



ТРАНСПОРТ НА АЛЬТЕРНАТИВНОМ ТОПЛИВЕ

МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ
ЖУРНАЛ № 3 (33) 2013
ЖУРНАЛ ВКЛЮЧЕН В ПЕРЕЧЕНЬ ВАК

НАЦИОНАЛЬНАЯ ГАЗОМОТОРНАЯ АССОЦИАЦИЯ



АФФИЛИРОВАНА
С МЕЖДУНАРОДНЫМ ГАЗОВЫМ
СОЮЗОМ



При использовании СПГ на транспорте

на **25%** меньше

выбросов в атмосферу,
экономический эффект

более **50%**

LNG



WWW.GAZPROM-CNG.RU

Криогенные цистерны для перевозки сжиженного природного газа (СПГ).
Эксплуатируются на объектах автономной газификации СПГ в Ленинградской области.
Планируется использование СПГ на водном и автомобильном транспорте.

LNG – liquefied natural gas (англ.)

РЕКЛАМА

Городская сеть газоснабжения автотранспорта

Заправочные станции на возобновляемых источниках

Технология изготовления металлокомпозитных баллонов

Зарегистрирован в Федеральной службе по надзору
в сфере массовых коммуникаций, связи и охраны
культурного наследия.
Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-30114

Учредитель и издатель

НП «Национальная газомоторная
ассоциация» (НГА)

Периодичность

6 номеров в год

Главный редактор

П.Г. Цыбульский
генеральный директор ООО «Газпром ВНИИГАЗ», к.т.н.

Члены редакционной коллегии

Б.В. Будзуляк

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

В.И. Ерохов

профессор «МАМИ», д.т.н.

Н.Е. Игнатьева

заместитель главного редактора

Р.З. Кавтарадзе

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

Т.В. Климова

начальник службы по связям с общественностью
и СМИ ООО «Газпром ВНИИГАЗ»

С.И. Козлов

профессор, д.т.н.

В.А. Марков

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

А.В. Николаенко

ректор «МАМИ», профессор, д.э.н.

Ю.В. Панов

профессор МАДИ, к.т.н.

Н.Н. Патрахальцев

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

Е.Н. Пронин

исполнительный директор НГА

В.Л. Стативко

вице-президент НГА, к.т.н.

В.Н. Фатеев

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

Редактор

О.А. Ершова

Отдел подписки и распространения

В.А. ИONOBA

Компьютерная верстка

Ф.А. Игнащенко

Адрес редакции:

115304, Москва, ул. Луганская, д. 11, оф. 104.

Тел./факс: (495) 321-50-44, 321-62-81.

E-mail: transport.1@ngvrus.ru

www.ngvrus.ru

Отпечатано с готовых диапозитивов в ООО «Принт-Лидер»,

117186, Москва, ул. Нагорная, д. 15, корп. 8

Номер заказа

Сдано на верстку 25.04.2013 г.

Подписано в печать 25.05.2013 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.

На обложке:

реклама ОАО «Газпром газэнергосеть»

В НОМЕРЕ:

Совещание по вопросу расширения использования газа в качестве моторного топлива.....	3
Четырехлетняя программа ОАО «Газпром» по расширению перевода автотранспорта на газ.....	5
Программа финансирования перевода на газ автотранспорта в российских регионах	6
Н.М. Митьковский, Г.В. Шнитков, А.В. Сафонов Оценка экономической эффективности электронной системы управления подачей газового топлива Blue-Power Diesel	7
Я.С. Мкртычан Основные принципы построения городской сети газоснабжения автотранспорта	10
О.Г. Лосев, И.В. Марусева, А.С. Пушкарёв, С.А. Григорьев, А.С. Григорьев Заправочная станция на возобновляемых источниках энергии для водородного и электрического транспорта	15
С.П. Семенищев, В.П. Глухов, П.П. Мерзляков, О.В. Килина, В.К. Попов Изготовление металлокомпозитных баллонов (первый этап).....	19
Е.Н. Пронин Производство газовых машин в Китае.....	22
Развитие электротранспорта в России	24
Электромобили на Ставрополье.....	24
В.К. Сокоиков, П.И. Строков, А.А. Бекаев Электрогидродинамический двигатель	26
Р.З. Кавтарадзе, А.А. Зеленцов, В.М. Краснов, Е.В. Климова Сравнительный анализ процессов теплообмена в камерах сгорания традиционного и водородного дизелей.....	31
С.П. Горбачев, К.И. Кириенко Экспериментальная проверка технологий заправки криогенных бортовых топливных систем.....	37
А.А. Евстифеев Модель прогнозирования потребления газового моторного топлива в населенном пункте	43
С.А. Тихомиров Экспериментальное сравнение процессов сгорания бензиновых и газовых топлив в автомобильном двигателе.....	48
Татарстан станет пилотным регионом по развитию рынка газомоторного топлива в России	52
В Москве стартовал международный автопробег ДОСААФ	54
В.А. Марков, С.Н. Девянин, С.А. Нагорнов Работа транспортного дизеля на смесях дизельного топлива и метилового эфира подсолнечного масла.....	56
В.П. Коваленко, Е.А. Улюкина, А.С. Новик Экспресс-контроль качества биотоплив при эксплуатации мобильной техники	63
Перспективная синтетика	65
Газпром станет эксклюзивным поставщиком газомоторного топлива для Volkswagen Motosport	68
И.Ф. Гаттаров, А.М. Фролов Режимы нагружения двигателя городского автобуса, работающего на природном газе	70
И.М. Макуха ХМАО – Югра: перевод транспорта на газовое топливо.....	72
Abstracts of articles.....	76
Авторы статей в журнале № 3 (33) 2013 г.	78

