывает, что природный газ является надёжным и эффективным топливом для транспортной отрасли и обеспечивает альтернативу ископаемому топливу. Управлять новым комплексом будет компания Drive Systems.



LIQAL – лидер в области газозаправочных технологий, поставляет на рынок высокопроизводительные заправочные станции СПГ и КПГ.

Tesla получила официальное разрешение от Министерства промышленности Китая на производство электромобилей в КНР. С 30 августа модели Tesla, приобретенные в Китае, не будут облагаться налогом в размере 10 %.



Компания Dyson объявила о закрытии проекта Dyson Automotive по созданию электромобиля. Разработка электромобиля началась в 2015 году. Примерный объём инвестиций составил 2,5 млрд фунтов. Выход на автомобильный рынок ожидался в 2021 году. Однако Dyson так и не смогла найти инвесторов.

О полном сворачивании проекта речь не идёт: Dyson продолжит работу над твердотельными аккумуляторами, искусственным интеллектом и машинным «зрением». Сейчас эти технологии имеют большие перспективы.

Морской транспорт

Использование СПГ в качестве судового и моторного топлива вместо дизельного топлива и мазута будет способствовать снижению выбросов в атмосферу и улучшению экологии.

В ходе IX Петербургского международного газового форума судовладельцы отметили ряд препятствий для развития судоходства на СПГ – высокая стоимость газового оборудования для судов и дефицит бункеровочной инфраструктуры. Российские порты пока не предоставляют услуги бункеровки СПГ из-за отсутствия инфраструктуры.

Бункеровка осуществляется в Роттердаме (Нидерланды), планируется в порту Высоцк с вводом проекта «Портовая» ПАО «Газпром» и порту Мурманск. Распоряжением правительства России от 20.09.2019 г. № 2138-р. в границы морского порта Мурманск уже включены три водных участка в районе восточной части Кильдинского пролива. На участках будет организован временный рейдовый перегрузочный комплекс, предназначенный для перевалки сжиженного природного газа по схеме «борт–борт». На рейдовых причалах смогут швартоваться газовозы типа «Ямал-макс» длиной 300 м, шириной 50 м.

Суда, работающие на СПГ, при заходе в российские порты имеют скидку на оплату судозаходов. Участники российского рынка СПГ ожидают более мощной государственной программы поддержки перехода судов на СПГ.

В Северо-Западной Европе насчитывается порядка 150 судов, работающих на СПГ. Согласно прогнозам, в ближайшие годы число потенциальных клиентов СПГ из-за более строгих экологических норм в международном судоходстве по меньшей мере удвоится. Всё активнее переходят на СПГ круизные лайнеры, что связано с растущей экологической сознательностью пассажиров и жителей прибрежных городов.

Между тем компания Tallink Grupp (Эстония) приняла решение по строительству второго парома Megastar 2, который начнёт обслуживать сообщение Хельсинки – Таллинн в 2022 году. Поставщиком СПГ является Eesti Gaas.

В 2018 году Eesti Gaas поставила 16 тыс. т СПГ по соглашению с Tallink Grupp. Для транспортировки и бункеровки топлива компания использует специальные автоцистерны.

На верфи Neptun Werft в Ростоке (Германия) прошла церемония закладки второго круизного лайнера AIDAcosma на СПГ для компании AIDA Cruises. Лайнер отправится в тур по фьордам Норвегии и Балтийскому морю летом 2021 года. Длина судна AIDAcosma – 337 м, тоннаж – 183,9 тыс. т.



Круизный лайнер на СПГ Costa Smeralda, построенный на финской верфи Meyer Turku Shipyard, проходит испытания.

Судно планировалось сдать заказчику – круизной компании Carnival, в середине октября 2019 года. Однако Meyer Turku сообщила о сдвиге сроков на середину ноября.



На верфи Jiangnan-Changxing Shipyard (Шанхай, Китай) спущен на воду крупнейший в мире контейнеровоз CMA CGM JACQUES SAADE на сжиженном природном газе вместимостью 23 тыс. ДФЭ (20-футовый эквивалент: Twenty-foot Equivalent Unit (TEU) – единица измерения, равная объёму, занимаемому стандартным 20-футовым контейнером).



Мегасудно – флагман будущего флота из девяти контейнеровозов на газомоторном топливе линейного оператора CMA CGM. В 2020 году контейнеровоз начнёт курсировать между Азией и Северной Европой под флагом Франции.

Мегаконтейнеровозы оснащены «умными» технологиями, в том числе технологией дополненной реальности и системой прогнозирования положения судна в течение последующих трёх минут, а также интеллектуальной системой управления вентиляцией для рефконтейнеров.

Контейнеровоз CMA CGM JACQUES SAADE был назван в честь основателя компании Жака Сааде. Длина судна – 400 м, ширина – 61 м. На борту будет размещён логотип «LNG Powered».

CMA CGM Group – французская частная транспортная компания, занимается контейнерными морскими перевозками.

Будущее водорода



Использование возможностей сегодняшнего дня

Отчёт подготовлен МЭА
для саммита G20 в Осаке, Япония



Окончание. Начало в № 5 (71) 2019 г.

Морской сектор: суда и порты

Морской сектор является важным потребителем нефтепродуктов. На его долю приходится около 5 % мирового спроса на нефть. Данный раздел отчёта посвящён международным морским перевозкам, которые являются самым дешёвым способом перевозки грузов на дальние расстояния.

По объёму около 90 % мировой торговли товарами приходится на морские перевозки (ИМО, 2014). Около 80 % топлива используется в морском секторе во время международных морских перевозок, из которых 90 % – в морских грузовых перевозках. В результате международное судоходство является важным фактором, способствующим изменению климата. Поскольку в нём используется тяжёлый мазут, оно также оказывает значительное негативное воздействие на качество окружающей среды, особенно вокруг портов. Водород (преимущественно в виде топлива на его основе) является главным вариантом решения проблем, характерных для международных морских перевозок. Одним из преимуществ этого топлива является то, что оно даёт возможность решать проблемы не только выбросов при морских перевозках, но и выбросов, возникающих в результате портовых операций, благодаря использованию техники на водороде.

Существуют также возможности для использования водорода и топливных элементов на более коротких маршрутах в рамках национальных юрисдикций, особенно на паромов.

Использование водорода в морском секторе сегодня

В настоящее время нефтепродукты доминируют в секторе морских перевозок, а использование топлива на основе водорода, соответственно, очень ограничено. Однако в Бельгии существует один проект по совместному сжиганию водорода с дизельным топливом в морских ДВС и более 20 проектов по топливным элементам мощностью до 300 кВт, главным образом, для вспомогательных энергоблоков (DNV GL, 2017). Проекты с использованием топливных элементов (часто в сочетании с аккумуляторами) запланированы в Калифорнии (GGZEM, 2018), Ирландии, Норвегии (AirClim, 2018) и для некоторых общеевропейских операций.

Суда не используют аммиак в качестве топлива сегодня, но несколько исследовательских и демонстрационных проектов рассматривают сжигание аммиака в качестве топлива для них (Brown, 2018). Качественное использование аммиака в существующих двигателях, как правило, требует наличия активаторов зажигания (для преодоления его более низкой температуры самовоспламенения) и модификации двигателей.

Потенциал использования топлива на основе водорода в морском секторе

Ожидается, что к 2050 году объём международного судоходства увеличится более чем в три раза в соответствии с нынешними тенденциями. В отсутствие политики смягчения последствий изменения климата это может привести к 50%-ному увеличению спроса на нефтепродукты в этом секторе примерно до 6 млн баррелей в сутки. Меры по сокращению выбросов, связанных с использованием нефти, могут открыть путь к использованию топлива на основе водорода. Международная морская организация (ИМО) разработала стратегии сокращения выбросов серы и парниковых газов.

Возможные меры по решению проблемы сокращения выбросов серы включают установку скрубберов, переход на СПГ и использование мазута с очень низким её содержанием, хотя эти меры внесут лишь частичный вклад в достижение целевого показателя сокращения выбросов парниковых газов на 50 % к 2050 году по сравнению с 1990-м. Ограничения на выбросы серы, скорее всего, будут стимулировать спрос на водород на нефтеперерабатывающих заводах, а не в качестве транспортного топлива. Для достижения целевого показателя по выбросам парниковых газов различные варианты включают современное биотопливо, водород и аммиак, а также синтетическое жидкое топливо на основе водорода. Выбор топлива зависит от развёртывания инфраструктуры вне прямого контроля судовладельцев. СПГ, водород и аммиак потребуют развития бункерных установок, в то время как СПГ и аммиак могли бы опираться на существующую распределительную сеть, а наличие и стоимость современного биотоплива неопределены в силу разных причин.

В некоторых странах также имеются целевые показатели в отношении низкоуглеродных альтернатив в национальных морских перевозках. Примерами этого являются Швеция и Норвегия, а Европейская комиссия разрабатывает стратегию установления целевых показателей сокращения выбросов углекислого газа для

морских перевозок на основе мониторинга, отчётности и проверки выбросов CO₂ крупными судами.

Крупнейшая морская компания в мире Maersk объявила в 2018 году, что будет стремиться достичь нейтральных выбросов к 2050 году. Лидеры отрасли также разработали план действий по декарбонизации сектора судоходства, который включает демонстрационные проекты, внедрение технологий, прозрачность и обмен знаниями (РКИК ООН, 2017 год).

Конкурентоспособность топлива на основе водорода в морском секторе

Суда имеют высокую энергоёмкость и соответственно нуждаются в энергии (до 130 МВт для крупнейших контейнерных судов), поэтому у них высока потребность в топливе. Основные статьи расходов для судов такие же, как и для автомобильного транспорта: инфраструктура (бункеровочные сооружения), бортовое оборудование (топливный элемент/двигатель и система хранения топлива) и топливо.

Важными элементами расходов на инфраструктуру являются складские и бункерные суда, число которых необходимо будет соотносить с числом обслуживаемых судов. Для небольших портов нужен местный или находящийся неподалёку водород с учётом меньших объёмов и высокой стоимости использования трубопроводов для выделенного водорода. С другой стороны, расходы на судно и инфраструктуру представляют собой относительно небольшую часть общих транспортных расходов в течение 15-летнего срока службы, а расходы на топливо являются гораздо более значительным фактором.

Что касается видов топлива, основанных на водороде, то достаточно популярным решением является аммиак, и уже существует определённая инфраструктура, необходимая для его использования в качестве топлива (распределительные системы в портах и резервуары для хранения). Вместе с тем необходимо будет построить новые бункерные сооружения. Потребуется также массовое расширение производства аммиака, числа портовых и распределительных установок, резервуаров для хранения. Так, для удовлетворения спроса на перевозки в долгосрочной перспективе потребуется 500 млн т аммиака, что почти в три раза превышает уровень нынешнего мирового производства и примерно в тридцать раз – объём торговли аммиаком.

Переход на низкоуглеродное топливо вряд ли произойдёт при отсутствии соответствующей политики, будь то льготы, регулирование ценообразования, стандарты на низкоуглеродное топливо (LCFS; ITF, 2018). Фрахтователи, которые в настоящее время контролируют более половины операций контейнерного флота и нанимают суда у судовладельцев на единовременной основе или на тонну, скорее всего, будут иметь гораздо более короткие сроки окупаемости.

Суда, проходящие по морским торговым путям на большие расстояния, могут предложить наилучшие потенциальные возможности для использования водорода, аммиака и других видов топлива на основе водорода. Это объясняется тем, что затраты на систему топливных элементов и хранение водорода оказывают

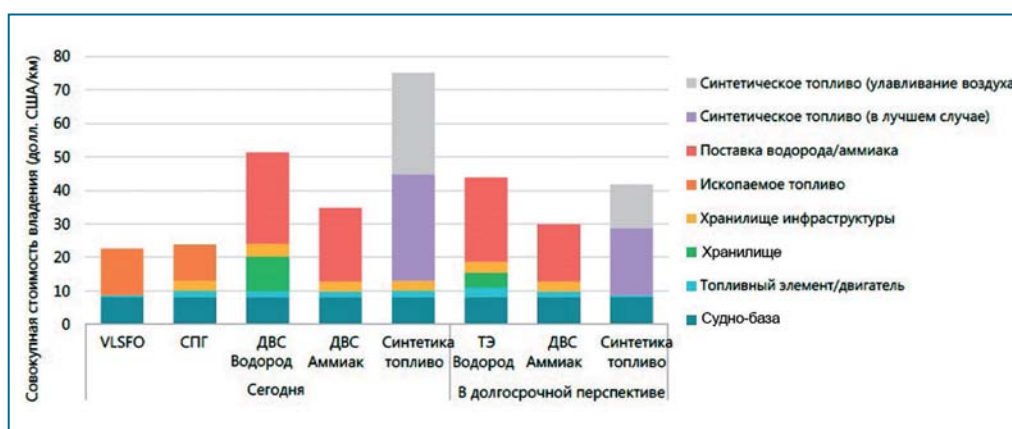


Рис. 8. Текущая и будущая совокупная стоимость владения альтернативами топлива/трансмиссии применительно к сухогрузному судну¹⁵

Источник: IEA 2019

сравнительно меньшее воздействие по сравнению с расходами на топливо (рис. 8). Кроме того, необходимость в площадях для размещения топливных элементов может стать проблемой, особенно для небольших судов (<2 МВт), так как для них потребуется почти вдвое больше пространства, чем для ДВС (Minnehan and Pratt, 2017; van Biert et al., 2016). Хранение жидкого водорода требует, по крайней мере, в пять раз больше объёма, чем обычное топливо на масляной основе, а аммиак – в три раза больше. В более долгосрочной перспективе это может потребовать изменения конструкции судов, сокращения дальности поездок и более частой дозаправки, уменьшения объёмов грузов или сочетания этих факторов в зависимости от типов судов, грузов и маршрутов (UMAS, 2018).

В связи с высокими затратами на сжижение и хранение водорода, вероятно, будет более дорогостоящим, чем другие низкоуглеродные альтернативы для морских перевозок на большие расстояния (рис. 8). Цены на топливо являются ключом к ценовой конкурентоспособности. Доля общих издержек, связанных с инфраструктурой, значительно ниже для судов, чем для других видов транспорта, и в настоящее время составляет около 3 % от общей стоимости использования водорода в судоходстве на основе цены на водород в размере 10 долл./кгH₂. Доля издержек повысилась бы до 17 %, если бы цены на водород снизились до 2 долл./кгH₂, и могла быть значительно выше (до 40 %), если бы бункеровочные установки были увеличены или недостаточно использованы. Однако риск недоиспользования бункеровочных сооружений может быть устранен путём отсева более мелких судов, использования меньших резервуаров для хранения (которые могут расширяться по мере увеличения пропускной способности), автоцистерн для заправки судов и более мелких заправочных станций. При этом для снижения расходов на топливо потребуется строительство более крупных объектов заправочной инфраструктуры.

15. Дополнительной информацией о сделанных предположениях можно ознакомиться по следующему адресу: www.iea.org/hydrogen2019.

Железнодорожный транспорт

Железнодорожный транспорт является наиболее электрифицированным видом транспорта в мире. Хотя доля электрифицированных путей в большинстве стран продолжает расти, дальнейшая электрификация железнодорожных сетей, вероятно, приведёт к снижению отдачи от инвестиций (МЭА, 2019b). Во Франции и Германии, например, электрифицированные линии в настоящее время осуществляют более 80 % перевозок несмотря на то, что электрифицировано менее половины железнодорожной сети (European Commission, 2016). Помимо двухрежимного дизель-электрического варианта, несколько технологий предлагают модификации двигателей с нулевым уровнем вредных выбросов для работы на неэлектрифицированных участках, и промышленность, как представляется, будет стремиться к этому в ближайшие десятилетия. Наиболее инновационными из таких технологий являются аккумуляторные электропоезда и поезда, работающие на водородных топливных элементах. Аккумуляторные электропоезда с небольшими батареями могут также использоваться на частично электрифицированных линиях, что позволит резко сократить расходы на электрификацию за счёт пропуска тех участков пути, которые наиболее трудно электрифицировать (например, мостов или туннелей).

Планы, предусматривающие использование водородных поездов, уже разработаны в ряде стран. По крайней мере три компании работают над поставками водорода согласно этим планам. К 2021 году Германия намерена расширить свой парк водородных поездов до 14 единиц, а пять федеральных земель уже подписали договор о намерении приобрести 60 поездов у Alstom, 27 из которых были заказаны в мае 2019 года (Schmidt, 2017). Два водородных поезда, которые могут проделать за день путь почти в 800 км на одной заправке, уже введены в эксплуатацию в Нижней Саксонии в Германии (Alstom, 2018). К 2022 году австрийская компания Zillertalbahn планирует ввести в эксплуатацию пять водородных поездов, общая стоимость которых почти 175 млн долл. США. Правительство Великобритании оказывает поддержку проекту по разработке первых водородных поездов к 2022 году (Вайсман, 2019). К 2022 году правительство Франции также планирует запустить первый водородный поезд. Компания Japan Rail East уже приступила к реализации проекта в партнёрстве с Toyota (Kyodo, 2018).

При оптимистичных предположениях относительно снижения стоимости топливных элементов водородные поезда могут стать конкурентоспособными по сравнению с другими вариантами пассажирских перевозок (IEA, 2019b). Технология водородных топливных элементов является наиболее конкурентоспособной, когда речь идёт о перемещении многосоставных поездов на большие расстояния.

Авиация

На авиацию в 2017 году приходилось почти 2,8 % глобальных выбросов CO₂, связанных с энергетикой, а в соответствии с текущими тенденциями воздушные

пассажирские перевозки к середине века, как ожидается, увеличатся более чем в два раза. Повышение эффективности должно снизить потребление энергии и замедлить рост спроса на неё, однако в конечном итоге потребуются альтернативные виды топлива, чтобы избежать увеличения выбросов. Биотопливо и топливо на основе водорода являются основными вариантами.

Хотя были проведены технико-экономические обоснования и демонстрационные проекты по проверке возможностей использования водорода на малых самолётах (DLR, 2016; Schilo, 2009; Airbus, 2000), применение чистого водорода в качестве авиационного топлива требует дальнейших НИОКР. Низкая плотность энергии водорода и потребность в криогенном хранении потребуют внесения изменений в конструкцию воздушных судов, а также создания новой инфраструктуры заправки и хранения в аэропортах. Основная масса проектов альтернативных топливных решений для авиатранспорта предполагает использование электродвигателей (в общей сложности 130 проектов в 2018 году), водородных проектов значительно меньше (в основном для городских воздушных такси) (Thomson, 2018). Тем не менее прямая электрификация авиатранспорта также сталкивается с проблемами, касающимися, в частности, массы аккумуляторов и сопутствующих расходов.

А жидкое топливо на основе водорода, в свою очередь, не потребовало бы внесения изменений в конструкцию летательного аппарата или в предназначенную для заправки инфраструктуру, предусмотренную в аэропортах. По некоторым оценкам, синтетические виды топлива на основе электролитического водорода в 4-6 раз дороже обычного авиационного топлива. Топливо составляет большую долю в общих расходах на эксплуатацию воздушных судов, и рост цен на него значительно увеличит эксплуатационные расходы и соответственно цены на билеты¹⁶. Это будет иметь место независимо от стоимости обычного реактивного топлива, которое само по себе может стать дороже из-за политики по сокращению выбросов.

Как и в случае с биотопливом, использованию в авиации топлива на основе водорода можно было бы содействовать путём установления целевого показателя его доли в смеси. Даже скромная цель может помочь продемонстрировать осуществимость и способствовать расширению масштабов производства. Организация по разработке стандартов ASTM в настоящее время устанавливает предельные значения смешивания альтернативных видов топлива, которые варьируются в зависимости от его вида от 10 до 90 %. Эти стандарты могут стать полезным ориентиром для государственных и частных лиц, принимающих решения, и могут обновляться по мере появления новых технологий в двигателестроении.

Кроме бортового использования, водород в авиации уже сегодня применяется в нескольких вспомогательных силовых агрегатах, которые вырабатывают электроэнергию, когда реактивный двигатель не работает (Baroutaji et al., 2019).

16. Это также может снизить спрос за счёт гибкости цен или смены видов транспорта. Предполагается, что четырёхкратное повышение цен на топливо в Европе может привести к росту цен на билеты почти на 60 % и снижению спроса на авиаперевозки на 30 % (Murphy et al., 2018).

Сравнительный анализ образования оксидов азота в камерах сгорания традиционного и водородного дизелей

Р.З. Кавтарадзе, профессор кафедры «Поршневые двигатели»
МГТУ им. Н.Э. Баумана, д.т.н.,

А.С. Голосов, заведующий сектором ФГУП «НАМИ», к.т.н.,

Ичунь Ван (Китай), заведующий лабораторией, колледж машиностроения,
Пекинский технологический университет (КНР), д.т.н.,

Чэн Жунжун (Китай), аспирант кафедры «Поршневые двигатели»
МГТУ им. Н.Э. Баумана;

Чжан Цытянь (Китай), аспирант кафедры «Поршневые двигатели»
МГТУ им. Н.Э. Баумана

Приведены результаты 3D-моделирования рабочих процессов традиционного и конвертированного на водород дизелей. Сравнительный анализ процессов тепловыделения и образования оксидов азота проведён при условии энергетической эквивалентности впрыскиваемых за цикл дизельного топлива и водорода. Скорость тепловыделения при сгорании водорода регулировалась путём изменения продолжительности его подачи в цилиндр. В результате разница между концентрациями оксидов азота, образованных в водородном и традиционном дизеле, снизилась до 10 %.