'Alternative Fuel Transport' international science and technology journal, No. 3 (33) 2013

Registered with the Federal Service for Supervision in Mass Communications and Cultural Heritage Protection

Printed Matter Registration Certificate No. FS77-30114

Founder and Publisher

Non-Commercial Partnership National Gas-Vehicle Association (NGVRUS)

Published

6 issues a year

Editor-in-Chief

Tsybul'sky, P.G.

Director General of Gazprom VNIIGAZ, PhD

Editorial board members

Budzulyak, B.V.

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

Erokhov, V.I.

MAMI Professor, Doctor of Engineering

Ignat'eva, N.E.

Deputy Editor-in-Chief

Kavtaradze, R.Z.

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

Klimova, T.V.

acting Head of Public and Mass Media Relations Service of Gazprom VNIIGAZ

Kozlov, S.I.

Professor, Doctor of Engineering

Markov, V.A.

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

Nikolaenko, A.V.

Rector of the Moscow State Technical University (MAMI), Professor, Doctor of Science

Panov, Yu.V.

Professor of MADI (GTU), Candidate of Science

Patrakhaltsev, N.N.

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

Pronin, E.N.

Executive Director, NGVRUS

Stativko, V.L.

vice-president, NGVRUS, Candidate of Science

Fateev, V.N.

Deputy Director of RNC Kurchatovsky Institute, Doctor of Chemistry

Editor

Ershova, O.A.

Subscription and Distribution Department

Ionova, V.A.

Editorial office address:

304 - 11, Luganskaya str., 115304, Moscow

Tel/fax: (495) 321-50-44, 321-62-81

E-mail: transport.1@ngvrus.ru,

www.ngvrus.ru

Order number

Passed for press on 25.04.2013

Endorsed to be printed on 25.05.2013

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

Nikolay Mitkovsky, Gennady Shnitkov, Artyom Safonov

Estimation of Economic Efficiency of Electronic Control System of Gas Fuel Delivery «Blue-Pover Diesel»..... 7

Yakov Mkrtychian

The basic principles of the automobile gas filling stations network..... 10

Ostap Losev, Irina Maruseva, Artem Pushkarev, Sergey Grigor'ev, Alexander Grigor'ev

Fueling Station Based on Renewable Energy Sources for Hydrogen and Electric Vehicles..... 15

Sergey Semenishchev, Vadim Glukhov, Pavel Merzlyakov, Olga Kilina, Vladimir Popov

Manufacturing Metal-Composite Cylinders..... 19

Eugene Pronin

Chinese NGV Industry..... 22

Vjacheslav Sokovikov, Pavel Strokov, Andrey Bekaev

Electrohydrodynamic engine 26

Revaz Kavtaradze, Andrey Zelentsov, Vladimir Krasnov, Yevgeniya Klimova

Comparative Analysis of Heat Transfer in Traditional and Hydrogen Diesel Engines 31

Stanislav Gorbachev, Kristyna Kirienko

Experimental verification of the technology onboard cryogenic fuel filling system..... 37

Andrey Evstifeev

Volume forecast model of gas motor fuel consumption in settlement..... 43

Stanislav Tikhomirov

Experimental Comparison of Combustion Process of Petrol and Ipg Fuels in Automobile Engines..... 48

Vladimir Markov, Sergey Devyanin, Stanislav Nagornov

Operation of Vehicle Diesel Engine on Mixtures of Diesel Fuel and Sunflower Oil Methyl Ester..... 56

Vsevolod Kovalenko, Elena Ulyukina, Alexey Novik

Express quality control of biofuels at operation of mobile transport 63

Ilmir Gattarov, Aleksey Frolov

Loading modes of the bus engine running on natural gas 70

Abstracts of articles 76

Contributors to journal issue No. 3 (33) 2013 79



Совещание по вопросу расширения использования газа в качестве моторного топлива

Россия должна войти в число лидеров по использованию газомоторного топлива, объявил президент РФ Владимир Путин 14 мая 2013 г. на совещании о перспективах использования газомоторного топлива в Сочи. Что нужно сделать для популяризации голубого топлива, решали участники совещания, среди которых были министр энергетики Александр Новак, председатель совета директоров Газпрома Виктор Зубков, глава Роснефти Игорь Сечин и другие представители власти и бизнеса.

Накануне совещания премьер-министр Дмитрий Медведев подписал распоряжение, дав поручения по разработке мер господдержки производства и оборота транспортных средств и сельхозтехники на природном газе, создания заправочной и сервисной инфраструктуры, системы учета и техрегулирования. Цель – стимулировать использование этого вида топлива. Согласно распоряжению, до 2014 г. министерства должны представить в правительство комплекс мер, направленных на то, чтобы к 2020 г. использование газа в качестве моторного топлива на общественном и дорожно-коммунальном транспорте в городах с численностью населения более

1 млн чел. составило до 50 %, более 300 тыс. чел. – до 30 % и в «стотысячниках» – до 10 %.

Ниже мы приводим с небольшими сокращениями вступительное слово Владимира Путина на совещании.

Сегодня в нашей повестке дня вопрос, который касается эффективности использования энергоресурсов, удешевления транспортных перевозок, улучшения экологической ситуации, особенно в крупных городах нашей страны. Речь пойдет о расширении применения газа в качестве моторного топлива.

В современном мире такая задача крайне актуальна, и мы эту тему с вами уже обсуждали



На совещании по газомоторному топливу

неоднократно, в том числе в рамках предыдущего состава правительства, и это по наследству передано новому правительству. Тут есть и экономические, и экологические эффекты. Газ дешевле, чем традиционный бензин или дизтопливо, и, кроме того, его использование снижает уровень выбросов. По оценкам экспертов, только в России автомобили ежедневно выбрасывают огромное количество вредных веществ, а ежегодный объем получается 14 миллионов тонн вредных веществ в атмосфере. 14 миллионов тонн! При переходе на газомоторное топливо такая нагрузка снижается сразу в 2-3 раза.

Газ в качестве моторного топлива используется уже более чем в 80 странах мира. И надо отметить, что с каждым годом мировой парк автомобилей на газе неуклонно растет. Россия, несмотря на наши запасы (а они у нас большие, я сейчас об этом еще скажу, это 20 % всех мировых запасов природного газа), занимает, к сожалению, только 20-е место по использованию автомобилей на газовом топливе. Безусловно, у нас есть все возможности – и ресурсные, и технологические – для того, чтобы занять здесь лидирующие позиции.

Достаточно сказать, что на российской территории сосредоточено, как я уже сказал, 20 % природного газа, и это само по себе является хорошим заделом и нашим очевидным конкурентным преимуществом в этой сфере. У нас уже сформирована сеть газовых заправок, постепенно увеличивается парк техники на газе. Заинтересованность в использовании газомоторного топлива проявляют «Российские железные дороги». Многие регионы готовы переводить на газ муниципальный автотранспорт, на флоте газ может быть использован. Но для того, чтобы газомоторное топливо стало по-настоящему массовым, чтобы транспорт, который на нем работает, был экономически привлекательным, предстоит решить целый комплекс вопросов.

Во-первых, следует ускорить подготовку полноценной нормативно-

правовой базы, регламентирующей производство, хранение, транспортировку и использование газомоторного топлива, в том числе разработать современные технические требования в этой сфере.

Во-вторых, необходимо повышать интерес покупателей к газобаллонным автомобилям, активнее разъяснять их технические и экономические преимущества и, наконец, через систему различных льгот и преференций мотивировать к приобретению такого транспорта и граждан, и государственные структуры.

Кстати говоря, во многих странах мира, где применяется газомоторное топливо, такая система мер поддержки и льготирования разработана и применяется. При этом важно, чтобы отечественный автопром мог ответить на запрос времени и был готов предложить современную передовую технику на газовом топливе. Соответствующие разработки у нашей автомобильной промышленности есть.

В-третьих, надо создавать условия для расширения газозаправочной инфраструктуры и организации специальных пунктов технического обслуживания, чтобы у владельцев автомобилей на газовом топливе не возникало сложностей с заправкой и ремонтом. Поэтому компаниям, которые работают на этом рынке, нужно оказывать всемерную поддержку, снимать существующие административные барьеры, что, кстати говоря, я уже об этом упомянул, делается во всем мире.

Вчера принято распоряжение Правительства по этому вопросу, утвержден комплекс мер по стимулированию использования газа в качестве моторного топлива. Что в этой связи хотел бы сказать. Упомянул уже о том, что еще прежний состав Правительства начал разрабатывать эту тему, потом где-то полгода назад мы уже в этом составе обсуждали необходимость двигаться вперед. Вчера коллеги приняли распоряжение, в котором поручено разработать комплекс мер. Если мы еще полгода будем разрабатывать комплекс мер

и согласовывать (я знаю, как это делается, будем еще согласовывать всякие там параметры этой работы), то мы можем неоправданно затянуть эту работу. Прошу коллег внимательно отнестись к этому и ускорить прохождение всех согласований. Это первое.

Второе, на что хотел бы обратить внимание. Нужно проработать этот вопрос не только с поставщиками газомоторного топлива, но и с потребителями. Нужно внимательно посмотреть на проблемы, которые у них возникают в этой связи.

Ну и, наконец, третья и очень важная вещь – это вопросы безопасности. На это нужно обратить особое внимание. Следует понять, как будет налажен контроль за эксплуатацией транспортных средств на газомоторном топливе. Совсем недавно – мы это с вами знаем – в Москве произошла авария на рейсовом автобусе, который в качестве топлива использовал газ. Не с транспортом связано, но тем не менее с газовым оборудованием. По-моему, вчера опять было происшествие – уже в одном из кафе – при разгрузке газового баллона. Надо на это обратить самое-самое пристальное внимание, если мы будем расширять сеть использования, будем строить газозаправочные станции. Нужно если использовать, то самое современное оборудование.

Очевидно, что необходимы самые жесткие стандарты по обеспечению безопасности. В том числе это касается и требований регулярного и качественного технического обслуживания.