Ключевые слова:

рабочий процесс, традиционный дизель, водородный дизель, 3D-моделирование, процесс сгорания, оксиды азота.

Введение

Важнейшим направлением улучшения экологических показателей поршневых двигателей является применение альтернативных топлив [1, 2], прежде всего водорода, имеющего замечательные теплофизические свойства, предъявляемые к моторным топливам [3, 4]. В связи с этим многие ведущие производители занимаются разработкой и выпуском водородных двигателей с принудительным зажиганием.

Водородный дизель с непосредственным впрыскиванием несмотря на ряд преимуществ [1-4] до настоящего времени мало исследован и пока ещё серийно не выпускается, в связи с этим актуальна проблема конвертации традиционного серийного дизеля на водород. Сравнительный анализ протекания внутрицилиндровых процессов, необходимый, прежде всего, для прогнозирования

экологических характеристик конвертированного на водород дизеля, представляет интерес не только с научной точки зрения, но имеет также важное практическое значение для обеспечения требуемых эффективных и экологических показателей.

Заметим, что из четырёх вредных веществ (ВВ), эмиссии которых ограничены законодательными актами, оксиды азота NO_x являются единственными, так как остальные три (CO , CH и твёрдые частицы) в продуктах сгорания водородного двигателя практически отсутствуют (если не считать их незначительное количество, образованное в результате выгорания смазочного масла). То же самое касается и парникового газа CO_2 . Таким образом, количество оксидов азота, образованных в рабочем цикле водородного дизеля, по существу определяет его экологичность.

Следует подчеркнуть также, что из возникающих в камере сгорания различных оксидов азота подавляющее количество (более 90 %) приходится на NO , образование которого в данной работе исследуется на основе термического механизма Я.Б. Зельдовича, хорошо апробированного в теории поршневых двигателей [5-7]. Очевидно, что в данном механизме образования NO , как и в любых других (детальных или глобальных), решающее значение имеют локальные температуры в объёме камеры сгорания (КС) [8-10]. Надёжное определение нестационарных локальных температур, как и других нестационарных локальных параметров рабочего цикла поршневого двигателя, необходимых для прогнозирования экологических и эффективных показателей водородного дизеля и разработки методов его дальнейшего совершенствования, возможно только с применением 3D-моделей внутрицилиндровых процессов.

Целью данного исследования является 3D-моделирование внутрицилиндровых процессов в базовом дизеле и конвертированном на водород варианте и сравнительный анализ образования оксидов азота в КС этих двигателей, а также снижение их содержания в выпускных газах водородного дизеля.

Объекты исследования: в качестве базового двигателя – четырёхтактный V-образный шестицилиндровый дизель с непосредственным впрыскиванием и промежуточным охлаждением наддувочного воздуха, диаметр цилиндра/ход поршня $D/S = 130/140$ мм/мм, степень сжатия $\epsilon = 16,5$, эффективная мощность $N_e = 315$ кВт при частоте вращения коленчатого вала $n = 2000$ мин⁻¹; конвертированный на водород вариант базового дизеля.

Краткое описание 3D-математической модели

Математическая модель нестационарных процессов переноса, основанная на фундаментальных уравнениях количества движения (Навье – Стокса), энергии (Фурье – Кирхгофа), концентрации (Фика) и неразрывности, подробно описана в литературе по теории поршневых двигателей [5, 10, 11]. Для решения системы из этих уравнений используется метод осреднения параметров турбулентного потока газа, предложенный Фавром (A. Favre) [5, 11], при котором плотность ρ играет роль весовой функции. В результате осреднения уравнения переноса принимают форму Рейнольдса:

$$\bar{\rho} \frac{D\bar{W}_i}{Dt} = \bar{G}_i - \frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial \bar{W}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{W}_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \frac{\partial \bar{W}_k}{\partial x_k} \right) - \bar{\rho} \cdot \overline{W'_i W'_j} \right];$$

$$\bar{\rho} \frac{D\bar{H}}{Dt} = \bar{G}_i \bar{W}_i + \frac{\partial \bar{p}}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\bar{\tau}_{ij} \bar{W}_j) + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\lambda \frac{\partial \bar{T}}{\partial x_j} - c_p \bar{\rho} \cdot \overline{T' W'_j} \right) + \bar{w}_r \bar{Q}_r + \frac{\partial \bar{q}_{Rj}}{\partial x_j}; \quad (1)$$

$$\frac{\partial \bar{p}}{\partial \tau} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\bar{\rho} \cdot \bar{W}_j) = 0;$$

$$\frac{D\bar{C}}{Dt} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(D \frac{\partial \bar{C}}{\partial x_j} - \overline{C' W'_j} \right) + \bar{m},$$

где ρ – плотность, кг/м³; D/Dt – субстанциональная производная; G_i – проекция вектора плотности объёмных сил, Н/м³, на ось $0x_i$ прямоугольной декартовой системы координат; μ – динамическая вязкость, кг/(м·с); δ_{ij} – символ Кронекера; H – полная удельная энергия, Дж/кг; p – давление, Па; λ – теплопроводность, Вт/(м·К); c_p – теплоёмкость при постоянном давлении, Дж/(кг·К); w_r – скорость химической реакции на единицу объёма, кг/(м³·с); Q_r – количество выделяемой теплоты на единицу массы, Дж/кг; D – коэффициент диффузии, м²/с; C – концентрация, кг/м³; \dot{m} – интенсивность источника массы (скорость изменения массы химической компоненты в единице объёма), кг/(м³·с); W – вектор скорости. Параметры со штрихом обозначают турбулентные пульсации.

Система уравнений Рейнольдса замыкается $k-\zeta-f$ -моделью турбулентности, специально разработанной для моделирования процессов в поршневых двигателях [11-13]. Для описания процессов в пристеночных слоях применяются так называемые пристеночные функции, предусматривающие определения универсальных безразмерных параметров: скорости u^+ и температуры T^+ как функции от универсальной координаты y^+ в пределах $y^+ \leq 11,63$. В результате могут быть определены локальные плотности тепловых потоков, действующие на поверхностях стенок камеры сгорания со стороны высокотемпературного рабочего тела [10-12].

Влияние химического процесса горения учитывается с помощью интенсивности внутреннего источника теплоты q_v , Вт/м³, и массового расхода \dot{m} , кг/(м³·с). Значения этих параметров могут быть вычислены с помощью скорости w_r химической реакции сгорания [5, 11]:

$$q_v = Q_r w_r; \dot{m} = -w_r,$$

где Q_r – выделившееся в результате химической реакции количество теплоты на единицу массы, Дж/кг.

Скорость процесса сгорания определяется на основе модели когерентного пламени (CFM), описанной в [5, 11]. Образование монооксида азота NO моделируется, как уже было отмечено, на основе расширенного механизма Я.Б. Зельдовича [6, 7, 14].

Описанная 3D-математическая модель внутрицилиндровых процессов реализуется с помощью коммерческой CRFD-программы FIRE, разработанной фирмой AVL List GmbH (Австрия) [11]. Ядро FIRE основано на численном методе контрольных объёмов с использованием усовершенствованного алгоритма SIMPLE. Дискретизация уравнений переноса (1) осуществляется с использованием

интерполяционной схемы второго порядка точности, являющейся оптимальной как по точности, так и по времени счёта.

Верификация модели. Условия сравнения базового и водородного дизелей

Программа исследования предусматривала моделирование процессов газообмена, смесеобразования и сгорания, образования оксидов азота, а также теплообмена в цилиндрах традиционного и водородного дизелей. Расчётная область представляла собой объём цилиндра двигателя, образованного поршнем, головкой цилиндра и гильзой (рис. 1). Как видно на рисунке, расположенная в поршне КС по конфигурации соответствует так называемой форме типа ЯМЗ. Движение поршня задаётся через кинематическую схему при известных геометрических параметрах кривошипно-шатунного механизма (длина шатуна L , ход поршня S).

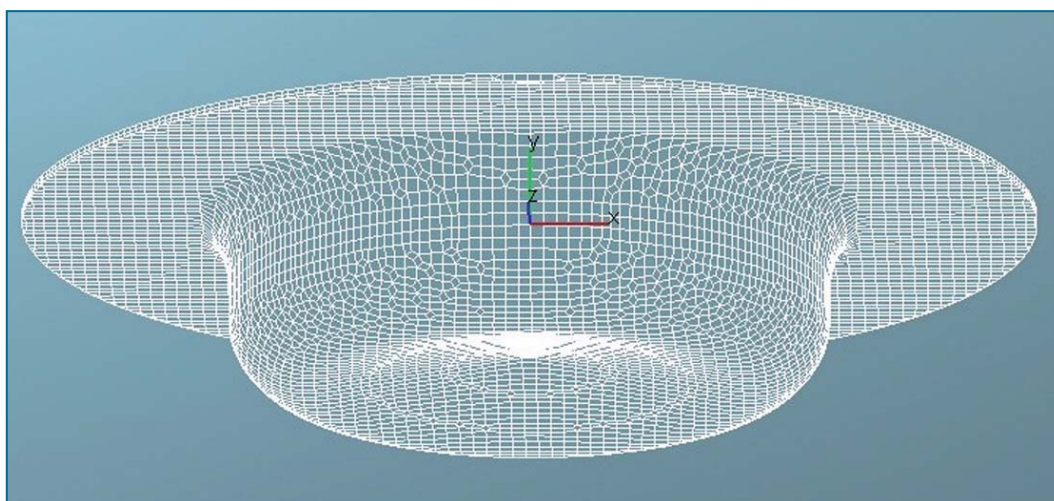


Рис. 1. Разбиение на контрольные объёмы 3D-модели камеры сгорания дизеля

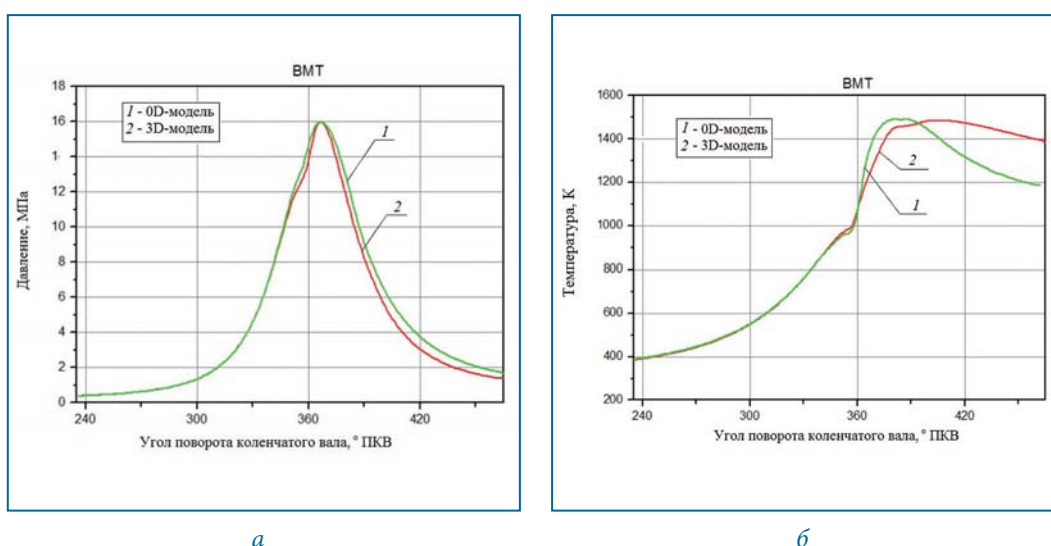


Рис. 2. Сравнение индикаторных диаграмм (а) и осреднённых по объёму температур (б), полученных по результатам 0D- (1) и 3D-мерного (2) моделирования в базовом дизеле

Верификация 3D-модели (1) осуществлялась путём сравнения полученных индикаторных диаграмм с диаграммами, рассчитанными с применением хорошо апробированных в теории ДВС 0D-моделей, использованных, например, в программе BOOST (AVL). На рис. 2 приведены изменения давления и температуры в зависимости от угла поворота коленчатого вала (УПКВ) для базового дизеля. Заметно хорошее совпадение результатов как по величине максимальных значений давления и температуры в цилиндре, так и по УПКВ их достижения.

При исследовании рабочего процесса водородного дизеля с целью сравнения его с традиционным (базовый) дизелем цикловая подача водорода m_{H_2} определялась из условия

$$\frac{m_{ДТ}}{m_{H_2}} = \frac{H_{ДТ}}{H_{H_2}},$$

где $m_{ДТ}$ – цикловая подача дизельного топлива (ДТ); $H_{ДТ} = 42,9$ МДж/кг и $H_{H_2} = 120$ МДж/кг – низшая теплота сгорания ДТ и водорода соответственно, то есть при $m_{ДТ} = 0,24$ г/цикл цикловая подача водорода $m_{H_2} = 0,085$ г/цикл.

Сравнение индикаторных диаграмм традиционного и водородного дизелей представлено на рис. 3, где видно, что при принятом условии соблюдения соотношения цикловых подач для традиционного и водородного дизелей удаётся добиться практически идентичных значений максимальных давлений цикла $p_z = 16$ МПа. Тем не менее водород имеет значительно меньшее время задержки воспламенения, что отражается на кривой давления от момента начала топливоподачи и до достижения поршнем ВМТ.

Достаточно продолжительный период подачи водорода в цилиндр двигателя даёт возможность контролировать скорость тепловыделения (рис. 4) и, как следствие, скорость нарастания давления. В результате удаётся избежать слишком больших значений по p_z (см. рис. 3), что положительно влияет на ресурс основных деталей водородного дизеля. С другой стороны, увеличение продолжительности сгорания водорода (см. рис. 4) приводит к росту интервала времени, в течение которого тепловоспринимающая поверхность КС находится под действием

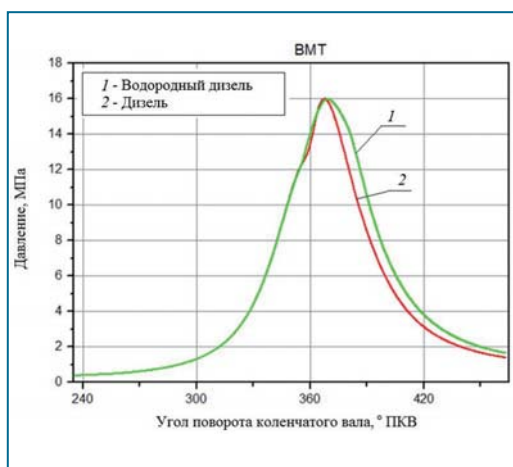


Рис. 3. Сравнение индикаторных диаграмм водородного (1) и традиционного (2) дизелей

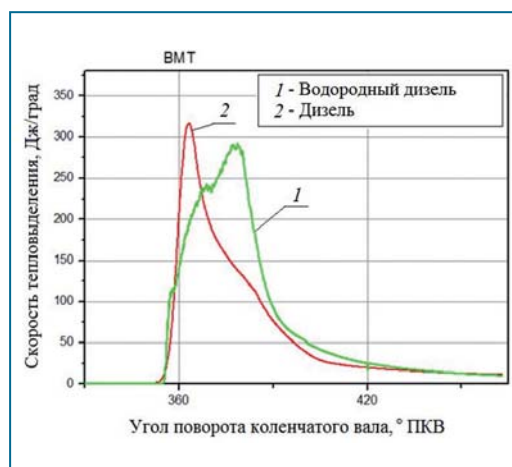


Рис. 4. Скорость тепловыделения в цилиндре водородного (1) и традиционного (2) дизелей

высокотемпературного газа (рис. 5а), что способствует повышению термических нагрузок на основные детали двигателя, образующие объём КС. Очевидно, что это указывает на необходимость проведения специальных исследований нестационарного теплообмена в КС водородного дизеля и теплонпряжённого состояния его основных деталей (поршень, головка цилиндра, гильза, клапаны) [10].

Моделирование образования оксидов азота в КС базового и водородного дизелей

Отличие процесса горения топливоздушной смеси в водородном дизеле от горения в традиционном дизеле заметно и по изменению температуры, усреднённой по объёму КС (см. рис. 5а). Как видно, максимальное значение этой температуры для традиционного дизеля составляет 1500 К, для водородного дизеля близка к 1700 К.

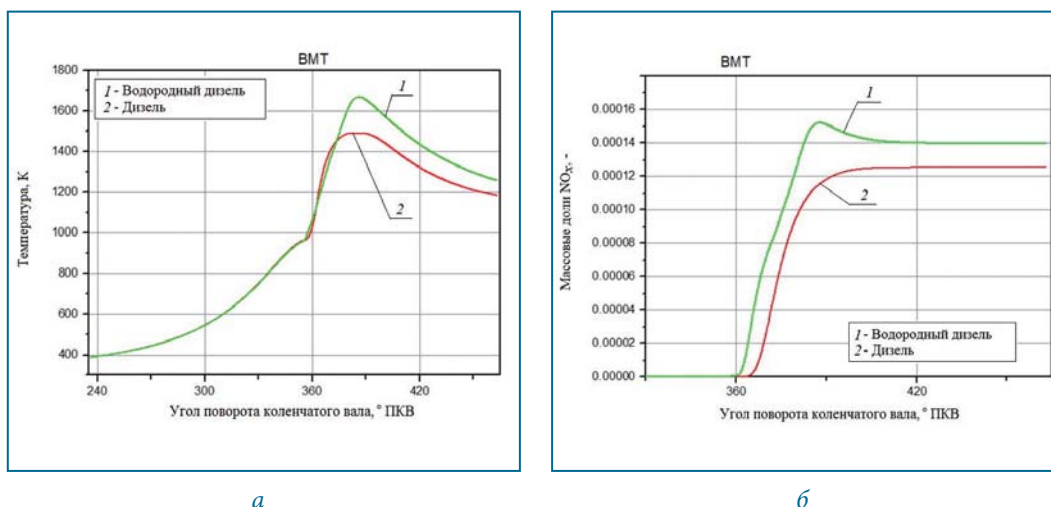


Рис. 5. Температура (а) и массовые доли оксида азота (б) в цилиндре водородного (1) и традиционного (2) дизелей

Несмотря на то, что среднеобъёмные значения температур сравниваемых циклов адекватно отражаются на величине суммарных (цикловые) эмиссий оксидов азота (рис. 5б), они не позволяют достоверно оценить содержание NO_x в продуктах сгорания [6, 7]. Завышенное значение содержания оксидов азота в традиционном дизеле по сравнению с водородным (см. рис. 5б) объясняется высокими величинами локальных температур в последнем (рис. 6) и для его снижения требуется применение таких известных методов, как уменьшение угла опережения впрыскивания топлива, модификация формы камеры сгорания, изменение цикловой подачи и применение многократного за цикл впрыскивания топлива, а также изменение интенсивности вихревого движения заряда на впуске [15-20].