Обращаю внимание на то, что растет количество автомобилей с гибридными двигателями, а также электромобилей, которые становятся все более доступными по цене и удобными в эксплуатации благодаря постепенному сокращению времени зарядки. Рост рынка таких машин, конечно, нужно обязательно учитывать, иначе можно отстать от глобальных технологических и коммерческих тенденций.

**По материалам сайта
<http://президент.рф>**

Четырехлетняя программа ОАО «Газпром» по расширению перевода автотранспорта на газ

В марте совет директоров ОАО «Газпром» рассмотрел информацию о проводимой компанией работе по расширению использования природного газа в качестве моторного топлива на территории Российской Федерации. Данное направление бизнеса является профильным и прибыльным для компании и дает возможность создать на его основе крупный рынок сбыта своего природного газа. Расширение розничной сети сбыта компримированного природного газа (КПГ) позволит привлечь новых потребителей газомоторного топлива, в том числе в сельскохозяйственной отрасли, на речном и железнодорожном транспорте.

В 2013 г. объем средств на реализацию инвестиционных проектов строительства автомобильных газонаполнительных компрессорных станций (АГНКС), предусмотренных Программой газификации регионов РФ, составляет 1 млрд руб. В рамках Программы идет подготовка к началу строительства 21 АГНКС в различных регионах России, разрабатываются технико-экономические обоснования по 18 АГНКС. Еще в 23 регионах определяют места для размещения перспективных станций.

Основными критериями при выборе мест строительства будущих АГНКС являются, в частности, приемлемая норма доходности, наличие достаточных транспортных потоков, обеспечение регионами перевода автотранспорта на газомоторное топливо или приобретение такого автотранспорта в количестве не менее 50 ед. ежегодно в расчете на одну АГНКС.

Параллельно Газпром будет планомерно увеличивать долю

собственного транспорта (автомобильная, специальная, дорожно-строительная и грузоподъемная техника), работающего на природном газе. В текущем году будет разработана программа по расширенному переводу автотранспорта компаний Группы «Газпром» на газомоторное топливо на 2014-2017 гг.

Активизировано взаимодействие Газпрома с федеральными и региональными органами власти. Так, раздел по развитию рынка газомоторного топлива включен в Соглашения о сотрудничестве компании и российских регионов. С Калужской, Нижегородской, Орловской и Тамбовской областями подписаны Соглашения о расширении использования природного газа в качестве моторного топлива. В текущем году к ним могут присоединиться Москва, Санкт-Петербург и Республика Татарстан.

Особое внимание данной работе уделяется на востоке России. В 2012 г. впервые утверждены семилетние совместные

программы Газпрома и органов исполнительной власти Приморского, Хабаровского краев и Сахалинской обл. по переводу автотранспорта на газомоторное топливо. Кроме того, с 2013 г. программы газификации российских регионов содержат раздел, предусматривающий обязательства сторон по развитию региональных рынков газомоторного топлива.

ОАО «Газпром» принимает участие в совершенствовании нормативно-правовой базы, регламентирующей производство и использование газа в качестве моторного топлива. Соответствующие предложения были представлены заинтересованным ведомствам, включая Министерство энергетики. Значительную поддержку развитию отрасли может оказать федеральный закон, предусматривающий комплекс мер по стимулированию перевода автотранспорта на газ. В настоящее время по инициативе Газпрома вопрос создания такого

документа прорабатывается в Правительстве РФ.

Правлению поручено продолжить работу по укреплению позиций компании в сегменте использования природного газа в качестве моторного топлива на зарубежных рынках.

Системная работа по расширению использования природного газа в качестве газомоторного топлива за рубежом с участием ОАО «Газпром» началась в 2008 г.

Группа «Газпром» предпринимает шаги для обеспечения поддержки своим инициативам

в сфере использования газомоторного топлива со стороны властей европейских стран и регионов. Активно развивается сотрудничество по расширению использования газомоторного топлива с международными организациями, в частности, с Европейской экономической комиссией ООН, Международным газовым союзом, Европейским деловым конгрессом, Форумом стран-экспортеров газа, а также с региональными газомоторными ассоциациями.

Кроме того, Газпром содействует популяризации использования

природного газа на транспорте в Европе. Например, в 2011 и 2012 гг. Группа «Газпром» приняла активное участие в организации и проведении пробегов газовых автомобилей по Европе «Голубой коридор».

Также в 2012 г. Gazprom Germania GmbH провела успешную демонстрацию транспортно-заправочного комплекса в составе пассажирского автобуса на СПГ и мобильного криогенного заправщика в пяти городах Польши.

**Управление информации
ОАО «Газпром»**

Программа финансирования перевода на газ автотранспорта в российских регионах

В марте в Москве прошел Национальный нефтегазовый форум. В его работе принял участие председатель совета директоров ОАО «Газпром» Виктор Зубков, который отметил, что в настоящее время перед отечественной газовой отраслью стоят масштабные задачи, в числе которых освоение Арктического шельфа, развитие газовой промышленности в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке и укрепление сотрудничества со странами Азиатско-Тихоокеанского региона. Реализация новых проектов по добыче создаст благоприятные условия для увеличения поставок российского газа на зарубежные рынки, в том числе в виде СПГ.

Одним из наиболее перспективных направлений развития газовой отрасли России является расширение использования природного газа в качестве моторного топлива. В этой связи особое внимание было уделено реальным мерам поддержки развития рынка газомоторного топлива. Ускорить эту работу позволит привлечение необходимого финансирования.

«Сейчас Газпром делает мощную программу вместе с Газпромбанком и готов в регионах осуществлять перевод транспорта на газомоторное топливо», – отметил Виктор Зубков.

В то же время председатель совета директоров подчеркнул, что осуществление этой программы невозможно без государственной поддержки. По его словам, в США субсидируются

автомобили, которые работают на газомоторном топливе, в Канаде выделяются субсидии на переоснащение техники, различные меры поддержки существуют и в других странах. Со своей стороны Газпром готовит проект распоряжения Правительства РФ о поддержке использования газа в качестве моторного топлива.

**Управление информации
ОАО «Газпром»**

Оценка экономической эффективности электронной системы управления подачей газового топлива Blue-Power Diesel

Н.М. Митьковский, генеральный директор ООО «Автогазоборудование»,

Г.В. Шнитков, старший преподаватель ФГБОУ ВПО НГАУ,

А.В. Сафонов, старший преподаватель ФГБОУ ВПО НГАУ

Проведено исследование экономической эффективности трех режимов работы автотракторного дизельного двигателя: режим дизеля, режим газодизеля на пропан-бутановой технической смеси и режим газодизеля на метане с использованием электронной системы подачи газового топлива Blue-Power Diesel.

Ключевые слова: дизельный двигатель, режим дизеля, режим газодизеля, пропан-бутановая техническая смесь, метан, электронная система управления, экономическая эффективность.

Дизельные двигатели характеризуются экономичностью, экологичностью и высоким крутящим моментом, поэтому широко применяются на большегрузной технике. При этом они имеют большой рабочий объем и соответствующий ему расход топлива.

В последние годы стоимость дизельного топлива превышает стоимость самого широко используемого бензина Аи-92, что значительно увеличивает расходы владельцев данной техники. В сложившейся ситуации оптимизация эксплуатационных характеристик дизельных двигателей внутреннего сгорания (ДВС), а также снижение токсичности выхлопных газов являются актуальными как с экономической, так и с экологической точек зрения. Один из путей решения данных проблем – использование альтернативных топлив [1].

Снизить затраты на топливо и при этом не только не потерять, но даже увеличить мощность, а также уменьшить токсичность отработавших газов можно при эксплуатации дизельного двигателя в режиме газодизеля с установкой газобаллонного оборудования [2].

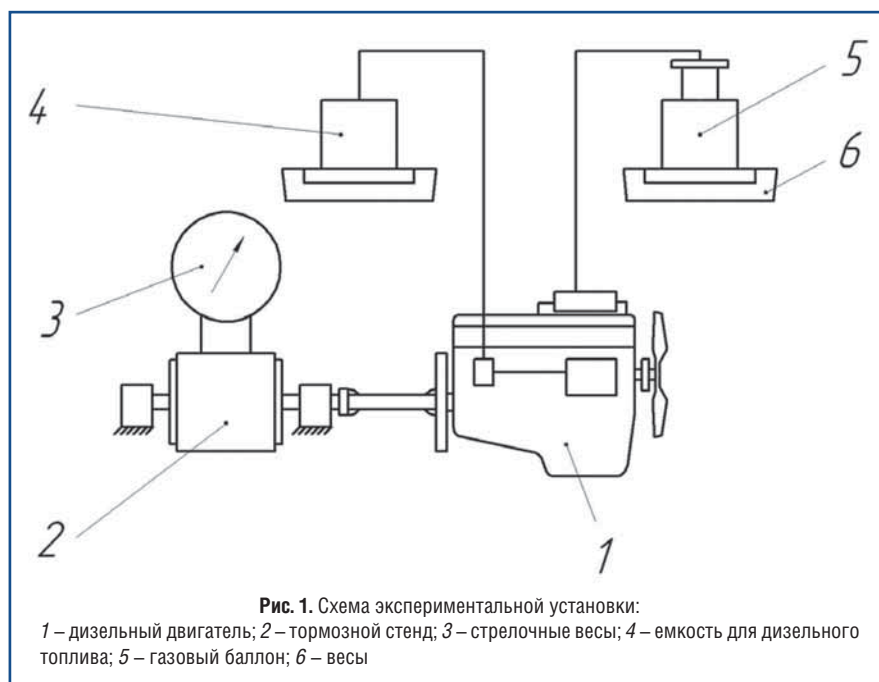
Одна из устанавливаемых на дизельный двигатель систем, отвечающая за подачу газового топлива,

– Blue-Power Diesel. Принцип ее работы основан на использовании современного контроллера, который управляет газовыми форсунками в соответствии с нагрузкой, скоростью вращения коленчатого вала, температурой выхлопных газов [3].

Для определения экономической целесообразности и демонстрации возможностей система подачи газового топлива Blue-Power Diesel была установлена специалистами ООО «Автогазоборудование» (г. Новосибирск)

на дефорсированный по цикловой подаче автотракторный дизельный двигатель Д-240, соединенный карданной передачей с электрическим генератором – тормозным стендом. Исследования проводились (рис. 1) в лаборатории испытания двигателей Новосибирского аграрного университета (ФГБОУ ВПО НГАУ).