Таким образом, для точной оценки количества оксидов азота, образованных в рабочем цикле двигателя, необходимы значения локальных параметров рабочего тела в объёме цилиндра двигателя, прежде всего, локальных температур. Только на основе этих температур можно с высокой точностью прогнозировать

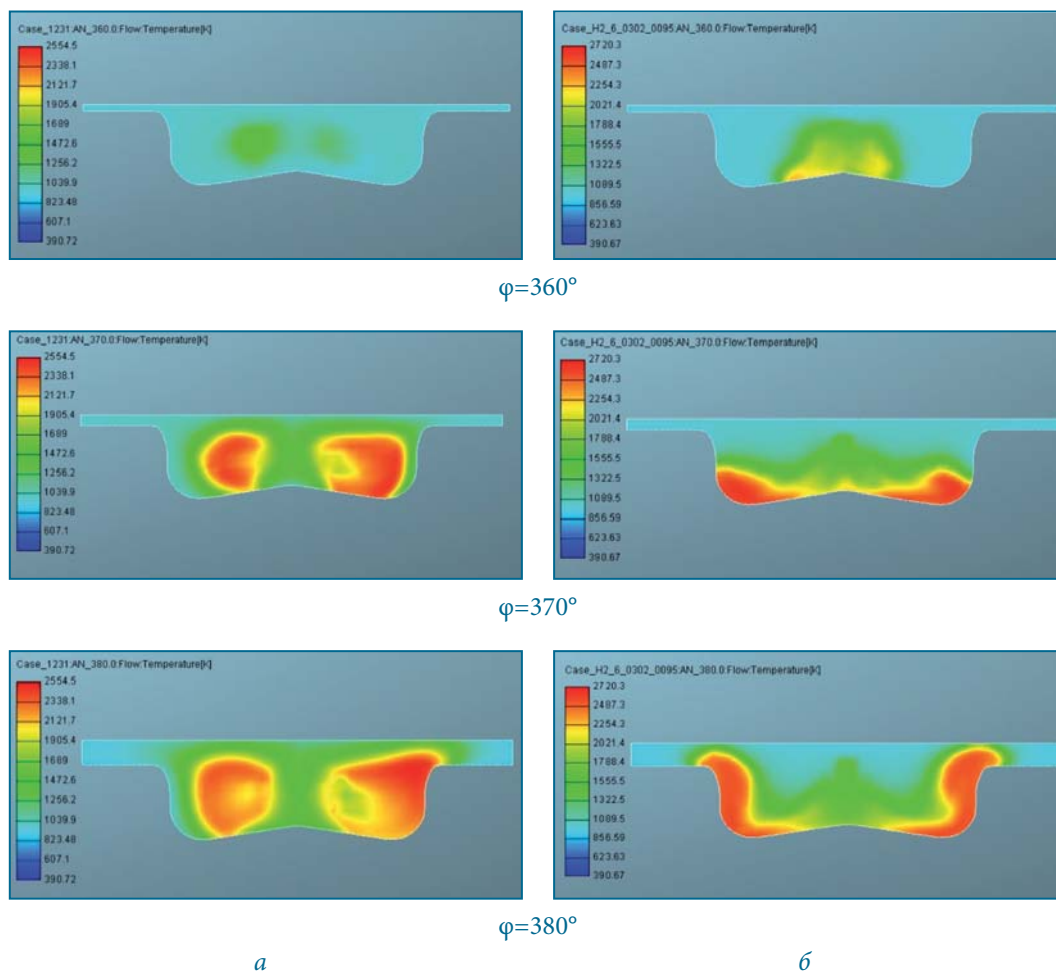


Рис. 6. Мгновенные локальные температуры в камере сгорания традиционного (а) и водородного (б) дизелей в зависимости от УПКВ

уровень локальных (в цилиндре) и суммарных (за цикл) концентраций оксидов азота [6-8, 11, 21, 22], а также оценить экологические показатели водородного дизеля в целом.

Следует также подчеркнуть, что значения локальных нестационарных температур, как и значения любого другого локального параметра (плотность, давление, скорость) рабочего тела в турбулентных процессах течения и сгорания, обусловлены локальными значениями кинетической энергии турбулентности, величина которой существенным образом меняется в зависимости от геометрической формы и размеров камеры сгорания. Очевидно, что использование КС базового двигателя и в случае водородного дизеля без каких-либо конструктивных изменений обеспечивает практически идентичные поля скоростей в КС к моменту впрыскивания дизельного топлива или водорода, что имеет важное значение с точки зрения корректности сравнения локальных параметров в КС исследуемых двигателей.

Заключение

Разработана и верифицирована 3D-математическая модель рабочего процесса быстрого водородного дизеля, позволяющая с высокой степенью точности

определять локальные значения параметров рабочего тела в произвольный момент времени в объёме цилиндра, в том числе поля скоростей и температур газа, тепловые потоки на тепловоспринимающих поверхностях, образующих камеру сгорания (поршень, гильза цилиндра, крышка двигателя).

Достоверное прогнозирование эмиссии оксидов азота при конвертировании традиционного дизеля на водород можно осуществить исключительно на основе локальных параметров рабочего тела, прежде всего локальных нестационарных температур в камере сгорания, образующихся в процессе горения водорода. С использованием этих температур согласно расширенному термическому механизму Зельдовича моделируется окисление азота, имеющегося в воздухе. Очевидно, что оказать существенное влияние на образование оксидов азота можно, прежде всего, изменением локальных температур в объёме камеры сгорания. В связи с этим мероприятия, нацеленные на уменьшение эмиссии оксидов азота, подразумевают снижение локальных температур.

Моделирование рабочих процессов традиционного серийного дизеля и его модифицированного варианта с непосредственным впрыскиванием водорода указывает на целесообразность проведения сравнительного анализа при условии энергетической эквивалентности цикловых подач дизельного топлива и водорода. Соблюдением данного условия можно добиваться идентичности индикаторных диаграмм и максимальных давлений цикла для базового дизеля и его модифицированного варианта, конвертированного на водород. При этом следует учесть, что процесс сгорания в водородном дизеле характеризуется более коротким периодом задержки воспламенения и более высокой скоростью сгорания, в связи с этим следует осуществлять относительно растянутую подачу водорода в цилиндр. Это позволяет избежать повышенной скорости тепловыделения, особенно в начале процесса сгорания, и слишком высоких значений максимального давления цикла, обеспечив его на уровне максимального давления цикла традиционного дизеля (в данном случае $p_z = 16$ МПа). Тем не менее значения температур рабочего тела в цилиндре как средних по объёму, так и локальных в объёме цилиндра в водородном дизеле выше по сравнению с традиционным. Относительно высокие значения локальных температур в камере сгорания водородного дизеля приводят к повышенным (в данном случае на ~10 %) значениям локальных концентраций оксидов азота, а в итоге и суммарных за цикл, по сравнению с традиционным дизелем.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант №18-08-00275а).

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 З.Р., Кавтарадзе Р.З. Перспективы применения поршневых двигателей на альтернативных моторных топливах // Транспорт на альтернативном топливе. – 2010. – № 1 (13). – С. 74-80.
3. Kavtaradze R., Natriashvili T., Gladyshev S. Hydrogen-Diesel Engine: Problems and Prospects of Improving the Working Process // SAE Technical Paper 2019-01-0541. – 2019. – 15 p.

4. 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.
5. Кавтарадзе Р.З. Теория поршневых двигателей. Специальные главы. 2-е издание. – М.; Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016. – 589 с.
6. Кавтарадзе З.Р., Кавтарадзе Р.З. Анализ механизмов образования и методов расчета концентрации оксидов азота в поршневых двигателях (часть 1) // Транспорт на альтернативном топливе. – 2011. – № 5(23). – С. 65-71.
7. Кавтарадзе З.Р., Кавтарадзе Р.З. Анализ механизмов образования и методов расчета концентрации оксидов азота в поршневых двигателях (часть 2) // Транспорт на альтернативном топливе. – 2011. – № 6(24). – С. 12-19.
8. Кавтарадзе Р.З., Онищенко Д.О., Зеленцов А.А. Трехмерное моделирование нестационарных теплофизических процессов в поршневых двигателях. – М.; Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. – 88 с.
9. Кавтарадзе Р.З. Локальный теплообмен в поршневых двигателях – развитие научного направления в МГТУ им. Н.Э. Баумана // Двигателестроение. – 2018. – №1(271). – С. 13-15.
10. Кавтарадзе Р.З. Локальный теплообмен в поршневых двигателях. 3-е издание. – М.; Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016. – 515 с.
11. FIRE. Users Manual Version 2017 / AVL List GmbH. Graz (Austria), 2018. (License Agreement for Use of the Simulation Software AVL FIRE and AVL BOOST between Moscow State Technical Univ. n.a. N.E. Bauman and AVL List GmbH, 2014).
12. 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.
13. 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.
14. Merker G., Teichmann R. (Hrsg). Grundlagen Verbrennungsmotoren. Funktionsweise. Simulation. Messtechnik. 7. Auflage. Stuttgart, Leipzig, Wiesbaden: Springer Vieweg-Verlag, 2014. – 1132 S.
15. Кавтарадзе Р.З., Натриашвили Т.М., Глonti М.Г., Ичунь Ван, Сахвадзе Г.Ж. Моделирование локального теплообмена в камере сгорания водородного дизеля // Вестник машиностроения. – 2019. – №7. – С. 31-36.
16. Kavtaradze R.Z., Onishchenko D.O., Zelentsov A.A., Sergeev S.S. The influence of rotational charge motion intensity on nitric oxide formation in gas-engine cylinder // International Journal of Heat and Mass Transfer 52 (2009) 4308–4316.
17. Кавтарадзе Р.З., Натриашвили Т.М., Глonti М.Г., Бахрамов Э.В. Частично гомогенное сгорание традиционных и альтернативных топлив в дизелях. Часть 1. Способы гомогенизации сгорания // Транспорт на альтернативном топливе. – 2018. – №1 (61). – С. 37-52.
18. Кавтарадзе Р.З., Натриашвили Т.М., Глonti М.Г., Бахрамов Э.В. Частично гомогенное сгорание традиционных и альтернативных топлив в дизелях. Часть 2. Стратегия впрыскивания топлива // Транспорт на альтернативном топливе. – 2018. – №2 (62). – С. 9-24.
19. 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 [119]. – С. 44-61.
20. Леонтьев А.И., Кавтарадзе Р.З., Шибанов А.В., Зеленцов А.А., Сергеев С.С. Влияние формы камеры на нестационарные процессы переноса и турбулентного сгорания в дизеле, конвертированном в газовый двигатель // Известия РАН. «Энергетика». – 2009. – № 2. – С. 49-63.
21. Семенов Н.Н. Тепловая теория горения и взрывов С. 434-477 / в книге: Семенов Н.Н. Избранные труды: в 4-х томах, т. 2. Горение и взрыв. – М.; Наука, 2005. – 704 с.
22. Кавтарадзе Р.З., Зеленцов А.А., Краснов В.М. Локальный теплообмен в камере сгорания дизеля, конвертированного на природный газ и водород // РАН. Теплофизика высоких температур. – 2018. – Т. 56. – № 6. – С. 986-996.

Способ управления двигателем внутреннего сгорания на газовом топливе

В.А. Шишков, начальник технического отдела ООО «Палладио» (Тольятти), д.т.н.

Целью работы являются снижение затрат на проведение калибровочных и доводочных работ системы управления двигателем внутреннего сгорания, а также повышение точности дозирования газового топлива как на стационарных, так и на динамических режимах для снижения выбросов токсичных компонентов с отработавшими газами в процессе эксплуатации транспортного средства. Усовершенствован способ повышения точности дозирования газового топлива через электромагнитные газовые форсунки в двигатель внутреннего сгорания. В программе микропроцессорного блока управления оптимизировано задание расходных характеристик электромагнитных газовых форсунок, а также предложено производить коррекцию и диагностику состояния электромагнитных газовых форсунок в процессе эксплуатации и ремонта транспортного средства.

Ключевые слова:

двигатель внутреннего сгорания, электромагнитная газовая форсунка, впрыск газового топлива, расходная характеристика, алгоритм управления.

Проблема повышения экологического класса современного транспорта с двигателями внутреннего сгорания (ДВС), работающих на газовых видах топлива, в большей степени зависит от точности его дозирования. Поэтому совершенствование систем топливоподачи и управления ДВС является актуальной задачей.

В системе управления [1] двигателем внутреннего сгорания задают расходную характеристику всех электромагнитных форсунок одним коэффициентом наклона прямой линии. При таком задании характеристики прямая линия расхода газового топлива проходит через начало координат. Эта линия не отражает реальные расходные характеристики всех форсунок, которые имеют смещение по оси времени впрыска газового топлива, связанное с предварительным натягом пружины клапана, трением между подвижными частями клапана, а также с перепадом давления газового топлива на клапане электромагнитной форсунки. Линия расхода газового топлива, проходящая через начало координат, имеет отклонения в рабочем диапазоне этого расхода от 25 % на режиме холостого хода и до 5 % по всей характеристике. Эти отклонения корректируются в программе управления двигателем во время испытаний при проведении калибровочных работ с помощью дополнительных таблиц статических и динамических коэффициентов или функций.

Недостатки данного способа заключаются в необходимости заполнения калибровочных таблиц и введения дополнительных функций, что требует значительного времени испытаний двигателей в моторных боксах и в составе транспортного средства, а также не учитывает ошибки инженера-испытателя. Кроме этого, сложно точно рассчитать газовую топливоподачу на динамических режимах работы двигателя из-за неточного задания расходных характеристик электромагнитных форсунок. Это приводит к повышенным выбросам токсичных компонентов на выхлопе двигателя и к увеличению времени калибровочных и доводочных работ по системе его управления.

В процессе эксплуатации транспортного средства происходит изменение расходных характеристик газовых форсунок за счёт изменения трения в их подвижных элементах, изменения жёсткости пружин клапанов, отложений во внутренних каналах форсунок загрязняющих веществ и других факторов. Эти изменения учитываются только при коррекции газовой топливоподачи с помощью коэффициента, вычисляемого по сигналу инерционного датчика кислорода с запозданием на 2...5 с при работе прогретого ДВС. На непрогретом двигателе и на мощностных режимах работы коррекция газовой топливоподачи по сигналу датчика кислорода выключена.

Известен способ диагностики расходных характеристик электромагнитных газовых форсунок [2, стр. 267-268], который заключается в том, что после пуска и прогрева двигателя определяется режим диагностики, например, на 10 с. В это время двигатель не реагирует на действия водителя. Так, на режиме холостого хода последовательно на каждой из форсунок на 1 с происходит изменение длительности подаваемого импульса, например, с 3 до 5 мс, а затем до 7 мс. При этом определяются изменения величины обогащения смеси по показаниям датчика кислорода, расположенного до нейтрализатора, при длительности 5 и 7 мс. По данным откликам при сравнении с начальными значениями, полученными после первогазпуска двигателя на заводе-изготовителе и сохранёнными в энергонезависимой памяти контроллера, вычисляется коэффициент изменения расходной характеристики конкретной газовой форсунки на участке линейной характеристики. При изменении характеристики более чем, например, на 20 % формируются коды ошибок о неисправности конкретной газовой форсунки с последующим включением контрольной лампы диагностики. Один код ошибки – для изменения точки динамической настройки газовой форсунки, второй код – для изменения статической точки настройки, третий – при изменении обеих точек настройки выше допустимого значения.

Для четырёхцилиндрового двигателя можно вывести 12 кодов ошибок газовых форсунок. В качестве отклика на изменение расхода топлива при изменении длительности импульса открытого состояния клапана газовой форсунки можно использовать мгновенное изменение частоты вращения коленчатого вала (его скорость или ускорение) и по этой величине определять её состояние и проводить диагностику с фиксированием соответствующего кода ошибки. В этом случае время диагностики газовых форсунок может быть не более 1 с. Данный алгоритм не всегда осуществим из-за большой инерционности датчиков кислорода и дискретности измерения частоты вращения коленчатого вала.

Как говорилось выше, смыслом данной работы являются снижение затрат на проведение калибровочных и доводочных работ системы управления двигателем внутреннего сгорания, а также повышение точности дозирования газового топлива как на стационарных, так и на динамических режимах для снижения выбросов

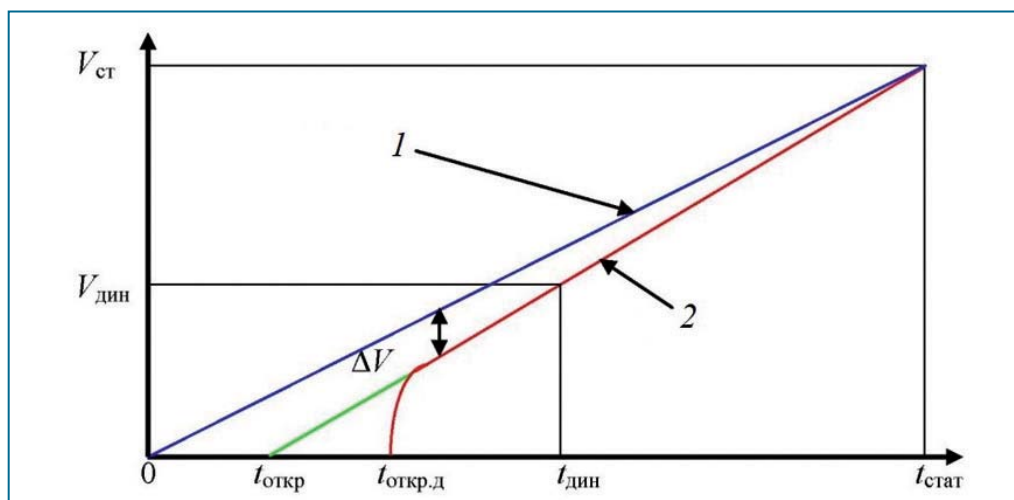


Рис. 1. Расходная характеристика электромагнитной газовой форсунки

токсичных компонентов с отработавшими газами в процессе эксплуатации транспортного средства.

На рис. 1 [3] представлена расходная характеристика электромагнитной газовой форсунки в зависимости от ширины импульса впрыска газового топлива, реальная (линия 2) и задаваемая одной точкой (линия 1) в программе микропроцессора электронного блока управления двигателем.

В существующем программном обеспечении системы управления ДВС расходную характеристику электромагнитной газовой форсунки задают одной статической точкой $V_{ст}$ (см. рис. 1), которая характеризуется площадью проходного сечения жиклёра. Расчёт расхода газового топлива на промежуточных режимах работы двигателя определяют по линии 1, которая соединяет начало координат с расходом в точке $V_{ст}$ (см. рис. 1). Реальная расходная характеристика (линия 2, рис. 1) электромагнитной газовой форсунки проходит через точку максимального расхода $V_{ст}$ и имеет больший наклон к оси абсцисс. Это вызвано предварительным натягом пружины клапана газовой форсунки, массой клапана, перепадом давления топлива на клапане газовой форсунки и трением подвижного клапана о направляющие. Поэтому линия 2 (см. рис. 1) не приходит в начало координат, а соединяется с точкой $t_{откр,д}$ – это время открытия клапана электромагнитной газовой форсунки.

Для современных бензиновых электромагнитных форсунок время открытия $t_{откр,д}$ лежит в диапазоне от 1,2 до 1,8 мс, а для газовых – от 1,5 до 4,5 мс. В результате этого возникает погрешность ΔV (см. рис. 1) в расчёте расхода газового топлива на промежуточных режимах работы двигателя, при этом погрешность ΔV увеличивается при снижении режима работы двигателя. Погрешность ΔV компенсируют с помощью специальных калибровочных таблиц, которые заполняют инженеры-испытатели в процессе доводки системы управления двигателем в различных условиях эксплуатации. Это приводит к погрешностям газовой топливоподачи в ДВС, связанным с человеческим фактором, и к увеличению времени доводочных работ.

В предлагаемом способе реальную расходную характеристику (линия 2, рис. 1) электромагнитной газовой форсунки задают двумя точками $V_{ст}$ и $V_{дин}$, а расход топлива на промежуточных режимах работы двигателя внутреннего сгорания вычисляют по прямой линии между вышеназванными точками.

На рис. 2 [3] представлена схема изменения тока в катушке по времени при открытии и закрытии клапана электромагнитной газовой форсунки: линия 1 –

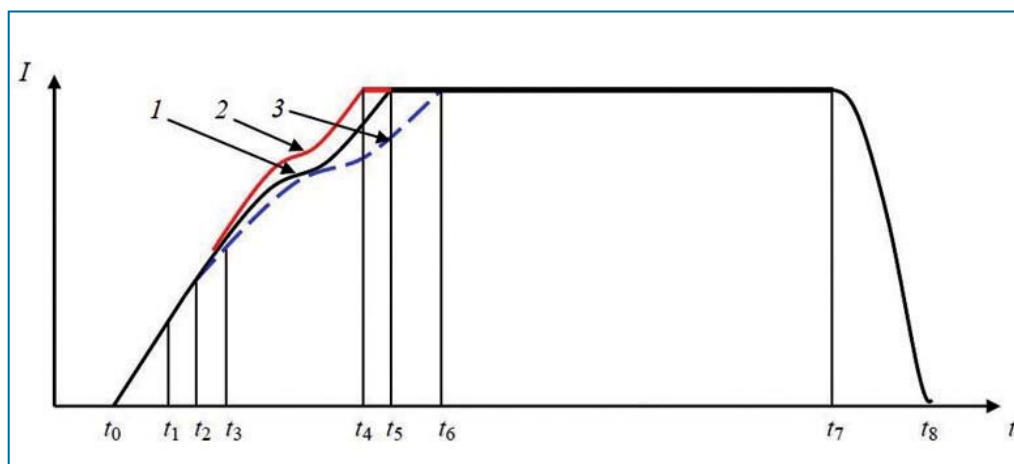


Рис. 2. Схема изменения тока в катушке по времени при открытии и закрытии клапана электромагнитной газовой форсунки

для новой газовой форсунки; линия 2 – для форсунки, у которой потеряла жёсткость пружина клапана, либо снизилось сопротивление трения клапана о направляющие, либо упало давление перед клапаном форсунки; линия 3 – для форсунки, у которой засорились внутренние топливные каналы.

На рис. 2 показано изменение тока I в катушке электромагнитной газовой форсунки при её открытии и закрытии: t_0 – начало подачи напряжения на катушку электромагнитной газовой форсунки; t_1, t_2, t_3 – начало движения клапана газовой форсунки в положение «открыто» соответственно линия 2 (при пониженном сопротивлении трения или ослаблении пружины клапана), линия 1 (новая форсунка) и линия 3 (при засорении внутренних топливных каналов газовой форсунки); t_4, t_5, t_6 – клапан газовой форсунки в положении «открыто» для линий 2, 1 и 3 соответственно; t_7 – напряжение питания катушки газовой форсунки выключено; t_8 – клапан газовой форсунки закрыт.