Газовое топливо из баллонов поступало в газовый редуктор и подавалось через газовые форсунки во впускной коллектор. Управление



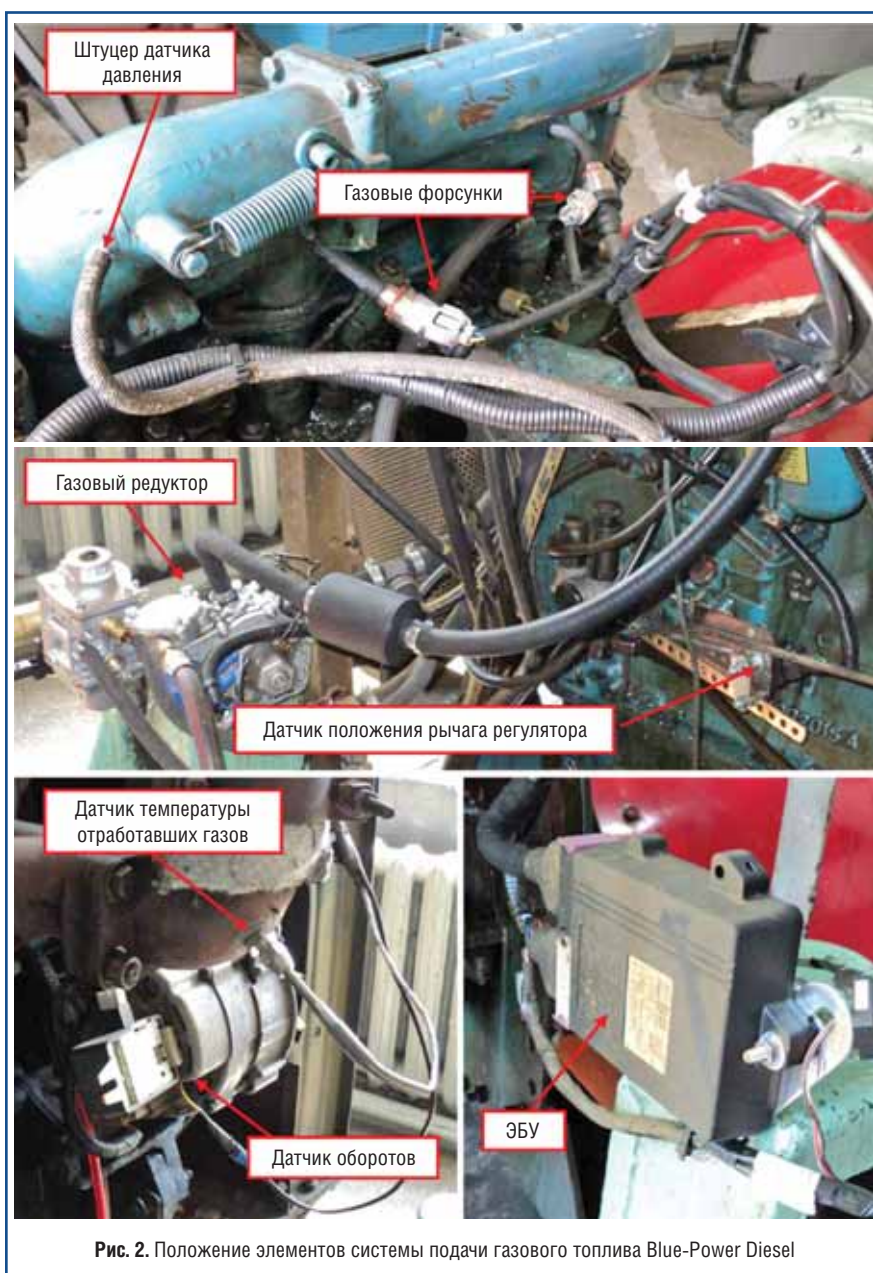


Рис. 2. Положение элементов системы подачи газового топлива Blue-Power Diesel

подачей газа осуществлялось при помощи электронного блока управления (ЭБУ), который обрабатывает сигналы датчиков положения рычага подачи топлива, давления во впускном коллекторе, оборотов двигателя, температуры редуктора и температуры отработавших газов в выпускном коллекторе (рис. 2).

В качестве газового топлива использовали пропан-бутановую техническую смесь или метан. Проводилось снятие регуляторной характеристики в режимах дизеля, газодизеля на пропане и газодизеля на метане в соответствии с методикой

[4] для определения экономической эффективности при разной нагрузке (рис. 3).

Анализ данных показал, что крутящий момент поддерживался одинаковым при работе на каждом виде топлива, так как это регуляторная характеристика, а часовой и удельный расходы дизельного топлива при одной и той же мощности уменьшились при работе в режиме газодизеля по сравнению с режимом дизеля.

Также было отмечено, что расход дизельного топлива при работе двигателя в режиме газодизеля на

метане меньше, чем при работе в режиме газодизеля на пропане.