Линии 1, 2 и 3 имеют характерные участки с различным наклоном протекания тока в катушке в периодах движения клапана на открытие соответственно на временных участках $t_1 \dots t_4, t_2 \dots t_5, t_3 \dots t_6$ (см. рис. 2). Изменение наклона протекания тока по времени в катушке электромагнитной газовой форсунки связано с самоиндукцией при движении её металлического клапана из положения «закрыто» в положение «открыто» и обратно в электромагнитном поле катушки. Изменение наклона характеристики протекания тока в катушке электромагнитной газовой форсунки фиксируют по градиенту $\Delta I / \Delta t$ с учётом начала времени подачи напряжения t_0 (см. рис. 2).

Предлагаемый алгоритм [3] заключается в том, что измеряют на безмоторном стенде расходные характеристики электромагнитных газовых форсунок в зависимости от ширины импульса ($t_0 \dots t_5$, рис. 2) питающего напряжения с последующим заданием в программе микроконтроллера управления двигателем среднего максимального расхода $V_{ст\ ср} = \sum V_{ст\ i} / N$ (см. рис. 1) топлива с расходной характеристикой, где $V_{ст\ i}$ – статический расход топлива i -й газовой форсунки (i изменяется до N – число электромагнитных газовых форсунок) при максимальной ширине импульса питающего напряжения. Расход газового топлива через электромагнитные газовые форсунки в двигатель вычисляют по линии расходной характеристики в зависимости от расхода воздуха в двигатель, при этом дополнительно в программе микроконтроллера управления двигателем задают точку

среднего минимального расхода $V_{\text{дин ср}} = \Sigma V_{\text{дин } i} / N$ (см. рис. 1), где $V_{\text{дин } i}$ – динамический расход газового топлива с расходными характеристиками i -й форсунки (i изменяется до N – число электромагнитных газовых форсунок) при ширине импульса от 0 до $t_{\text{дин}}$ (см. рис. 1) питающего напряжения, реализуемого на холостом ходу при минимальной нагрузке двигателя. На промежуточных режимах расход газового топлива через каждую электромагнитную форсунку в двигатель вычисляют по линии от среднего минимального $V_{\text{дин ср}}$ до среднего максимального $V_{\text{ст ср}}$ (см. рис. 1) расхода топлива. Кроме этого, задают в программе микроконтроллера управления двигателем минимальный $V_{\text{дин } i}$ и максимальный $V_{\text{ст } i}$ расход газового топлива с расходной характеристики каждой в отдельности электромагнитной газовой форсунки i , а расход газового топлива в каждый i -й цилиндр двигателя вычисляют по соответствующей характеристике i -й форсунки.

Дополнительно выполняют корректировку дозирования газового топлива через электромагнитные форсунки в процессе эксплуатации. При температуре охлаждающей жидкости в диапазоне 10...30 °С при пуске двигателя с частотой вращения коленчатого вала до 60 мин⁻¹ перед началом подачи газового топлива на электромагнитные газовые форсунки последовательно подают рабочие импульсы напряжения шириной $t_0...t_5$ (см. рис. 2) до полного открытия клапана форсунки. При каждом импульсе напряжения измеряют характеристику тока в катушке каждой электромагнитной газовой форсунки с помощью микроконтроллера управления двигателем. По характеристике тока определяют градиент $(\Delta I/\Delta t)_i$, по которому вычисляют суммарный интеграл $(\Delta I/\Delta t)_i$ на участках в периоды $t_0...t_4$, $t_0...t_5$ или $t_0...t_6$ (см. рис. 2) открытия клапана электромагнитной газовой форсунки. После этого определяют корректирующий коэффициент в виде отношения интеграла $(\Delta I/\Delta t)_i$, полученного для новой электромагнитной газовой форсунки на участке $t_0...t_5$, к интегралу $(\Delta I/\Delta t)_i$, полученному в процессе эксплуатации, то есть на участках $t_0...t_4$ или $t_0...t_6$ (см. рис. 2) для электромагнитной газовой форсунки с пониженным сопротивлением трению движению её клапана и для электромагнитной газовой форсунки с засорением внутренних каналов соответственно. Затем корректируют минимальный $V_{\text{дин } i}$ путём умножения на корректирующий коэффициент (см. рис. 1) расхода газового топлива каждой форсунки и записывают эти значения в энергонезависимую память микроконтроллера управления двигателем. Изменение наклона характерного участка тока в сторону уменьшения времени открытия клапана говорит о том, что произошло снижение сопротивления трения поверхностей клапана из-за износа, ухудшения упругих характеристик пружины клапана или из-за снижения давления газового топлива на входе в электромагнитную газовую форсунку (линия 2, рис. 2). Смещение характерного участка тока, показывающего момент открытия клапана электромагнитной газовой форсунки в сторону увеличения времени его открытия, говорит о том, что произошло засорение внутренних каналов газовой форсунки (линия 3, рис. 2).

При ремонте системы газовой топливоподачи ДВС после замены всех электромагнитных газовых форсунок с помощью диагностического прибора записывают в энергонезависимую память микроконтроллера управления двигателем средний минимальный $V_{\text{дин ср}}$ и средний максимальный $V_{\text{ст ср}}$ (см. рис. 1) расход установленных электромагнитных газовых форсунок. После замены одной электромагнитной газовой форсунки с помощью диагностического прибора записывают в энергонезависимую память микроконтроллера управления двигателем минимальный $V_{\text{дин } i}$ и максимальный $V_{\text{ст } i}$ расход установленной

электромагнитной газовой форсунки.

Для корректировки дозирования газового топлива через электромагнитные форсунки в процессе эксплуатации дополнительно измеряют период $t_0...t_4$, $t_0...t_5$ или $t_0...t_6$ (см. рис. 2) времени от подачи напряжения на катушку электромагнитной газовой форсунки до момента перемещения клапана в положение «открыто», которое фиксируют дополнительным датчиком измерения вибраций (акселерометр), затем измеряют период $t_7...t_8$ времени от момента снятия напряжения с катушки газовой форсунки до момента посадки клапана на седло в положение «закрыто». По изменению периодов открытия $t_0...t_4$, $t_0...t_5$ или $t_0...t_6$ и закрытия $t_5...t_6$ (см. рис. 2) клапана газовой форсунки формируют корректирующий коэффициент, с учётом которого изменяют расход газового топлива. Например, если время открытия клапана электромагнитной газовой форсунки уменьшилось (вариант $t_0...t_4$) по сравнению с новой форсункой, у которой время открытия $t_0...t_5$ (см. рис. 2), то уменьшают на разницу $[(t_5 - t_0) - (t_4 - t_0)]$ ширину импульса впрыска газового топлива через электромагнитную газовую форсунку. Если время открытия клапана электромагнитной газовой форсунки увеличилось (вариант $t_0...t_6$) по сравнению с новой форсункой, у которой время открытия $t_0...t_5$ (см. рис. 2), то увеличивают на разницу $[(t_6 - t_0) - (t_5 - t_0)]$ ширину импульса впрыска газового топлива через электромагнитную форсунку. Если время $t_7...t_8$ (см. рис. 2) закрытия клапана электромагнитной газовой форсунки уменьшилось по сравнению с новой электромагнитной форсункой, то на величину этого уменьшения увеличивают ширину импульса впрыска газового топлива форсунки. Если время $t_7...t_8$ закрытия клапана электромагнитной газовой форсунки увеличилось по сравнению с новой электромагнитной форсункой, то на величину этого роста уменьшают ширину импульса впрыска газового топлива форсунки.

При увеличении интеграла $(\Delta I/\Delta t)_i$ изменения тока в катушке электромагнитной газовой форсунки по времени в период открытия её клапана выше заданного в энергонезависимой памяти электронного блока управления двигателем, а также порога интеграла $(\Delta I/\Delta t)_{i \text{ пор}}$ в периоды открытия $t_1...t_4$, $t_2...t_5$ или $t_3...t_6$ или при увеличении времени открытия $t_0...t_5$ (см. рис. 2) клапана электромагнитной газовой форсунки выше заданного ограничения $(t_0...t_5)_{\text{орп}}$, характеризующего подклинивание или заклинивание её клапана, прекращают подачу команд на открытие её клапана, выключают регулирование по датчикам кислорода в отработавших газах, вырабатывают код ошибки с порядковым номером форсунки и зажигают диагностическую лампу о неисправности на панели приборов автомобиля. Порог интеграла $(\Delta I/\Delta t)_{i \text{ пор}}$ изменения тока в катушке электромагнитной газовой форсунки по времени в период открытия её клапана и ограничение $(t_0...t_5)_{\text{орп}}$ времени открытия клапана электромагнитной форсунки записывают в энергонезависимую память микроконтроллера управления двигателем перед началом эксплуатации.

Таким образом, усовершенствован способ повышения точности дозирования газового топлива через электромагнитные газовые форсунки в двигатель внутреннего сгорания, в котором оптимизировано и изменено задание в программе микропроцессорного блока управления расходными характеристиками электромагнитных газовых форсунок, а также производится их коррекция и диагностика состояния в процессе эксплуатации и ремонта транспортного средства.

Использованные источники

1. SAE J1832.
2. Шишков В.А. Методы управления рабочим циклом двухтопливных и однотопливных поршневых газовых двигателей внутреннего сгорания с искровым зажиганием / Диссертация на соискание учёной степени доктора технических наук, специальность 05.04.02 – «Тепловые двигатели». – Самара, СГАУ им. С.П. Королёва, 2013. – 395с.
3. Способ управления двигателем внутреннего сгорания: патент на изобретение № 2671076: МКИ⁶ F02D 41/30, F02D 41/24 / Шишков В.А.; заявитель Шишков В.А. – № 2017140155/06(069778); заявл. 17.11.2017, опубл. 29.10.2018. Бюл. № 31. – 12 с.

Газомоторное топливо повышает эффективность работы сельхозпредприятий

8 ноября в Павловском районе Краснодарского края председатель совета директоров ПАО «Газпром» Виктор Зубков провёл расширенное совещание по перспективам использования газомоторного топлива в отечественном сельском хозяйстве.

В мероприятии приняли участие полномочный представитель Президента РФ в Южном федеральном округе Владимир Устинов, министр сельского хозяйства РФ Дмитрий Патрушев, губернатор Краснодарского края Вениамин Кондратьев, губернатор Ростовской области Василий Голубев, глава Республики Калмыкия Бату Хасиков, член правления, начальник департамента ПАО «Газпром» Владимир Марков, представители федеральных и региональных органов исполнительной власти, крупных агропромышленных предприятий, производителей автомобильной техники и финансовых организаций.

Отмечено, что перевод сельхозтехники на газ позволяет предприятиям значительно снизить затраты на приобретение горюче-смазочных материалов. Эти издержки особенно велики во время посевных и уборочных кампаний. Наиболее перспективным целевым сегментом здесь является тракторный парк, на долю которого приходится около 60 % потребления дизельного топлива от общего объёма его использования в агропромышленном комплексе.

Участникам совещания были представлены текущие результаты реализации пилотного проекта, осуществляемого «Газпром» и фермерским хозяйством «Барсук Т.Л.» на условиях совместного финансирования. В мае 2018 года на территории хозяйства была построена площадка для передвижного автогазозаправщика (ПАГЗ), компания обеспечила доставку топлива. К сентябрю 2019 года за счёт агропредприятия был построен подводный газопровод к площадке, а «Газпром» завершил сооружение стационарного модуля компримирования природного газа производительностью 3,2 млн м³/год. Это позволило увеличить возможность заправки техники с 40-50 до 150 единиц в день и сократить время заправки одного транспортного средства с 10-15 до 5-10 минут.

В настоящее время фермерское хозяйство эксплуатирует 10 единиц техники на природном газе. В планах хозяйства – перевод всего автопарка на природный газ. «Газпром» в дальнейшем намерен обеспечить природным газом близлежащие сельскохозяйственные предприятия.

«Переход на газомоторное топливо должен быть обязательным инструментом, когда мы говорим о повышении эффективности отечественных сельхозпредприятий. Сегодня «Газпром» готов предложить им различные решения по обеспечению этим топливом», – сказал Виктор Зубков.

Управление информации ПАО «Газпром»

Экологические и топливно-энергетические показатели однотопливных газобаллонных автомобилей при работе на КПГ

В.И. Ерохов, профессор

Московского политехнического университета (Московский Политех), д.т.н.

Приведены экологические и топливно-энергетические показатели однотопливных газобаллонных автомобилей при работе на КПГ. Установлены закономерности изменения экологических, мощностных, экономических и динамических параметров газовых двигателей нового поколения, обобщены их эксплуатационные характеристики. Проанализированы экологические и топливно-энергетические показатели однотопливных газобаллонных автомобилей.

Ключевые слова:

компримированный природный газ, газовый двигатель, экологические показатели газового двигателя, система зажигания, подогрев горючей смеси, расход топлива, степень сжатия, нормы токсичности, дымность, продукты сгорания.

Преимущество природного газа (ПГ) в качестве топлива обусловлено высоким содержанием водорода. Сгорание ПГ сопровождается меньшим по сравнению с традиционным моторным топливом образованием углекислого газа на единицу выделенной теплоты [1]. Углеводородные газы также имеют благоприятное соотношение C:H (углерода к водороду). Углеродное число у современных бензинов составляет 6,0, а у СУГ и ПГ – соответственно 4,9 и 2,99.

Потенциал образования парникового эффекта можно представить зависимостью:

$$I_{\text{пэф}} = m_{\text{CO}_2} + 320m_{\text{N}_2\text{O}} + 25m_{\text{CH}_4}, \quad (1)$$

где m_{CO_2} , $m_{\text{N}_2\text{O}}$ и m_{CH_4} – выбросы вредных веществ (ВВ); 1, 320 и 25 – коэффициенты потенциала парникового эффекта данных веществ.

Нормируемыми ВВ ОГ в соответствии с действующими нормативными документами являются шесть компонентов: $\text{C}_{\text{тч}}$, CO_2 , CO , NO_x , $\text{CH}_{\text{орг}}$, $\text{CH}_{\text{ис}}$. В странах ЕС достигнуто снижение выбросов CO_2 легковыми автомобилями до 135 г/км. В ближайшем будущем норма составит 90 г/км. Нормирование выбросов оксидов серы осуществляют косвенно через ограничение содержания серы в топливе.

Современные газовые двигатели для работы на КПГ выполнены однотопливными [2, 3]. Высокая степень сжатия позволяет реализовать потенциальные свойства газового топлива.

Относительная вредность ВВ ($T_{ВВ}$) в общих выбросах может быть представлена в виде коэффициента (индекса) концентрации химического элемента:

$$T_{ВВ} = c_i / c_{i \text{ ПДК}}, \quad (2)$$

где c_i и $c_{i \text{ ПДК}}$ соответственно фактическая и предельно допустимая концентрации вредного вещества в рассматриваемой среде.

Показатель суммарной токсичности состава ОГ, содержащего n вредных компонентов, может быть представлен следующей зависимостью [4]:

$$\sum T_{ОГ} = \sum_i^n \frac{c_i}{\text{ПДК}_i}, \quad (3)$$

где n - общее число токсичных компонентов в смеси; c_i - фактическая концентрация компонента, мг/м³; i - количество токсичных компонентов.

Физический смысл показателя $\sum T_{ОГ}$ обусловлен минимальным количеством чистого воздуха, необходимого для разбавления ОГ до безопасного его состояния. Комплексный индекс загрязнения атмосферы (ИЗА) продуктами сгорания рассчитывают как сумму нормируемых ВВ по ПДК_{СС} (среднесуточная концентрация), ПДК_{МР} (максимально разовая), ПДК_{РЗ} (рабочая зона), приведённых к концентрации СО или диоксида серы (SO₂). На основе фактических концентраций рассчитывают баллы кратности превышения ПДК_{СС}. Значение компонента СО выбрано постоянным и соответствует среднесуточному ПДК_{СС} - 1 мг/м³.

Относительная вредность $T_{СОСС}$, $T_{СОМР}$, $T_{СОРЗ}$ i -го компонента при различных ПДК по отношению к СО, определяемая как отношение ПДК_{СС i} к ПДК_{СОСС} для основных компонентов, представлена следующими зависимостями:

$$T_{СОСС} = \frac{\text{ПДК}_{СОСС}}{\text{ПДК}_{СС_i}} \leq 1,0; \quad (4)$$

$$T_{СОМР} = \frac{\text{ПДК}_{ССМР_i}}{\text{ПДК}_{СС_i}} \leq 1; \quad (5)$$

$$T_{СОРЗ} = \frac{\text{ПДК}_{СОРЗ}}{\text{ПДК}_{СС_i}} \leq 1,0. \quad (6)$$

Индекс токсичности ОГ двигателя характеризуется суммарным количеством содержащихся в них вредных веществ:

$$\sum T_{СС СО} = \sum_i^n g_i m_{ОГ} T_{СС_i}. \quad (7)$$

Транспортные средства эксплуатируются в населённых пунктах или рабочих зонах (АГНКС, АГЗС, карьеры, шахты, склады). Расчёты суммарных показателей вредности ОГ следует проводить с учётом норм ПДК_{СС}, ПДК_{МР} и ПДК_{РЗ}. Для проведения расчёта индекса токсичности определены коэффициенты вредных компонентов ОГ.

Относительная вредность $T_{СОСС}$, $T_{СОМР}$, $T_{СОРЗ}$ i -го компонента при различных ПДК по отношению к СО для основных компонентов приведена в табл. 1.

Таблица 1

Относительная вредность $T_{CO_{CC}}$, $T_{CO_{MP}}$, $T_{CO_{P3}}$
 i -го компонента при различных ПДК

Компонент ОГ	Относительная вредность ВВ ОГ при различных ПДК		
	$T_{CO_{CC}}$	$T_{CO_{MP}}$	$T_{CO_{P3}}$
CO	1	1	1
CH	2	1	0,07
NO _x	-	-	0,67
NO ₂	35,29	58,82	2,22
Диоксид серы SO ₂	60	166,67	2
Сероводород H ₂ S	375	625	2
Сажа С	60	33,33	5,71
Бензапирен C ₂₀ H ₁₂	3 000 000	-	133 333,33
Акролеин CH ₂ CHCHO	100	166,67	28,57
Формальдегид H ₂ CO	250	142,86	40
Свинец (в пересчёте на Pb)	4285,71	-	2000

Сравнивая среднесуточное значение ПДК_{CC CO} (мг/м³) населённых пунктов с санитарными нормами, можно составить уравнение, представляющее индекс вредности ОГ ДВС:

$$\sum T_{CO_{CC}} = \sum_{i=1}^n g_i m_{ог} T_{CO_{CC}}; \quad (8)$$

$$\sum T_{CO_{MP}} = \sum_{i=1}^n g_i m_{ог} T_{CO_{MP}}; \quad (9)$$

$$\sum T_{CO_{P3}} = \sum_{i=1}^n g_i m_{ог} T_{CO_{P3}}. \quad (10)$$

Для определения суммарной токсичности ОГ введён условный суммарный параметр токсичности ОГ по отношению к условному ВВ, учитывающий биологическую вредность отдельных компонентов отработавших газов. В данном методе для каждого компонента ОГ на основе фактических концентраций рассчитывают баллы кратности превышения ПДК.

Сравнивая среднесуточное ПДК_{CC CO} (мг/м³) населённых пунктов с санитарными нормами, можно составить расчётные уравнения. Так, суммарный показатель загрязнения ОС может быть представлен в следующем виде:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n T_{CO_{CC}} = & g_{CO} m_{ог} T_{CO_{CC}} + g_{CH} m_{ог} T_{CH_{CC}} + g_{NO_2} m_{ог} T_{NO_{CC}} + g_C m_{ог} T_{CC} + \\ & + g_{PB} m_{ог} T_{PB_{CC}} + g_{SO} m_{ог} T_{SO_{CC}} + g_{акр} m_{ог} T_{акр_{CC}} + g_{БП} m_{ог} T_{БП_{CC}}, \end{aligned} \quad (11)$$

где $g_{CO} \dots g_{БП}$ – удельный вес каждого компонента ОГ; $m_{ОГ}$ – масса ОГ; $T_{CO_{CC}}$ – относительная вредность ОГ.

Аналогичные формулы могут быть для помещений $\sum T_{CO_{MP}}$ и $\sum T_{CO_{PЗ}}$. При сравнительной оценке различных сред ИЗА для расчётов применяют одинаковое число примесей. Комбинаторный индекс загрязнённости рассчитывают как сумму общих оценочных баллов всех учитываемых ингредиентов.

Доля NO_x в суммарном индексе концентрации на режимах холостого хода (XX) составляет 35...40 % и 70...75 % – на режимах нагрузок свыше 20 %. Доля CO в суммарном индексе концентрации ВВ составляет около 10 % на режимах средних нагрузок, возрастая до 22 % на режимах полной мощности и до 20 % – на XX. Альдегиды оказывают заметное влияние на суммарный индекс концентрации ВВ на режимах XX и полной нагрузки. Они обладают большой реакционной способностью и почти полностью выгорают при высоких температурах в камере сгорания (КС) дизеля.

Наиболее эффективным методом снижения выбросов NO_x газовых двигателей является система рециркуляции ОГ и уменьшения угла опережения зажигания.

Меньшая скорость распространения фронта пламени в КС сопровождается уменьшением максимального давления и температуры рабочего цикла, а также снижением величины активного тепловыделения. Коэффициент наполнения у газового двигателя на 8...10 % меньше, чем у бензинового. Частично это связано с тем, что при использовании бензина значительная часть топлива поступает в цилиндры в виде капель и плёнки.

Система рециркуляции ОГ предназначена для снижения выброса NO_x путём подачи части ОГ из выпускного трубопровода в цилиндры двигателя. В этом случае температура в КС снижается, и условия для образования NO_x становятся менее благоприятными.

Рециркуляция ОГ сопровождается уменьшением максимальной температуры цикла благодаря уменьшению свежего заряда и увеличению его теплоёмкости. Снижение максимальной температуры цикла способствует уменьшению выброса оксидов азота на 60...70 %.

Действие ОГ на протекание процесса сгорания проявляется в двух аспектах. Содержащийся в составе рециркулируемых газов (РГ) диоксид азота способствует ускорению протекания предпламенных химических реакций, сокращающих период задержки воспламенения (φ_{ti}). Сгорание протекает при меньшей скорости нарастания давления $(dp/d\varphi)_{max}$, в результате чего снижается содержание оксидов азота NO_x и углеводородов СН (особенно альдегидов) в составе ОГ.

Основное воздействие РГ на процесс сгорания проявляется в содержании в них продуктов с высокой удельной теплоёмкостью и диоксида углерода. Присутствие их в процессе сгорания приводит к снижению локальных и средних температур цикла, способствующих образованию NO_x . Степень рециркуляции ОГ можно оценить коэффициентом рециркуляции [4, 5]:

$$K_{pc} = \left[\frac{(C_{BT_{CO_2}} - C_{OC_{CO_2}})}{C_{OG_{CO_2}}} \right] \cdot 100 \%, \quad (12)$$

где $C_{BT_{CO_2}}$, $C_{OC_{CO_2}}$, $C_{OG_{CO_2}}$ – концентрации CO_2 соответственно во впускном трубопроводе (BT), окружающей среде и ОГ.

Аналогичный подход использован фирмой Ricardo Consulting Engineers (EGR)

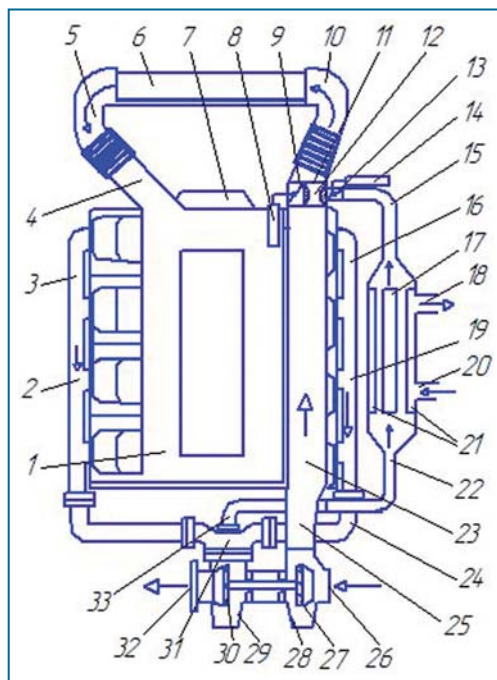


Рис. 1. Принципиальная схема системы РЦ ОГ:

1 – газовый двигатель; 2, 19 – поток ОГ до турбины; 3 – выпускной трубопровод (левый); 4 – поток наддувочного воздуха с РГ после ОНВ; 5 – патрубков наддувочного воздуха после ОНВ; 6 – охладитель наддувочного воздуха (ОНВ); 7 – вентилятор; 8 – пневмоцилиндр привода заслонки нагнетательного воздуха; 9 – дроссельная заслонка нагнетательного воздуха; 10 – патрубок наддувочного воздуха после турбины; 11 – узел подготовки смеси воздуха и РГ; 12 – смеситель (сопло Вентури); 13 – дроссельная заслонка подачи РГ; 14 – пневмоцилиндр привода заслонки РГ; 15 – патрубок удаления РГ после теплообменника EGR; 16 – выпускной трубопровод (правый); 17 – теплообменник; 18 – патрубок отвода ОЖ; 20 – патрубок подвода ОЖ; 21 – полости подачи ОЖ; 22 – патрубок подачи ОГ до теплообменника; 23 – поток наддувочного воздуха после ТРК; 24 – поток РГ до теплообменника EGR; 25 – патрубок подачи ОГ перед теплообменником; 26 – корпус компрессора; 27 – колесо компрессора; 28 – ротор ТРК; 29 – турбина ТРК; 30 – колесо турбины; 31 – объединённый входной патрубок подачи РГ; 32 – корпус турбины; 33 – поток РГ до теплообменника EGR

путём введения параметра EGR - control. Рециркуляция ОГ обеспечивает возврат ОГ в объёме 10...20 % на впуск в цилиндры. Попав в цилиндры, ОГ действуют как активные центры в начале сгорания, но вместе с тем они увеличивают количество балластных компонентов, замедляют протекание реакции окисления и снижают температуру.

Принципиальная схема системы РЦ двигателя 8 VЧ (12/13), изготовленная на базе теплообменника НПО «Турботехника», приведена на рис. 1.

Система РЦ EGR содержит выпускной 3 и 16 (левый и правый соответственно) трубопровод, сообщённый через трубопровод 30 с турбиной 29 ТРК, теплообменник 17 с входным 20 и выходным 16 патрубками, а также с патрубками подачи 23 и удаления 16 РГ, полости подачи ОЖ, узел подготовки смеси воздуха и РГ 11, патрубки соответственно подвода 20 и отвода 18 охлаждающей жидкости, турбокомпрессор, снабжённый турбиной 29, и компрессор 28.

Система наддува содержит компрессор 28, канал подачи наддувочного воздуха после ТРК, узел 11 подготовки смеси воздуха и РГ, содержащий дроссельную заслонку, пневмоцилиндр 8 привода заслонки нагнетательного воздуха, смеситель 12 (сопло Вентури), дроссельную заслонку подачи РГ, пневмоцилиндр 14 привода заслонки РГ, охладитель наддувочного воздуха (ОНВ) 6 с патрубками 5 и 10 подачи наддувочного воздуха до и после ОНВ.

Степень РЦ ОГ регулируют путём изменения положения дроссельных заслонок 9 и 13 по величине наддувочного воздуха. Сопло Вентури 12 обеспечивает равномерное смешивание ОГ и наддувочного воздуха.

Оптимальная температура ОЖ составляет 75...80 °С. Оптимальная величина РГ в системе РЦ составляет 150 °С. Отвод теплоты от ОГ составляет 265 МДж/ч. Расчётное количество ОЖ для обеспечения перепада 10 °С

составляет 6 м³/ч. Перспективное решение системы РЦ обусловлено наличием сопла Вентури после ТРК и наличием ОНВ.

Рециркуляция ОГ начинается после прогрева охлаждающей жидкости до температуры 35...40 °С и осуществляется во всём диапазоне частичных нагрузок. При работе двигателя на полной нагрузке система рециркуляции ОГ выключается [5-7].

Эффективным средством снижения выбросов NO_x с ОГ в газовом двигателе является применение охлаждаемой РЦ ОГ.

Двигатель испытывался при различных степенях рециркуляции ОГ, которая регулировалась изменением положения заслонок по наддувочному воздуху (заслонка ОНВ) и по рециркулируемым газам (заслонка РГ).

Увеличение K_{рец} осуществляют путём открытия заслонки РГ при полностью открытой заслонке ОНВ или закрытия заслонки ОНВ при полностью открытой заслонке РГ.

Измерение выброса ВВ с ОГ проводилось в базовом варианте и при настройке с скорректированными значениями углов опережения впрыскивания топлива с целью снижения выбросов NO_x.

Эффективность теплообменника EGR в системе РЦ может быть выражена формулой

$$\mathcal{E}_{\text{ТП}} = \frac{T_1 - T_2}{T_1 - T_{\text{ож1}}}, \quad (13)$$

где T₁, T₂ – температура РГ соответственно на входе в теплообменник EGR и на выходе из него; T_{ож1} – температура воды на входе в теплообменник EGR.

Тепловой поток теплообменника EGR, представляющий количество теплоты, отводимое при охлаждении РГ, может быть представлен зависимостью:

$$Q_{\text{ТП}} = G_{\text{ож}} \cdot c_{\text{ож}} \cdot \Delta T_{\text{ож}} = G_{\text{рг}} \cdot c_{\text{рг}} \cdot \Delta T_{\text{рг}}, \text{ кДж/ч}, \quad (14)$$

где G_{ож}, G_{рг} – массовые расходы охлаждающей и охлаждаемой сред (ОЖ и РГ); c_{ож}, c_{рг} – средние удельные теплоёмкости охлаждающей и охлаждаемой сред, для ОЖ c_{ож}=4,187 кДж/(кг·К), для РГ c_{рг}=1,162 кДж/(кг·К).

Перепад температуры воды в теплообменнике может быть представлен зависимостью

$$\Delta T_{\text{ож}} = T_{\text{ож2}} - T_{\text{ож1}}. \quad (15)$$

Перепад температур РГ в теплообменнике может быть представлен зависимостью

$$\Delta T_{\text{рг}} = T_{\text{рг1}} - T_{\text{рг2}}. \quad (16)$$

Массовый расход охлаждаемых рециркулируемых газов может быть представлен зависимостью:

$$G_{\text{рг}} = K_{\text{рец}} \cdot G_{\text{ог}} = K_{\text{рец}} \cdot (G_{\text{воз}} + G_{\text{топ}}), \text{ кг/ч}, \quad (17)$$

где G_{ог} – общий расход ОГ; G_{воз}, G_{топ} – расход воздуха и топлива соответственно.

Расчётный расход охлаждающей жидкости (вода):

$$G_{\text{ожр}} = \frac{Q_{\text{ТП}}}{c_{\text{ож}} \cdot \Delta T_{\text{ож}}}, \frac{\text{кг}}{\text{ч}}. \quad (18)$$

Тепловая нагрузка на систему охлаждения (мощность, необходимая для охлаждения РГ):

$$N_T = \frac{Q_{ож}}{3600} \cdot \frac{K_{ДЖ}}{c} \text{ (кВт)}. \quad (19)$$

Оценка теплообменника EGR проведена на режиме с наибольшими значениями расхода РГ и температуры воды на входе в теплообменник.

$$G_{рц} = \frac{G_{РГ}}{G_{ОГ}} \cdot 100 \%. \quad (20)$$

Коэффициент рециркуляции $K_{рц}$ представляют в процентном отношении от $G_{ОГ}$. Испытанная система EGR в диапазоне работ двигателя $n=1250...1750 \text{ мин}^{-1}$ обеспечивает степень рециркуляции $K_{рц}=0,013...0,09$ (рециркуляция ОГ 1,3...9 % от $G_{ОГ}$). Большие значения $K_{рц}$ наблюдаются на высоких оборотах двигателя.

Из двух способов управления степенью рециркуляции предпочтительным является регулировка заслонкой РГ при открытой заслонке наддувочного воздуха. Способ регулировки заслонкой НВ при открытой заслонке РГ менее эффективен из-за увеличения сопротивления в смесителе при закрытии заслонки НВ и значительного падения давления наддувочного воздуха (на $\sim 0,02...0,08 \text{ МПа}$), снижения расхода воздуха (G_v уменьшается на 70...370 кг/ч) и ухудшения топливной экономичности двигателя g_e на 6...10,0 г/(кВт·ч).

Наибольшая эффективность системы EGR по снижению удельных выбросов оксидов азота достигается при полностью открытой заслонке РГ (при наибольшей степени рециркуляции). Исходя из этого испытания по циклу ESC проводились при полностью открытой заслонке РГ.

Величина $K_{рц}$ зависит от температуры РГ T_2 , то есть от эффективности теплообменника EGR. Из сравнения режимов регулировочных характеристик и ESC-цикла, имеющих разное значение T_2 , следует, что при снижении T_2 на 1 °С степень рециркуляции увеличивается на 0,002...0,019 %.

По данным фирмы MODINE (производство теплообменников EGR для средних и тяжёлых грузовых автомобилей), РГ необходимо охлаждать до температур 150...180 °С. Испытанный теплообменник EGR на режимах с большими значениями расхода РГ и температуры ОЖ на входе в теплообменник не обеспечивает достаточную эффективность охлаждения РГ ($\Theta_{тн}=66...67,5 \%$), температура РГ на выходе из теплообменника составляет 220...250 °С.

По данным ПАО «КАМАЗ», теплообменник системы EGR с уровнем рециркуляции 25 % должен иметь параметры $T_1=650 \text{ °С}$, $T_2=150 \text{ °С}$, $T_{ок1}=80 \text{ °С}$, $T_{ок2}=90 \text{ °С}$, расход РГ составляет $G_{РГ}=K_{рц} \cdot G_{ОГ}=0,25 \cdot 1800 \text{ кг/ч} = 450 \text{ кг/ч}$.

При повышении рециркуляции ОГ до 25 % для поддержания температуры РГ после теплообменника EGR на уровне 150 °С необходим теплообменник с эффективностью 85 %, обеспечивающий отвод теплоты в количестве 261 МДж/ч. Тепловая нагрузка на систему охлаждения при этом должна составить 73 кВт, а расчётное количество расхода воды для перепада $\Delta T_{ок}=10 \text{ °С} - 6 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Эффективность газового двигателя можно определить с помощью разработанного коэффициента экологической эффективности, представляющего собой отношение приведённой суммарной токсичности дизеля к суммарной токсичности газового двигателя [4]:

$$K_{ЭГД} = \frac{\sum_i^n T_{газ ДВ}^{CO}}{\sum_i^n T_{ТД}^{CO}} \leq 1,0, \quad (21)$$

где $T_{\text{газ дв}}^{\text{CO}}$ – суммарная приведённая токсичность газового двигателя; $T_{\text{дт}}^{\text{CO}}$ – суммарная приведённая токсичность дизеля.

Коэффициент экологической эффективности изменяется в диапазоне от 1 к 2. Его величина представляет количество воздуха (м^3), необходимое для разбавления ОГ до безвредного состояния.

Охлаждение рециркулируемых газов в теплообменнике EGR осуществляется ОЖ. При снятии регулировочных характеристик подвод ОЖ к теплообменнику EGR осуществлялся из внешнего контура стендовой системы охлаждения, температура воды при этом составила 10...19 °С [8-10]. При испытаниях по ESC-циклу подвод ОЖ к теплообменнику EGR производился из внутреннего контура системы охлаждения двигателя, температура воды при этом составила 74...80 °С.

Варианты и способы регулирования системы РЦ ОГ представлены в табл. 2.

Таблица 2

Вариант испытаний	Способ регулирования системой РЦ
Рециркуляция ОГ отключена	1-й способ: открыта заслонка ОНВ; регулировка заслонкой РГ 2-й способ: открыта заслонка РГ; регулировка ОНВ
Рециркуляция РГ включена	1-й способ: открыта заслонка ОНВ; регулировка заслонкой РГ 2-й способ: открыта заслонка РГ; регулировка ОНВ

Из двух способов управления степенью рециркуляции предпочтительным является первый способ (регулировка заслонкой РГ, при открытой заслонке НВ). Второй способ управления (регулировка заслонкой НВ, при открытой заслонке РГ) неприемлем ввиду увеличения сопротивления в смесителе при закрытии заслонки НВ и значительного падения давления наддувочного воздуха (на 0,2...0,8 кгс/см²), а также снижения расхода воздуха (G_v уменьшается на 70...370 кг/ч) и ухудшения топливной экономичности двигателя на 8...14 г/(кВт·ч).

Наиболее эффективна система РЦ при полностью открытой дроссельной заслонке РГ (максимальная степень РЦ). Для снижения выбросов NO_x до уровня Евро-5 необходимо повышать степень РЦ до 20 %.

Из анализа результатов ESC-цикла следует, что в базовом варианте двигателя (1-й способ, без рециркуляции) выполнение норм Евро-5 возможно при снижении NO_x на 80 %. Испытанная система EGR снижает NO_x на 28 %, а совместно с корректировкой углов опережения впрыскивания топлива – на 45 %. Для исследования возможности снижения выбросов NO_x до уровня Евро-5 рекомендуется повысить степень рециркуляции системы EGR до 25 %, увеличив пропускную способность смесителя.

Переход двигателя на газодизельный режим сопровождается повышением мощности крутящего момента во всём диапазоне внешней скоростной характеристики. При этом наблюдается небольшое повышение температуры отработавших газов ($t_{\text{ОГ}}$). Влияние степени РЦ ОГ на показатели работы двигателя приведено на рис. 2.

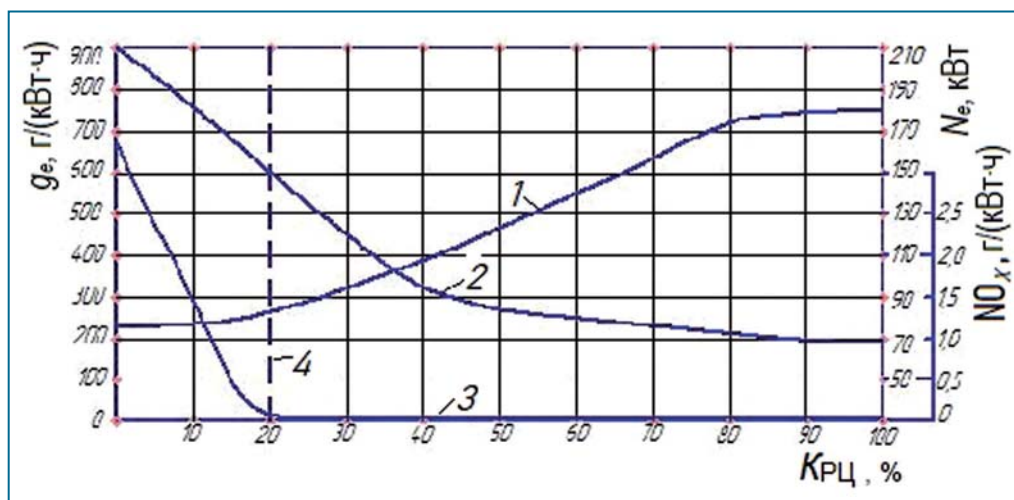


Рис. 2. Влияние степени РЦ ОГ на показатели работы двигателя:
 1 – расход топлива; 2 – оксиды азота; 3 – мощность; 4 – граница эффективности РЦ

Механизм воздействия РЦ на внутрицилиндровые процессы имеет сложный и неоднозначный характер [11]. Инертный газ разбавляет рабочую смесь, не изменяя соотношения воздух/топливо, уменьшает содержание кислорода в заряде.

Возврат ОГ в объеме 25 % обратно на впуск двигателя сопровождается ухудшением процесса сгорания, замедлением его скорости, снижением температуры и давления в цилиндре, то есть создаются условия, способствующие уменьшению выброса NO_x. ОГ, возвращенные в цилиндр, действуют как активные центры в начале сгорания, но одновременно увеличивают количество балластных компонентов, замедляющих протекание реакции окисления и снижение температуры рабочего цикла.

Увеличение кислорода в составе горючей смеси повышает температуру горения. Введение ОГ искусственно уменьшает содержания кислорода в составе рабочей смеси, что сопровождается падением температуры сгорания из-за сокращения количества кислорода, взаимодействующего с азотом и обеспечивающего снижение количества NO_x.

Уменьшение кислорода сопровождается снижением интенсивности тепловыделения в период кинетического сгорания, обеспечивая умеренные скорости образования NO_x. Однако при этом увеличивается неполнота сгорания топлива, сопровождающаяся ростом дымности ОГ и выбросом ТЧ.

Основное влияние ОГ на процесс сгорания обусловлено содержанием продуктов с высокой удельной теплоёмкостью и диоксида углерода. Рециркуляция ОГ обеспечивает увеличение наполнения цилиндров при остающемся постоянным количестве подаваемого свежего воздуха. Присутствие ОГ в процессе сгорания приводит к снижению локальных и средних температур цикла, способствующих образованию NO_x [6, 7].

Цикловое наполнение двигателя с учетом РЦ ОГ можно представить зависимостью

$$G_{ц} = \frac{M_n i_{Крц}}{1,2n} 10^4, \quad (22)$$

где G_ц – цикловое наполнение цилиндра, мг/цикл; M_n – массовое наполнение

цилиндра; i – тактность двигателя; n – частота вращения КВ двигателя.

РЦ замещает содержание кислорода в камере сгорания, что влияет на протекание процесса сгорания и снижение максимальной температуры во фронте пламени, сопровождающейся снижением концентрации NO_x , что при использовании РЦ обусловлено повышением удельной теплоёмкости заряда из-за добавления CO_2 , паров воды, а также запаздывания начала сгорания и замедления его развития. Уменьшение кислорода в горючей смеси при РЦ приводит к снижению максимальной и средней цикловой температуры сгорания и смещению процесса сгорания на линию расширения.