При расчете экономической эффективности эксплуатации дизельного двигателя Д-240, дефорсированного по цикловой подаче, с учетом расхода газа и его стоимости на режимах 50 и 75 % номинальной мощности (основные режимы эксплуатации автотракторных дизелей) были получены следующие данные:

1. При работе данного двигателя по регуляторной характеристике (1550...1600 мин⁻¹) с нагрузкой 75 % номинальной мощности часовой расход дизельного топлива при работе с добавлением пропана уменьшился на 2,24 л/ч, с добавлением метана на 2,95 л/ч (см. рис. 3), что составляет 26,3 и 31,3 % соответственно (рис. 4). При нагрузке 50 % номинальной мощности часовой расход дизельного топлива уменьшился на 2,26 л/ч при работе с добавлением пропана и на 3,8 л/ч с добавлением метана (см. рис. 3), что составляет 30,8 и 41,8 % соответственно (см. рис. 4).

2. Экономия затрат на топливо при соответствующих ценах по сравнению с работой двигателя на чисто дизельном топливе при нагрузке 75 % номинальной мощности составила: с добавлением пропана 18,99 руб./ч, с добавлением метана 43,21 руб./ч; при нагрузке 50 % номинальной мощности: с добавлением пропана 14,62 руб./ч, с добавлением метана 48,19 руб./ч (рис. 5).

Стоимость топлива на момент проведения опытов в г. Новосибирске приведена ниже.

ДТ	СПБТ	Метан
26,8 руб./л	13,5 руб./л	9,1 руб./м ³

Проведенный анализ показывает, что экономия денежных средств при использовании метана в 2-4 раза больше (в зависимости от режима работы двигателя), чем при использовании пропан-бутановой технической смеси (СПБТ).

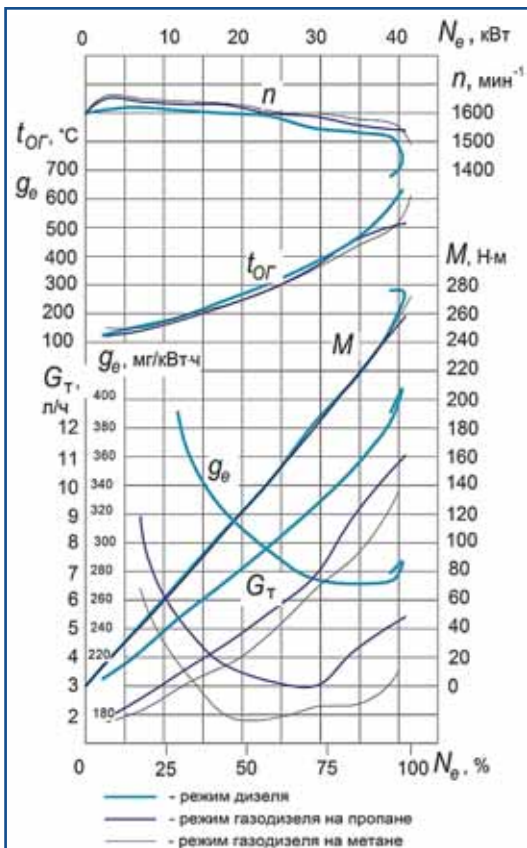


Рис. 3. Регуляторная характеристика двигателя Д-240, дефорсированного по цикловой подаче:
 N_e – эффективная мощность двигателя; M – крутящий момент двигателя; G_T – часовой расход дизельного топлива; g_e – удельный расход дизельного топлива

Испытываемый двигатель Д-240 с рабочим объемом 4,75 л и соответствующим ему расходом топлива 10,3 кг/ч имеет объем на порядок ниже по сравнению с преобладающими в России дизельными двигателями, например, КАМАЗ (объем 10,85 л), ЯМЗ (объем 11,15; 14,86; 22,3 л), а также с двигателями иностранного производства. Затраты на топливо будут снижаться пропорционально его расходу, другими словами чем больше рабочий объем двигателя и расход дизельного топлива, тем больше экономия.

Система Blue-Power Diesel позволят замещать до 30...70 % объема дизельного топлива и соответственно увеличивать мощность двигателя. Данная система устанавливается на любую систему топливоподачи, в том числе и на Common Rail. Программная карта подачи газового топлива

настраивается для каждого двигателя индивидуально в зависимости от его конструктивных особенностей, в частности, от степени сжатия. Двигатель начинает работать жестко при существенном увеличении объема замещения дизельного топлива газовым на данном режиме работы, заметно увеличивается температура отработавших газов в выпускном коллекторе, что отрицательно сказывается на двигателе.

При незначительном замещении дизельного топлива газ используется неполноценно, а, значит, уменьшается экономия. Поэтому при настройке программной карты, отвечающей за подачу газового топлива на различных режимах, устанавливается оптимальное дозирование газового топлива, которое определяется экспериментально.