Уменьшение температуры продуктов сгорания и выброса NO_x при использовании РЦ на 90 % связано с сокращением содержания кислорода, и только 10 % эффекта обусловлено повышением удельной теплоёмкости заряда.

Современные экологические стандарты OBD-II и EOBD второго поколения предполагают наличие бортовой диагностики, основанной на системе РЦ ОГ. Рециркуляция ОГ сопровождается уменьшением максимальной температуры цикла благодаря уменьшению свежего заряда и увеличению его теплоёмкости. Зависимость линейная: коэффициент остаточных газов равен нулю – мощность максимальная; с ростом коэффициента остаточных газов мощность всегда падает.

Попав в цилиндры, ОГ действуют как активные центры в начале сгорания, но вместе с тем они увеличивают количество балластных компонентов, замедляющих протекание реакции окисления и снижение температуры рабочего цикла. Система РЦ не работает на режимах ХХ и при полной нагрузке двигателя. Правильная работа систем РЦ ОГ проверяется на прогревом высокооборотном двигателе путём увеличения с малой частоты вращения КВ до 3 000 мин^{-1} (не более), а также путём визуального наблюдения за перемещением штока клапана.

Образование NO_x в ОГ является следствием высокой температуры и давления в КС, связанных с повышением эффективности сжигания топлива в двигателе. Чем выше температура, тем выше топливная экономичность и мощность двигателя.

Применение РЦ приводит к запаздыванию начала сгорания и замедлению его развития, что сопровождается снижением температуры сгорания рабочей смеси и сокращению периода, в течение которого максимальные температуры цикла остаются неизменными.

Влияние степени РЦ ОГ на показатели работы бензинового двигателя приведено на рис. 3.

Относительная величина оксидов азота уменьшатся по мере увеличения степени РЦ. Из физических особенностей воздействия ОГ на процесс сгорания вытекает, что эффективность рециркуляции ОГ увеличивается при снижении их температуры. При рециркуляции в свежем заряде цилиндра снижается доля свободного кислорода, что приводит к снижению скорости и температуры сгорания топлива, в результате чего происходит снижение эмиссии NO_x .

Присутствие ОГ в процессе сгорания приводит к снижению локальных и средних температур цикла, также способствующих образованию NO_x .

При умеренной степени рециркуляции ОГ 5...15 % и сохранении исходными M_e в двигателе достигаются весьма низкие удельные выбросы NO_x 4,5...2,5 г/(кВт·ч) (по 13-ступенчатому циклу) при обеспечении приемлемого уровня дымности ОГ, что является важнейшим преимуществом системы РЦ ОГ. При высокой

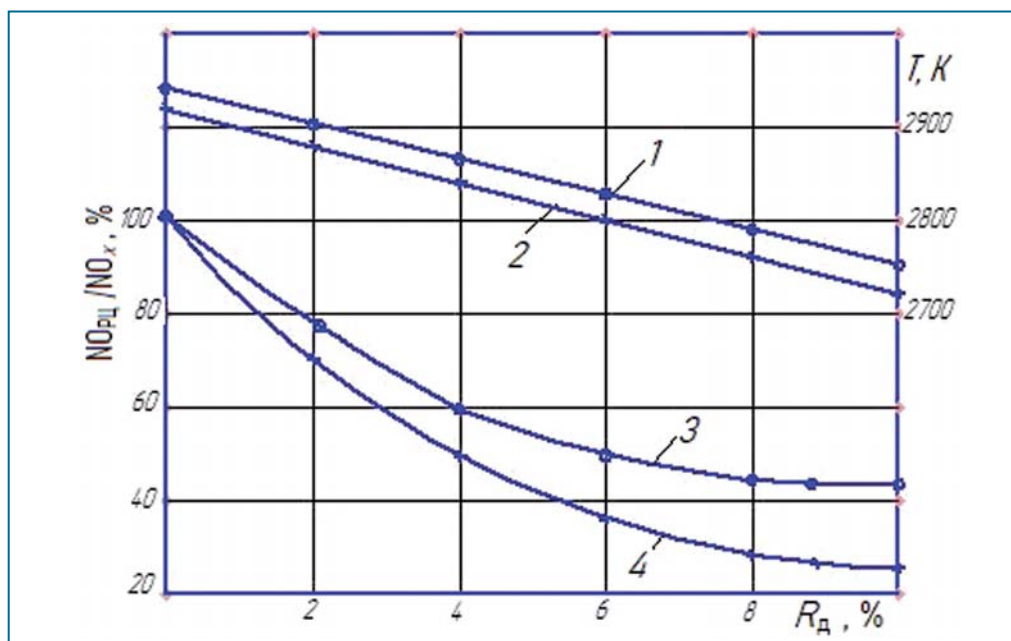


Рис. 3. Влияние рециркуляции на выброс оксидов азота и температуру ОГ:
 1 – максимальная температура в зоне продуктов сгорания; 2 – максимальная температура в цилиндре; 3 – снижение оксидов азота при температуре рециркуляции газов 1000 К; 4 – снижение оксидов азота при температуре рециркулируемых газов 350 К

степени РЦ, превышающей 40 % объёма воздуха на впуске, происходит увеличение содержания сажи, СО, СН и расхода топлива из-за недостатка кислорода.

Важной проблемой рециркуляции является сложность автоматического регулирования закона перепуска ОГ в зависимости от режима работы дизеля.

Основная масса NO_x образуется в первой половине процесса сгорания. Запаздывание процесса тепловыделения является основным фактором, вносящим вклад в образование NO_x . Содержание в составе ОГ диоксида азота NO_2 способствует ускорению протекания предпламенных химических реакций, в результате которых сокращается продолжительность задержки воспламенения топлива, и сгорание протекает при меньшей скорости нарастания давления $(dp/d\phi)_{max}$.

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

Управление процессом впрыскивания по типу обратной замкнутой связи протекает в соответствии с программой, хранящейся в памяти ЭБУ. ЭБУ контролирует и обрабатывает входящие сигналы измерительных датчиков, может хранить в памяти информацию, содержащую специфические схемы работы для получения разнообразных параметров. Контролируемые параметры также включают температуру воздуха, топлива, охлаждающей жидкости и давление турбокомпрессора [10].

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

Результаты экологических испытаний однотопливного газобаллонного автомобиля (ГБА) приведены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты экологических испытаний однотопливного ГБА

Наименование загрязняющих ВВ	Контролируемые параметры		Технический регламент (п. 3. прил. 3, не более)
	V=50±5 км/ч	V=50±5 км/ч, с открытым люком на крыше	
Оксид углерода CO, мг/м ³	0,9	1,1	5,0
Диоксид азота NO ₂ , мг/м ³	0,01	0,01	0,2
Оксид азота NO, мг/м ³	0,1	0,02	0,4
Метан CH ₄ , мг/м ³	0	0	50

Наземные транспортные средства с газовыми двигателями соответствуют экологическому стандарту Евро-5. Наиболее эффективным методом снижения выбросов NO_x газовых двигателей являются системы РЦ ОГ и уменьшения угла опережения зажигания. Применение КПП в целом характеризуется достаточной безопасностью эксплуатации ГБА и экономической эффективностью.

При РЦ из-за разбавления заряда продуктами сгорания процесс сгорания протекает несколько хуже. Концентрации CO и CH в ОГ несколько увеличиваются. Из-за недостатка кислорода в отдельных зонах КС образуется богатая смесь, сгорание которой не может быть полным и сопровождается образованием частиц сажи.

Основная масса NO_x образуется в первой половине процесса сгорания. Запаздывание процесса тепловыделения является основным фактором, вносящим вклад в образование NO_x. Содержание в составе ОГ NO₂ способствует ускоренному протеканию предпламенных химических реакций, в результате которых сокращается период задержки воспламенения топлива. В этом случае снижение концентрации NO_x в ОГ происходит вследствие уменьшения максимальной температуры цикла ОГ. Рециркуляция увеличивает общее наполнение цилиндров при остающемся постоянным количестве подаваемого свежего воздуха.

Зависимость влияния степени РЦ на показатели работы современного дизеля приведена [11] на рис. 4.

По мере увеличения значения рециркуляции выбросы NO_x (кривые 3, 4) уменьшаются, а сажа (кривые 1, 2) и удельный расход топлива (кривые 5, 6) – возрастают.

Испытания транспортного дизеля [12-15] показали целесообразность использования РЦ ОГ на режимах малых нагрузок. Применение РЦОГ обеспечивает

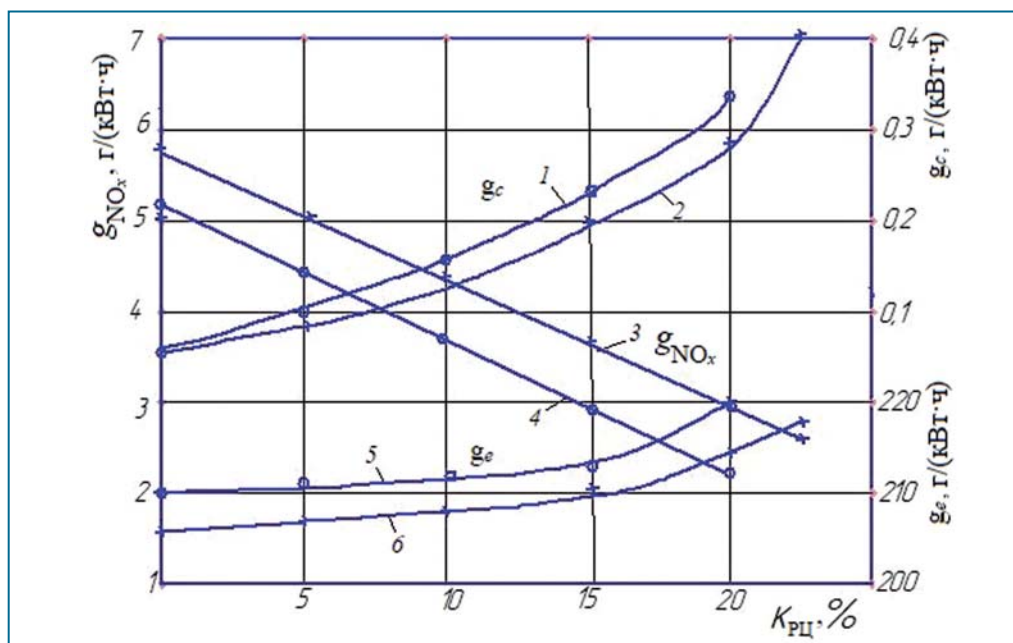


Рис. 4. Влияние степени РЦ на экологические показатели работы дизеля:
 1, 4, 5 – сажа, оксиды азота, ●—●—● – нагрузка 100 %; 2, 3, 6 – сажа, оксиды азота,
 ×—×—× – нагрузка 25 %; $n_{кв} = 1800 \text{ мин}^{-1}$

снижение выбросов оксидов азота на 35 % при неизменном уровне топливной экономичности.

Выбросы сажи, представляющей собой микроскопические углеродистые частицы различной формы, структуры и величины диаметром 0,05 мкм, достигают минимального значения при $K_{РЦ}=25 \%$. Ядро частицы состоит из чистого углерода, а на нём адсорбируются различные углеводородные соединения, оксиды металлов и серы. Состав частиц сажи зависит от применяемого рабочего процесса, режима работы двигателя и состава топлива. Частота вращения КВ не оказывает влияния на концентрации выброса ВВ.

Автомобили, работающие на КПГ, характеризуются низким содержанием ВВ.

Расчет концентраций сажи представлен в программе ДИЗЕЛЬ-РК, разработанной специалистами МГТУ им. Н.Э. Баумана. Скорость сажеобразования в зоне горения составляет:

$$\left(\frac{d[C]}{d\tau}\right)_K = 0,004 \frac{q_c dx}{V d\tau}, \quad (23)$$

где V – текущий объём цилиндра; q_c – цикловая подача топлива; $dx/d\tau$ – скорость тепловыделения.

Скорость сажеобразования пропорциональна скорости исчезновения жидких капель вследствие их полного испарения. Параллельно с сажеобразованием протекает процесс выгорания сажевых частиц и уменьшения их объёмной концентрации.

Скорость выгорания сажи может быть представлена выражением

$$\left(\frac{d[C]}{d\tau}\right)_B = 3,110^{-6} n^{0,5} p[C], \quad (24)$$

где p – текущее давление в цилиндре, МПа; $[C]=C/V$ – текущая концентрация сажи в объёме цилиндра.

Скорость изменения концентрации сажи в цилиндре из-за расширения:

$$\left(\frac{d[C]}{d\tau}\right)_V = 0,75 \frac{6n}{V} \frac{dV}{d\varphi} C. \quad (25)$$

Перевод полученного значения концентрации сажи (г/м^3) в единицы шкалы Хартриджа осуществляется по уравнению:

$$\text{Hartridge} = 100[1 - 0,9545\exp(-2,4226[C])]. \quad (26)$$

По аналогичным эмпирическим зависимостям концентрация сажи может быть переведена в единицы шкалы Bosch.

Показатели эмиссии твёрдых частиц могут быть вычислены по эмпирической формуле Алкидаса [16] в зависимости дымности ОГ:

$$[\text{PM}] = 565 \left(\ln \frac{10}{10 - \text{Bosch}}\right)^{1,206}. \quad (27)$$

В камере сгорания существуют неоднородные по температуре участки. Капли жидкого топлива, попадая на эти поверхности, крекируются, и двигатель работает с повышенной дымностью ОГ. На стадии процесса сгорания углеводородов образуется свободный углерод. Реакция распада происходит с высокими скоростями по сравнению с реакциями его окисления. С ростом температуры разница между скоростями распада и окисления увеличивается, что является причиной повышенной дымности ОГ дизелей.

Сопоставление расчётных и экспериментальных результатов концентрации сажи на режимах ВСХ показали высокую их сходимость. Предельные значения содержания ВВ различных энергетических установок по тестам (Правила № 49 ЕСЕ) приведены в табл. 4.

Таблица 4

Токсичность ОГ различных энергетических установок

Содержание г/(кВт·ч)	Евро-5	Газовый двигатель	Газодизель	Дизель с системой нейтрализации
СО	4,0	0,07	2,5	0,56
СН	0,55	0,34	0,12	0,02
NO _x	2,0	2,13	0,25	3,28
Твёрдые частицы	0,5	0	0,35	0,018

Требования экологического стандарта OBD-II и EOBD предполагают приоритетное определение неисправностей системы РЦ, отказ которой неизбежно приводит к повышению выброса ВВ и прежде всего NO_x.

Результаты оценки выбросов ВВ однотопливного автомобиля КАМАЗ при работе на КПП приведены на рис. 5.

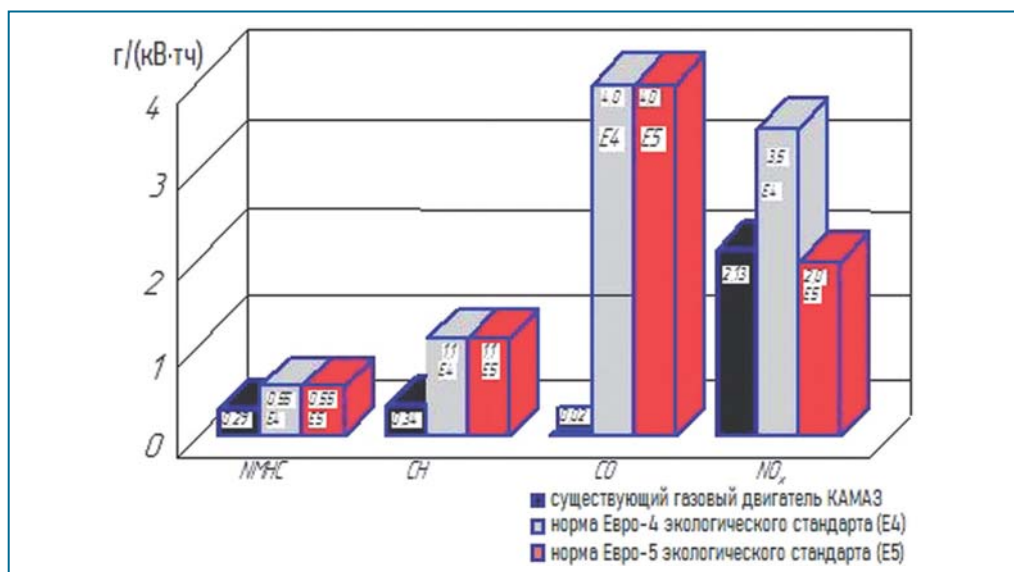


Рис. 5. Результаты оценки выбросов ВВ однопаливного автомобиля КАМАЗ при работе на КПГ

Показатели динамических и топливно-экономических качеств газобаллонных автомобилей рассматривают в функции скорости $D=f(V)$ и расхода топлива $Q_T=f(V)$.

Дорожная экономическая характеристика представляет собой расход топлива в диапазоне от установившейся минимально устойчивой до максимальной скорости движения газобаллонных автомобилей. Топливную экономичность автомобиля оценивают расходом топлива в литрах на 100 км пробега, определяемую по формуле

$$Q_T = (V/S) \cdot 100, \text{ л/100,} \quad (28)$$

где Q_T – расход топлива, л/100 км; V – количество топлива, израсходованного на мерном участке, л; S – длина мерного участка, км.

Свободное качение (выбег) газобаллонного автомобиля (в зависимости от полной массы) изменяется в широких пределах (600...3000 м). Выбег автомобиля определяют путём свободного его качения при разобщении двигателя и трансмиссии.

В реальных условиях эксплуатации автомобильные двигатели 75...80 % времени работают на неустановившихся режимах. Разгон автомобиля, занимающий 38...42 % в общем балансе времени пребывания газобаллонного автомобиля на линии, относят к наиболее характерным режимам его работы в реальных условиях эксплуатации.

Динамические характеристики (разгон) газобаллонных автомобилей определяют с места путём последовательного переключения передач с низшей до высшей и с минимально устойчивой скорости движения на прямой передаче путём резкого открывания дросселя. Регистрация динамических параметров (разгон/выбег) осуществлялась при помощи прибора «путь–время–скорость» (пятое колесо).

Динамические характеристики «разгон/выбег» газобаллонного автомобиля КАМАЗ при работе на КПГ [17-18] приведены на рис. 6.

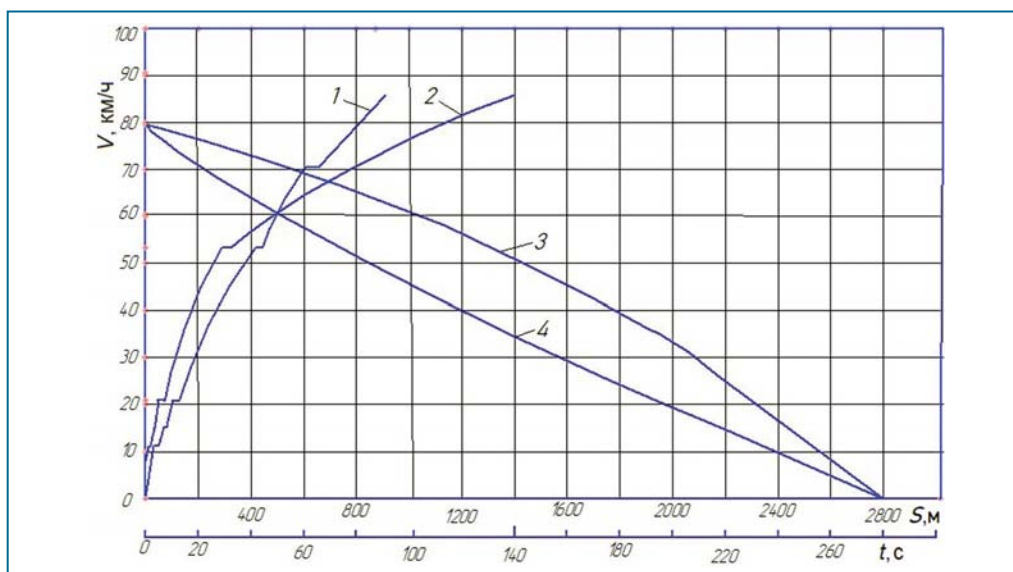


Рис. 6. Динамические характеристики газобаллонного автомобиля КАМАЗ-6511-33 при работе на КПГ:

1 – продолжительность разгона до максимальной скорости, с; 2 – длина мерного участка разгона до максимальной скорости, м; 3 – длина мерного участка свободного качения, м; 4 – продолжительность свободного качения до текущей скорости, с

Сравнительные показатели скоростной характеристики «разгон/выбег» автомобиля КАМАЗ приведены в табл. 5.

Таблица 5

Скоростная характеристика «разгон/выбег» автомобиля КАМАЗ

Параметры	Модель автомобиля			
	65115 КПГ	65115 СПГ	6520 КПГ	6520 СПГ
Масса газовой установки (включая массу газа), кг	1300	550	1900	550
Число баллонов/баков, ед.	13 по 80 л	1 на 450 л	17 (9-80 л, 8-100 л)	1 на 450 л
Расход газа при скорости 60 км/ч, м ³	46	36,7	43	41
Расход газа при скорости 80 км/ч, м ³	49	42	52	52
Грузоподъёмность, кг	14 400	14 820	18 700	20 540
Снаряжённая масса, кг	10 800	10 380	14 400	12 560
Колёсная база, мм	3 690	3 690	4 600	3 600
Максимальная масса, кг	25 200	25 200	33 100	33 100

Величина свободного качения свидетельствует о минимально возможных потерях в трансмиссии испытываемых газобаллонных автомобилей. В городских условиях эксплуатации для грузовых и легковых автомобилей средние скорости движения составляли 30 и 28,6 км/ч соответственно.

Пробег газобаллонных автомобилей на одной заправке при работе на СПГ повышается в 1,5 раза по сравнению с КПП.

Пусковые качества газобаллонных автомобилей, работающих на газовом топливе, практически не отличаются от базовых бензиновых. При использовании газового топлива газобаллонные автомобили второго и третьего поколений по пусковым качествам несколько уступают базовым бензиновым модификациям. Существует несколько причин. Некоторые из них связаны с более высокой температурой воспламенения горючей смеси, меньшей скоростью распространения фронта пламени, повышенной степенью сжатия. Важной отраслевой задачей является адаптация ТС к эффективной эксплуатации на КПП.

Основные преимущества КПП приведены в табл. 6.

Таблица 6

Эксплуатационные показатели при работе на КПП

Показатели	Социально-экономическая эффективность
Безопасность	Согласно «Классификации горючих веществ по степени чувствительности», утверждённой приказом МЧС РФ № 404 от 10.07.2009 г., метан относится к безопасному 4-му классу (слабочувствительные вещества)
Экологичность	Природный газ является наиболее экологичным моторным топливом. Его использование позволяет значительно снизить количество ВВ в ОГ до уровня стандартов Евро-4 и Евро-5
Экономичность	Стоимость КПП в 2-3 раза ниже нефтяных топлив

При температуре окружающего воздуха до $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ эффективный пуск двигателя на КПП второго и третьего поколений может осуществляться как на газовом топливе, так и на бензине. Удовлетворительный пуск двигателя при температуре окружающего воздуха до $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ может быть достигнут только при правильной регулировке газовой аппаратуры в сочетании с достаточно надёжной работой стартера. При более низких температурах ($-10\text{ }^{\circ}\text{C}$) пуск газового двигателя вызывает затруднения.

В настоящее время разработаны конструкции современных подогревателей для ГБА при работе на СУГ и КПП. Холодный пуск двигателя на КПП четвертого поколения эффективно осуществляется при температуре охлаждающей жидкости $\leq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$. При работе двигателя на бензине активизируются клапаны подачи газа. В этом случае при закрытом клапане высокого давления для работы на газе к бензину добавляют 15 % газа (от общего количества топлива).

Если газ поступает из газораспределительной магистрали, то на клапаны подачи газа через 60 с подаются полное напряжение. Температура ЭМФ повышается на $35\text{ }^{\circ}\text{C}$, исключается залипание клапанов подачи газа. Затем включается клапан высокого давления для работы на газе, и давление снова поднимается в газораспределительной магистрали.

Важным направлением улучшения энергетических параметров газовых двигателей является совершенствование эксплуатации при низких температурах.

При холодном двигателе влага конденсируется на его деталях, имеющих температуру ниже точки росы. Изменение точки росы зависит от количества образующейся влаги. Количество влаги в газе не должно превышать 9 мг/нм^3 . Такая величина влагосодержания препятствует образованию льда в любой

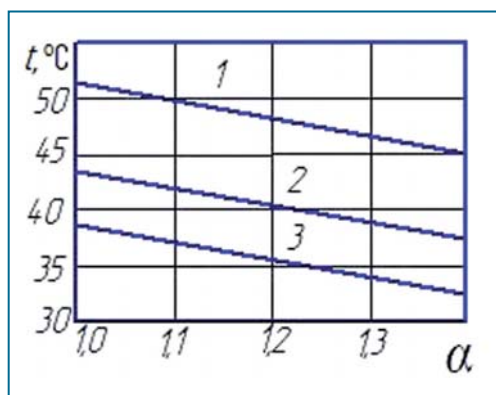


Рис. 7. Точка росы продуктов сгорания транспортного двигателя:
1 - КПГ; 2 - СУГ; 3 - бензин

при температуре 42...48 °С. Закономерность изменения точки росы продуктов сгорания конвертированного двигателя с принудительным воспламенением приведена на рис. 7.

Продолжительность запуска холодного двигателя существенно зависит от величины установочного угла опережения зажигания. Оптимальная величина при работе на КПГ составляет 5° от появления старта до появления первой вспышки (базовый автомобиль имеет 3°). Меньшая скорость сгорания требует увеличения угла опережения зажигания, что приводит к перегреву деталей двигателя. Задержка воспламенения существенно влияет на экологические и топливно-энергетические показатели современного ДВС. Начало процесса сгорания может быть рассчитано с учётом величины задержки воспламенения, определяемой по формуле

$$\tau_{зв} = A \cdot B \cdot n \sqrt{T/p} \cdot \exp \frac{E_0}{RT}, \quad (29)$$

где A, B – константы; n – частота вращения КВ, мин⁻¹; E_0 – энергия активации топлива, кДж/кмоль; T – температура, К; R – газовая постоянная.

Увеличение температуры на 10 °С сопровождается повышением скорости химической реакции в 4 раза, а при возрастании до 100 °С – в 1000 раз. При повышении температуры возрастают скорость движения молекул и число соударений между ними в 1,3 раза.

Причины воспламенения (хлопки) во впускном трубопроводе газового двигателя третьего поколения обусловлены перебоями в искрообразовании из-за неисправностей основных его элементов (катушки зажигания, свечи зажигания, высоковольтные провода и наконечники, датчик детонации и электронный блок управления), одновременным искрообразованием в двух цилиндрах двигателя и большим углом одновременного открытия впускного и выпускного клапанов. Происходит перепуск пламени во впускной трубопровод с последующим воспламенением газозооушной смеси с характерным хлопком.

В газовых двигателях с центральным поступлением газа нежелательность хлопка при работе на газовом топливе сопровождается разрушением компонентов двигателя, в частности, прибора измерения потока воздуха.

Одним из основных показателей технического уровня ГБА является безопас-

точке газовой аппаратуры. Несоблюдение этого условия приводит к образованию льда (ледяные пробки) в газовых редукторах при дросселировании КПГ. Одна из наиболее важных проблем эффективного использования КПГ связана с осушкой его на АГНКС.

Точка росы при давлении 20 МПа составляет -30 °С, а при нормальном давлении равна -72 °С. Точка росы КПГ на входе линии высокого давления АГНКС соответствует температуре -52 °С, а на выходе -30 °С.

При сгорании 1 м³ метана образуется 1,6 кг водяных паров. Точка росы ОГ при работе на метане при $\alpha=1,3$ насту-

ность конструкции газовой аппаратуры. Критерием надёжной её работы считают наработку до появления первого отказа, то есть до нарушения герметичности элементов системы питания, сопровождающегося утечкой газа и создающего угрозу безопасной эксплуатации автомобиля или прекращающего транспортный процесс. Надёжность ГБА формируется на стадии проектирования, обеспечивается технологией и поддерживается в эксплуатации [19].

Безопасность конструкции газовой аппаратуры характеризует технический уровень ГБА. Параметрические отказы газовой аппаратуры предопределяются её конструктивными особенностями и условиями эксплуатации.

Так, конструктивные факторы обеспечивают достижение необходимого уровня физических и параметрических отказов газовой аппаратуры. Параметрические отказы характеризуются неоптимальной частотой вращения КВ и мощностью газового двигателя, увеличением частоты вращения КВ газового двигателя на режимах ХХ, а также невозможностью работы двигателя в газодизельном режиме.

Что касается эксплуатационных факторов, то принятая регламентная система технического обслуживания ТС обеспечивает поддержание параметров газовой аппаратуры на необходимом уровне до капитального ремонта.

Безотказная работа системы питания ГБА предопределяется количеством и техническим уровнем его функциональных элементов. Вероятность безотказной работы газовой системы питания по критерию «герметичность» может быть представлена зависимостью

$$P_{\text{СП}} = p_{\text{ГБ}} \cdot p_{\text{БВ}} \cdot p_{\text{РП}} \cdot p_{\text{ГФ}} \cdot p_i, \quad (30)$$

где $P_{\text{СП}}$ – вероятность безотказной работы системы питания; $p_{\text{ГБ}}$, $p_{\text{БВ}}$, $p_{\text{РП}}$, $p_{\text{ГФ}}$ – вероятность безотказной работы газового баллона, баллонного вентиля, редуктора-подогревателя, газового фильтра, p_i – вероятность безотказной работы i -го аппарата.

Нарушение компонентного состава газового топлива может привести к преждевременному износу двигателя, а иногда и к разрушению деталей его цилиндропоршневой группы.

Пропускную способность мембранных предохранительных устройств в случае статического повышения давления рассчитывают по формуле

$$G = AFp\sqrt{M/T}, \quad (31)$$

где M – молярная масса газов, проходящих через устройство, (кг/кмоль); A – коэффициент; p – давление, МПа.

Для защиты газовых баллонов применяют предохранительные мембраны. Термический предохранитель установлен на запорном клапане. Он предотвращает разрушение газового баллона вследствие чрезмерного повышения давления из-за воздействия высоких температур. Для обеспечения безопасности клапан сброса давления снабжён разрывной мембраной.

Газовый двигатель в полном жизненном цикле имеет ряд особенностей. Скорость сгорания газа, связанная с высоким ОЧ, требует увеличения угла опережения зажигания, что приводит к перегреву деталей двигателя. В эксплуатации наблюдаются случаи прогорания днища поршней и клапанов при слишком раннем зажигании и работе на бедных смесях.

Важным элементом термического предохранителя является небольшая

стеклянная капсула, содержащая жидкость и предотвращающая выход газа. При повышении температуры до 110 °С и выше жидкость в капсуле расширяется и разрушается. ПГ выходит в атмосферу через специальные отверстия.

Характерным дефектом редуктора высокого давления является разрыв диафрагмы и разрушение уплотнительной прокладки. Эти неисправности появляются при наработке 22,0 тыс. и 12,0 тыс. км соответственно. Наиболее опасными являются разрывы трубопроводов высокого давления, прорыв газа через диафрагму или клапан второй ступени редуктора низкого давления и негерметичность баллонных вентилях.

Характерной особенностью рабочего процесса, определяющего эксплуатационную надёжность двигателя в целом, является более мягкая его работа. Применение газового топлива уменьшает отложения как в самом двигателе, так и в системе топливоподачи. Наличие меньшего количества отложений способствует уменьшению износа трущихся деталей двигателя.

Моторное масло в меньшей степени подвержено загрязнению механическими примесями, не разбавляется бензином в случае применения КПП, что позволяет обоснованно увеличивать регламентируемые интервалы замены его и масляных фильтров.

Перевод двигателя на КПП уменьшает износ гильз цилиндров на 14 %, поршней на 17 %, поршневых колец на 63 %, шеек КВ двигателя на 57...70 %. Срок службы свечей зажигания увеличивается на 40 %, а масляных фильтров в 1,5-2 раза. Из-за отсутствия разжижения моторного масла парами бензина и его загрязнения периодичность смены моторного масла возрастает в 1,5-2 раза, что на 18...20 % уменьшает его эксплуатационный расход.

При работе ДВС на КПП не происходит смывание масляной плёнки со стенок цилиндров. На головке блока цилиндров не образуются отложения углерода. Поршневые кольца, из-за которых происходит изнашивание элементов ДВС, не закоксовываются. Наличие меньшего количества отложений способствует уменьшению износа трущихся деталей двигателя. Моторесурс двигателя, работающего на КПП в более благоприятных условиях, на 30...40 % выше по сравнению с бензином. Параметры системы зажигания отличаются стабильностью работы.

Надёжность газового редуктора оказывает заметное влияние на работу систем впрыскивания газа. Отказы редуктора низкого давления связаны с нарушением внутренней (первая ступень) и внешней (вторая ступень) герметичности. Степень опасности упомянутых отказов различна. Нарушение герметичности клапана первой ступени редуктора связано с повышением давления в ней после остановки двигателя. Его определяют по манометру низкого давления, находящемуся в кабине водителя.

Наиболее типичным отказом газового редуктора является нарушение величины давления в первой и второй его ступенях.

Величина давления газа в первой ступени может быть выражена зависимостью

$$p_1 = f(p_6, f_{к1}, a_{к1}, N_1, a_{м1}, c_{пр1}, h_{к1}, c_{м1}), \quad (32)$$

где p_6 – давление в баллоне; $f_{к1}$ – рабочая поверхность клапана, м²; $a_{к1}$ – коэффициент активности клапана, зависящий от его формы; N_1 – сила давления пружины, препятствующая закрытию клапана, Нм; $a_{м1}$ – коэффициент активности мембраны; $c_{пр1}$ – жёсткость пружины, Н/м; $h_{к1}$ – ход клапана, м; $c_{м1}$ – жёсткость мембраны, Н/м.

При этом значения параметров $f_{к1}$, N_1 , $h_{к1}$ и $c_{м1}$ существенно влияют на величину давления газа в первой ступени газового редуктора, а параметры $c_{пр1}$, $a_{к1}$, $a_{м1}$ и $c_{м1}$ оказывают незначительное влияние на эту величину. Точность (Δ ,%) определения коэффициентов влияния составляет 12 %.

Величина давления газа во второй ступени может быть выражена зависимостью

$$p_2 = f(p_1, f_{к2}, a_{к2}, N_1, a_{м2}, c_{пр2}, h_{к2}, c_{м2}), \quad (33)$$

где p_1 – давление в первой ступени; $f_{к2}$ – рабочая поверхность клапана, m^2 ; $a_{к2}$ – коэффициент активности клапана, зависящий от его формы; N_2 – сила давления пружины, препятствующая закрытию клапана, Нм; $a_{м2}$ – коэффициент активности мембраны; $c_{пр2}$ – жёсткость пружины, Н/м; $h_{к2}$ – ход клапана, м; $c_{м2}$ – жёсткость мембраны, Н/м.

Параметры p_1 , $f_{к2}$, N_2 и $h_{к2}$ заметно влияют на величину давления газа в первой ступени газового редуктора. Анализ изменения относительной величины коэффициента влияния (S , %) на величину давления во второй ступени показывает, что параметры $c_{пр2}$, $a_{к2}$, $a_{м2}$ и $c_{м2}$ оказывают незначительное влияние на величину давления газа в первой ступени. Точность (Δ ,%) определения коэффициентов влияния составляет 12 %.

В эксплуатации (по международной классификации) находятся четыре типа баллонов: КПГ-1 (металлический баллон); КПГ-2 (металлический баллон с корпусом, усиленный просмоленной жгутовой нитью (намотка в виде обручей); КПГ-3 (металлический баллон с корпусом, усиленным просмоленной жгутовой нитью со сплошной намоткой); КПГ-4 (баллон с просмоленной жгутовой нитью и неметаллическим корпусом полностью из композиционного материала).

Высокое давление хранения предъявляет к баллонам повышенные требования прочности, равной 2,4. Для снижения массы баллона и повышения прочности стенок применяют легированные металлы или алюминий, армированный стеклопаке- том. Современные ГБА оснащают металлокомпозитными баллонами. Армированные пластмассовые сосуды в 3-4 раза легче стальных. Газовые баллоны имеют многократ- ный запас прочности и устанавливаются в наименее уязвимых местах в автомоби- ле.

Масса 50-литрового стального баллона под давлением 20 МПа в зависимости от марки стали находится в пределах 50...93 кг. Металлопластиковые баллоны

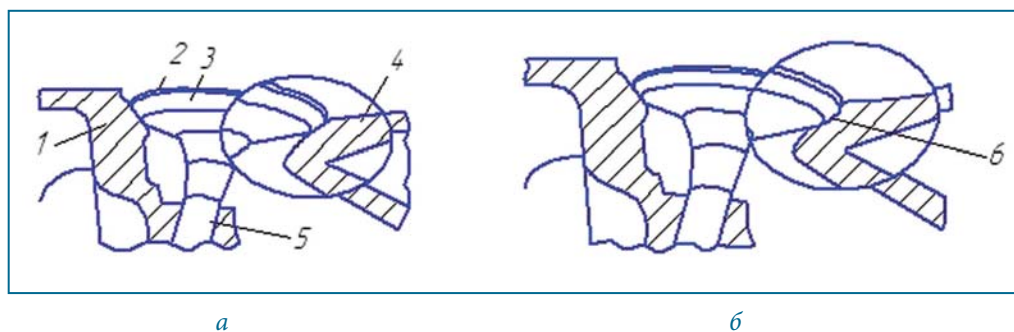


Рис. 8. Положение клапанов газораспределительного механизма газового двигателя: *а* – нормальное положение клапана; *б* – положение клапана после проседания; 1, 4 – гнездо; 2 – фаска клапана; 3 – тарелка клапана; 5 – стержень; 6 – деформированная поверхность

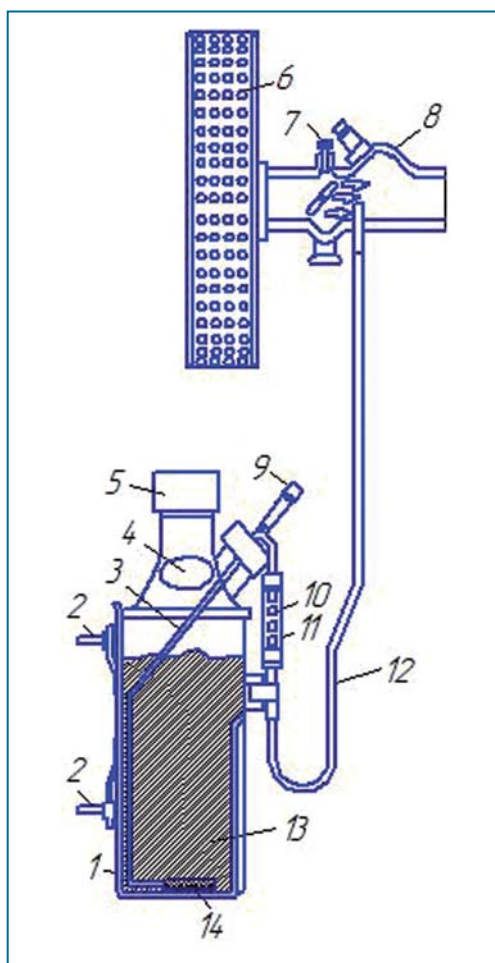


Рис. 9. Схема подачи специальной жидкости во впускной трубопровод инжекторного двигателя комплектом FlashLube:

1 – кронштейн для крепления; 2 – фиксирующие саморезы; 3 – заправочный трубопровод; 4 – паспорт; 5 – крышка дозатора; 6 – фильтр; 7, 9 – регулировочный винт; 8 – впускной трубопровод; 10 – дозатор газа; 11 – прозрачное стекло; 12 – соединительный шланг; 13 – жидкость; 14 – фильтр тонкой очистки

впускные клапаны. Газ подаётся в испаренном состоянии, то есть при более высокой температуре. Сгорание при более высокой температуре вызывает дополнительный перегрев клапанов и сёдел. Значительная доля теплоты отводится от клапанов при контактировании тарелок с сёдлами.

В составе технических газов в отличие от автомобильных содержится большое количество примесей (например, сера), не нормировано содержание непредельных углеводородов, а также маслянистых включений, называемых конденсатом. Также на резинотехнических изделиях газовой аппаратуры концентрируются примеси, которые адсорбируют одоранты, значительно повышая их местную концентрацию, что отрицательно сказывается на надёжности работы газовой аппаратуры.

легче в 1,5-2 раза, а углепластиковые – в 2-4 раза. Более высокая трудоёмкость и стоимость их изготовления сдерживает широкое их распространение.

Углеводородный состав бензина содержит маслянистые углеводородные примеси. Для улучшения качества в него вводили присадки – антиоксиданты, ингибиторы коррозии, моющие вещества, добавки для повышения октанового числа, а также красители. При работе на бензине поверхности соприкосновения клапана с седлом покрываются тонкой плёнкой, которая снижает его износ.

При работе двигателя на газе создаются условия образования на соприкасающихся поверхностях (клапан и седло) оплавленных микроучастков и окисления продуктов износа. По данным ОАО КАМАЗ, наблюдается повышенный износ поверхностей с нарушением теплообмена, выраженный проседанием клапана (рис. 8, а и б).

Наиболее слабыми элементами газовых ДВС являются сопряжения клапанов газораспределительного механизма. При отсутствии сигнала датчика фазы система управления переходит в режим нефазированного впрыска топлива и попарного искрообразования. При этом ухудшаются мощностные показатели двигателя, увеличивается расход топлива и выброс ВВ.

В эксплуатационных условиях происходило прогорание клапанов. Бензин в отличие от газа впрыскивается во впускной коллектор в распыленном жидком состоянии и охлаждает

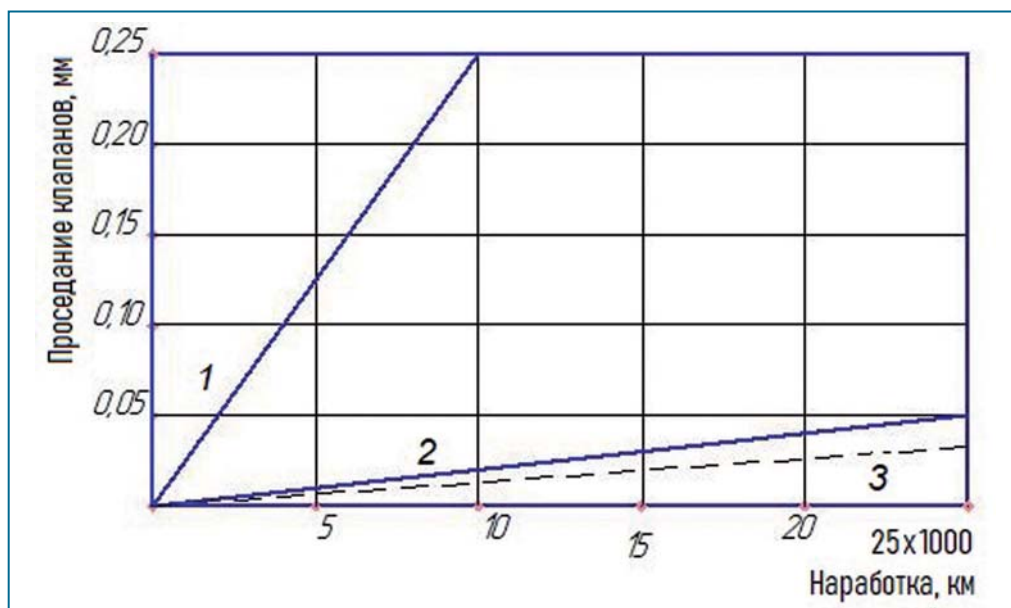


Рис. 10. Результаты исследования износа впускных и выпускных клапанов при работе на газе:
 1 – выпускной клапан без жидкости; 2 – выпускной клапан с жидкостью;
 3 – впускной клапан без жидкости

Для компенсации влияния газа на износ клапанов на двигателях можно установить газовую систему, совместив её с устройствами, дозирующими специальные топливные добавки для улучшения теплообмена клапана с седлом.

Материалы клапанов и сёдел, их размеры и устройство головки блока цилиндров являются основными факторами, влияющими на износ клапанов при работе на газе. При наработке ГБА свыше 100 000 км начинают изнашиваться седла клапанов.

Для компенсации влияния качества газа на износ клапанов двигателя устанавливают газовую систему, совмещённую с устройствами дозирования специальной топливной добавки. Примером такой добавки является жидкость под названием FlashLube [20]. Присадка FlashLube улучшает теплообмен между клапаном и седлом головки блока цилиндров, она предохраняет клапаны от прогорания и увеличивает их срок службы. Комплект FlashLube содержит ёмкость с жидкостью и дозирующее устройство. Ёмкость устанавливают под капот автомобиля, и жидкость подается специальным дозирующим устройством (лубрикатор) во впускной трубопровод после дроссельной заслонки.

Схема подачи специальной жидкости во впускной трубопровод инжекторного двигателя комплектом FlashLube приведена на рис. 9.

Результаты, представленные на рис. 9, демонстрируют преимущества использования FlashLube.

Эффективность использования лубрикатора FlashLube была проверена экспериментальными исследованиями. На двигателе размещают приспособление для ввода жидкости во впускной трубопровод вблизи второго и третьего цилиндров.

Заметная доля теплоты отводится от клапанов при контактировании элементов сопряжения тарелок с сёдлами.

Результаты, представленные на рис. 10, демонстрируют преимущества использования FlashLube [21].

Экологическая и энергетическая безопасность страны остается приоритетной проблемой национальной экономики. Применение ПГ в качестве моторного топлива обеспечивает решение энергетических проблем автомобильного транспорта как на ближайшую перспективу, так и на отдалённое будущее.

Суммируя все вышесказанное, можно утверждать, что наиболее эффективным методом снижения выбросов NO_x газовых двигателей является система РЦ ОГ и уменьшения угла опережения зажигания. Создание однопаливных систем позволит реализовать потенциальные свойства газового топлива, поскольку экологические и энергетические параметры однопаливных газовых систем превосходят технический уровень базовых двигателей.

Применение КПГ в целом характеризуется достаточной безопасностью эксплуатации ГБА и его экономической эффективностью.

Использованные источники

1. Ерохов В.И. Газобаллонные автомобили (конструкция, расчёт, диагностика). Учеб. вузов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2016. – 598 с.
2. Ерохов В.И. Современные однопаливные автомобили на сжатом природном газе // Транспорт на альтернативном топливе. – 2019. – № 3 (69), ч. 1. – С.66-77.
3. Ерохов В.И. Современные однопаливные автомобили на сжатом природном газе // Транспорт на альтернативном топливе. – 2019. – № 4 (70), ч. 2. – С.46-56.
4. Ерохов В.И. Токсичность современных автомобилей. Методы и средства снижения вредных выбросов в атмосферу. Учеб. – М.: ФОРУМ, 2016. – 458 с.
5. Малюга А.Г., Хафизов Р.Х. ОАО «КАМАЗ»: решение проблем экологии больших городов России // Транспорт на альтернативном топливе. – 2010. – № 6 (18). – С. 19-21.
6. Ерохов В.И. Системы рециркуляции отработавших газов современных двигателей // Транспорт на альтернативном топливе. – 2013. – № 4 (34). – С. 36-42.
7. Ерохов В.И. Экологическая эффективность газобаллонного автомобиля на сжатом природном газе // Транспорт на альтернативном топливе. – 2017. – № 2 (56). – С. 21-32.
8. Ерохов В.И. Безопасность и эффективность эксплуатации газобаллонного автомобиля на сжатом природном газе // Транспорт на альтернативном топливе. – 2017. – № 5 (59). – С. 5-20.
9. Ерохов В.И. Проектирование и расчёт расходомера воздуха электронных систем впрыскивания топлива // Транспорт на альтернативном топливе. – 2011. – № 6 (24). – С. 20-27.
10. Needham J.R., Doyle D.M., Nicol A.J. The Low NO_x Truck Engine // SAE Technical Paper Series. – 1991. – № 910731. – 10 p.
11. Программный комплекс ДИЗЕЛЬ-ПК. Кафедра «Поршневые двигатели» им. Н.Э. Баумана. – 2016-2019.
12. Автомобили КАМАЗ 65115, 65116 с газовым двигателем.65115-39020001 РТ.
13. Малов Р.В., Ерохов В.И. и др. Автомобильный транспорт и защита окружающей среды. – М.: Транспорт, 1982. – 200 с.
14. Mattes P., Remmeils W., Sudmanns H. Untersuchungen zur Abgasruckfuhrung am Hochleistungsdieselmotor // MTZ. – 1999. – Jg.60. – № 4. – S. 234-243.
15. Zelenka P., Aufinger H., Reczek W., Cartellieri W. Colled EGR – A key technology for future efficient HD diesels // SAE Technical Paper Series. – 1998. – № 980190. – 13 p.
16. Alkidas A.C. Relationship between smoke measurements and particulate measurements // SAE Technical Paper Series. – 1984. – № 840412. – 9 p.
17. Ерохов В.И., Одинокова И.В. Совершенствование экологических параметров газодизельных автомобилей // Транспорт на альтернативном топливе. – 2016. – № 2 (50). – С. 57-66.
18. Григорьев Е.Г., Колубаев Б.Д., Ерохов В.И. Газобаллонные автомобили. – М.: Машиностроение. – 216 с.
19. Ерохов В.И., Карунин А.Л. Газодизельные автомобили (конструкция, расчёт, эксплуатация). – М.: Граф-Пресс, 2005. – 558 с.
20. Flash lube. Valve Saver Fluid. Электронный ресурс. 2010 г. – 40 с.

Abstracts of articles

P. 38

A comparative analysis of nitrogen oxides formation in the combustion chambers of traditional and hydrogen engines
Revaz Z. Kavtaradze, Andrey Golosov, Yichun Wang, Cheng Rongrong, Zhang Citian

The results of 3D- modeling of the traditional and hydrogen-converted diesels working processes are presented. A comparative analysis of the processes of heat release and nitrogen oxides formation was carried out under the condition of energy equivalence of diesel fuel and hydrogen injected per cycle. The rate of heat release during the combustion of hydrogen was controlled by changing the duration of its supply to the cylinder. As a result, the difference between the concentrations of nitrogen oxides formed in hydrogen and conventional diesel decreased to 10%.

Keywords: workflow, traditional diesel, hydrogen diesel, 3D- modeling, combustion process, nitrogen oxides.

References

1. Kavtaradze R.Z. Thermophysical processes in diesel engines converted to natural gas and hydrogen. – M.: Publishing House of Bauman Moscow State Technical University, 2011. – 238 p.
2. Kavtaradze Z.R., Kavtaradze R.Z. Prospects for the use of piston engines on alternative motor fuels // Transport on Alternative Fuel. – 2010. – No. 1 (13). – S. 74-80.
3. Kavtaradze R., Natriashvili T., Gladyshev S. Hydrogen-Diesel Engine: Problems and Prospects of Improving the Working Process // SAE Technical Paper 2019-01-0541. – 2019. – 15 p.
4. 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.
5. Kavtaradze R.Z. Theory of piston engines. Special chapters. 2nd edition. – M.: Publishing House of Bauman Moscow State Technical University, 2016. – 589 p.
6. Kavtaradze Z.R., Kavtaradze R.Z. Analysis of the mechanisms of formation and methods for calculating the concentration of nitrogen oxides in piston engines (part 1) // Transport on Alternative Fuel. – 2011. – No. 5 (23). – S. 65-71.
7. Kavtaradze Z.R., Kavtaradze R.Z. Analysis of the mechanisms of formation and methods for calculating the concentration of nitrogen oxides in piston engines (part 2) // Transport on Alternative Fuel. – 2011. – No. 6 (24). – S. 12-19.
8. Kavtaradze R.Z., Onishchenko D.O., Zelentsov A.A. Three-dimensional modeling of unsteady thermophysical processes in piston engines. – M.: Publishing House of Bauman Moscow State Technical University, 2012. – 88 p.
9. Kavtaradze R.Z. Local heat transfer in piston engines – the development of a scientific direction at Bauman Moscow State Technical University // Engine building. – 2018. – No. 1 (271). – S. 13-15.
10. Kavtaradze R.Z. Local heat transfer in piston engines. 3rd edition. – M.: Publishing House of Bauman Moscow State Technical University, 2016. – 515 p.
11. FIRE. Users Manual Version 2017 / AVL List GmbH. Graz (Austria), 2018. (License Agreement for Use of the Simulation Software AVL FIRE and AVL BOOST between Moscow State Technical Univ.n.a. N.E. Bauman and AVL List GmbH, 2014).
12. 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.
13. 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.
14. Merker G., Teichmann R. (Hrsg). Grundlagen Verbrennungsmotoren. Funktionsweise. Simulation Messtechnik. 7. Auflage. Stuttgart, Leipzig, Wiesbaden: Springer Vieweg-Verlag, 2014. – 1132 S.
15. Kavtaradze R.Z., Natriashvili T.M., Glonti M.G., Ichun Van, Sakhvadze G.Zh. Modeling of local heat transfer in a combustion chamber of a hydrogen diesel // Vestnik mashinostroeniya. – 2019. – No. 7. – S. 31-36.
16. Kavtaradze R.Z., Onishchenko D.O., Zelentsov A.A., Sergeev S.S. The influence of rotational charge motion intensity on nitric oxide formation in gas-engine cylinder // International Journal of Heat and Mass Transfer 52 (2009) 4308–4316.
17. Kavtaradze R.Z., Natriashvili T.M., Glonti M.G., Bakhramov E.V. Partially homogeneous combustion of traditional and alternative fuels in diesel engines. Part 1. Methods of homogenization of combustion // Transport on Alternative Fuel. – 2018. – No. 1 (61). – S. 37-52.
18. Kavtaradze R.Z., Natriashvili T.M., Glonti M.G., Bakhramov E.V. Partially homogeneous combustion of traditional and alternative fuels in diesel engines. Part 2. Fuel injection strategy // Transport on Alternative Fuel. – 2018. – No. 2 (62). – S. 9-24.
19. Kavtaradze R.Z., Bakhramov E.V. The effect of 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 // Bulletin of Bauman Moscow State Technical University. – "Engineering". – 2018. – No. 2 [119]. – S. 44-61.
20. Leontiev A.I., Kavtaradze R.Z., Shibanov A.V., Zelentsov A.A., Sergeev S.S. The influence of the shape of the chamber on non-stationary processes of transfer and turbulent combustion in a diesel engine converted to a gas engine // Izvestiya RAS. "Energy". – 2009. – No. 2. – S. 49-63.
21. Semenov N.N. The thermal theory of combustion and explosions P. 434–477 / in the book: Semenov N.N. Selected works: in 4 volumes, vol. 2. Combustion and explosion. – M.: Nauka, 2005. – 704 p.
22. Kavtaradze R.Z., Zelentsov A.A., Krasnov V.M. Local heat transfer in a combustion chamber of a diesel engine converted to natural gas and hydrogen // RAS. Thermophysics of high temperatures. – 2018. – T. 56. – No. 6. – S. 986-996.

P. 47

Control Method of Internal Combustion Engine on Gas Fuel

Vladimir Shishkov

The purpose of the work is to reduce the cost of carrying out calibration and finishing work of the control system of an internal combustion engine, as well as improving the accuracy of dosing gaseous fuels in both stationary and dynamic modes to reduce emissions of toxic components in exhaust gases during vehicle operation. The method for improving the accuracy of dosing gas through electromagnetic gas injectors into an internal combustion engine has been improved. The program of the microprocessor control unit optimized the task of the flow characteristics of electromagnetic gas injectors, and also proposed to correct and diagnose the state of electromagnetic gas injectors during operation and repair of the vehicle.

Keywords: internal combustion engine, electromagnetic gas nozzle, gas fuel injection, flow characteristic, control algorithm.

References

1. SAE J1832.
2. Shishkov V.A. Methods of controlling the working cycle of dual-fuel and single-fuel reciprocating gas engines of internal combustion with spark ignition // Thesis for the degree of doctor of technical sciences, specialty 05.04.02 – “Heat engines”. – Samara, SSAU them. S.P. Koroleva, 2013. – 395p.
3. The method of controlling an internal combustion engine: a patent for an invention №2671076: МКИ6 F02 D 41/30, F02 D 41/24 / Shishkov V.A.; the applicant Shishkov V.A. – № 2017140155/06(069778); declare 11/17/2017, publ. 29/10/2018. Bul.№ 31. – 13p. (In Russ.)

P. 54

Ecological and fuel and energy indicators of single-fuel gas-filled cars when working on CNG

Victor Erokhov

Ecological and fuel and energy indicators of single-fuel gas-filled cars during CNG operation are given. The regularities of changes in the environmental, power, economic and dynamic parameters of new generation gas engines are established, their operational characteristics are generalized. The environmental and fuel-energy indicators of single-fuel gas-filled cars are analyzed.

Keywords: compressed natural gas, gas engine, environmental performance of a gas engine, ignition system, heating of a combustible mixture, fuel consumption, compression ratio, toxicity standards, smoke, combustion products.

References

1. Erokhov V.I. Gas-filled cars (design, calculation, diagnostics). Textbook universities. – M.: Hot line – Telecom, 2016. – 598 p.
2. Erokhov V.I. Modern single-fuel cars on compressed natural gas // Transport on Alternative Fuel. – 2019.– No. 3 (69), part 1. – P. 66-77.
3. Erokhov V.I. Modern single-fuel cars on compressed natural gas // Transport on Alternative Fuel. – 2019.– No. 4 (70), part 2. – P. 46-56.
4. Erokhov V.I. The toxicity of modern cars. Methods and means of reducing harmful emissions into the atmosphere. Textbook – M.: FORUM, 2016. – 458 p.
5. Malyuga A.G., Khafizov R.Kh. KAMAZ OJSC: Solving Ecological Problems in Big Cities of Russia // Transport on Alternative Fuel. – 2010. – No. 6 (18). – P. 19-21.
6. Erokhov V.I. Exhaust Gas Recirculation Systems of Modern Engines // Alternative Fuel Transport. – 2013. – No. 4 (34). – S. 36-42.
7. Erokhov V.I. Ecological efficiency of a compressed natural gas vehicle // Transport on Alternative Fuel. – 2017. – No. 2 (56). – P. 21-32.
8. Erokhov V.I. Safety and operational efficiency of a gas-filled car using compressed natural gas // Transport on Alternative Fuel. – 2017. – No. 5 (59). – P. 5-20.
9. Erokhov V.I. Design and calculation of an air flow meter of electronic fuel injection systems // Transport on Alternative Fuel. – 2011. – No. 6 (24). – P. 20-27.
10. Needham J.R., Doyle D.M., Nicol A.J. The Low NOx Truck Engine // SAE Technical Paper Series. – 1991. – No. 910731. – 10 p.
11. The software package DIESEL-RK. Department of Piston Engines, Bauman Moscow State Technical University. – 2016-2019.
12. Cars KAMAZ 65115, 65116 with a gas engine. 65115-39020001 RT.
13. Malov R.V., Erokhov V.I. and others. Automobile transport and environmental protection. – M.: Transport, 1982. – 200 p.
14. Mattes P, Remmeils W, Sudmanns H. Untersuchungen zur Abgasruckfuhrung am Hochleistungsdieselmotor // MTZ. – 1999. – Jg.60. – No. 4. – P. 234-243.
15. Zelenka P, Aufinger H, Reczek W, Cartellieri W. Colled EGR – A key technology for future efficient HD diesels // SAE Technical Paper Series. – 1998. – No. 980190. – 13 p.
16. Alkidas A.C. Relationship between smoke measurements and particulate measurements // SAE Technical Paper Series. – 1984. – No. 840412. – 9 p.
17. Erokhov V.I., Odinkova I.V. Improving the environmental parameters of gas-diesel cars // Transport on Alternative Fuel. – 2016. – No. 2 (50). – P. 57-66.
18. Grigoriev E.G., Kolubaev B.D., Erokhov V.I. Gas balloon cars. – M.: Mechanical Engineering. – 216 p.
19. Erokhov V.I., Karunin A.L. Gas-diesel cars (design, calculation, operation). – M.: Graf-Press, 2005. – 558 p.
20. Flash lube. Valve Saver Fluid. Electronic resource. 2010 – 40 p.

Авторы статей в журнале № 6 (72) 2019 г.

Голосов Андрей Сергеевич,
к.т.н., заведующий сектором,
ФГУП «НАМИ», Россия, Москва,
e-mail: golosow@mail.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, м.т. 8 916-150-17-87,
e-mail: PDO@mami.ru

Ичунь Ван (Китай),
д.т.н., заведующий лабораторией,
колледж машиностроения,
Пекинский технологический университет,
Пекин, КНР,
e-mail: wych@bit.edu.cn

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

Шишков Владимир Александрович,
д.т.н., академик РАН,
начальник технического отдела
ООО «Палладио»,
e-mail: Vladimir-Shishkov@yandex.ru

Чжан Цытянь (Китай),
аспирант кафедры
«Поршневые двигатели»
МГТУ им. Н.Э. Баумана,
e-mail: citianzhang@yandex.com

Чэн Жунжун (Китай),
аспирант кафедры
«Поршневые двигатели»
МГТУ им. Н.Э. Баумана;
e-mail: 951859691@qq.com

Contributors to journal issue No 6 (72) 2019

Cheng Rongrong,
Graduate Student, Department of «Piston engines»
of Bauman Moscow State Technical University,
Russia,
e-mail: 951859691@qq.com

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

Golosov Andrey,
Dr., Ing., Head of sector, FSUE «НАМИ»,
Russia,
e-mail: golosow@mail.ru

Kavtaradze Revaz,
Dr., Ing., Professor, Department
of «Piston engines»
of Bauman Moscow State Technical University,
Russia, e-mail: kavtaradzerz@mail.ru

Shishkov Vladimir,
Doctor of Science (Technical), the academician
Academy of Natural History,
Chief of a technical department
ООО «Палладио», Togliatti, Russian Federation,
e-mail: Vladimir-Shishkov@yandex.ru

Yichun Wang,
PhD, head of laboratory, School of Mechanical
Engineering, Beijing Institute of Technology,
Beijing, China E-mail: wych@bit.edu.cn

Zhang Citian,
Graduate Student, Department
of «Piston engines» of Bauman Moscow State
Technical University, Russia,
e-mail: citianzhang@yandex.com