ООО «Автогазоборудование» производит квалифицированную установку газобаллонного оборудования на любую технику, а также на дизель-генераторы. Экспериментальная эксплуатация автомобиля КАМАЗ–55111 в режиме газодизеля на пропане

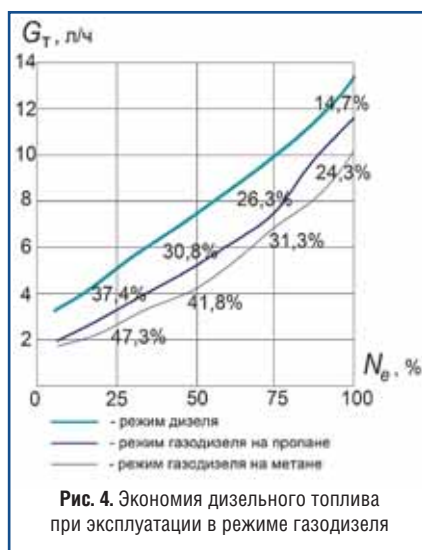


Рис. 4. Экономия дизельного топлива при эксплуатации в режиме газодизеля

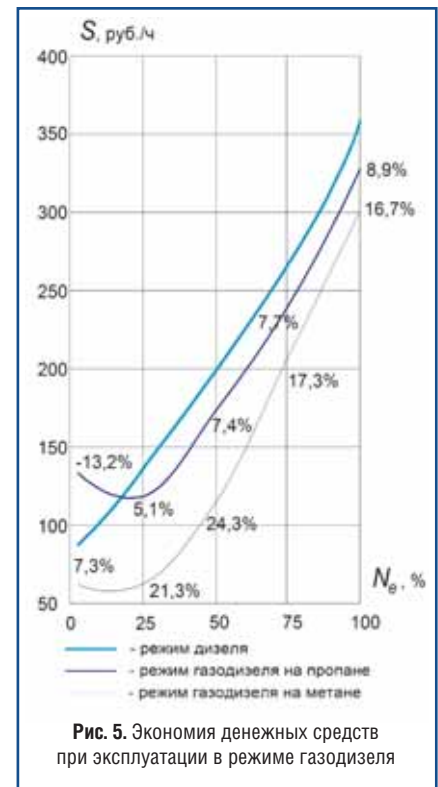


Рис. 5. Экономия денежных средств при эксплуатации в режиме газодизеля

показала заметное увеличение мощности и уменьшение расхода дизельного топлива до 50 %.

Проведенные исследования продемонстрировали, что применение системы Blue-Power Diesel позволило существенно увеличить технико-экономические показатели двигателя и снизить затраты на топливо до 25 %.

Литература

1. **Марков В.А., Гайворонский А.И., Грехов Л.В., Иващенко Н.А.** Работа дизелей на нетрадиционных топливах: Учеб. пособие. – М.: Легион-Автодата, 2008. – 464 с.
2. **Гайворонский А.И., Марков В.А., Илатовский Ю.В.** Использование природного газа и других альтернативных топлив в дизельных двигателях. – М.: ООО «ИРЦГазпром», 2007. – 480 с.
3. <http://gas-energy.ru/informatsiya/106-gazodizel-blue-power>
4. **Трубников Г.И.** Практикум по автотракторным двигателям. – М.: Коло, 1975. – 192 с.

Основные принципы построения городской сети газоснабжения автотранспорта

Я.С. Мкртычан, профессор, гл. научный сотрудник ООО «Газпром ВНИИГАЗ», д.т.н.

Приведены основные принципы построения системы газоснабжения автотранспорта в крупных городах. Особое внимание уделено вопросам создания густой сети небольших станций для заправки природным газом многочисленного городского транспорта: легковых автомобилей, мало- и среднетоннажных грузовиков и микроавтобусов.

Ключевые слова: компримированный природный газ (КПГ), сжиженный природный газ (СПГ), сжиженный углеводородный газ (СУГ), автомобильная газонаполнительная компрессорная станция (АГНКС), автомобильная газонаполнительная станция (АГНС), автомобильная газозаправочная станция (АГЗС).

Созданная в нашей стране за период с 1983 г. и по настоящее время сеть АГНКС по существу является внегородской, так как в основном состоит из мощных АГНКС-500 и АГНКС-250 (186 из 246 станций), и обеспечивает КПГ преимущественно крупнотоннажный грузовой транспорт и автобусы. В большинстве случаев эти АГНКС с учетом обеспечения безопасности, возможности выделения огромных земельных участков для их размещения и удаления от внешних зданий и сооружений, а также необходимости подключения к высоконапорным газораспределительным сетям сооружены на окраинах городов или в пригородных зонах, как правило, на значительном расстоянии от городских автотранспортных предприятий и мест базирования частных автомобилей. По этим и другим причинам мощные дорогостоящие станции оказались в основном незагруженными и нерентабельными, а потому недостаточно востребованными для заправки городского автотранспорта [1, 2]. В результате ни в одном городе страны не получилось создать плотную внутригородскую сеть АГНКС. Наряду с этим не удалось также достичь синхронизации и сбалансированности между производством газомоторных автомобилей и вводом в эксплуатацию газозаправочных мощностей.

Уже в первые годы газомоторизации стало ясно, что в крупных городах

страны с высокой плотностью населения и застройки создать густую сеть газоснабжения многочисленного городского транспорта из мощных станций невозможно. Их строительство было прекращено и начато создание более мелких станций небольшой производительности от 50 до 200 заправок легковых автомобилей, малотоннажных грузовиков и микроавтобусов в сутки. Этим путем изначально пошли в ряде стран мира. Например, в Новой Зеландии и Аргентине в крупных городах построены десятки и сотни мелких станций производительностью 25-50 заправок или до 1000 м³ газа в сутки. Такие станции размещены в самых многолюдных местах и даже на балконах магазинов и многоэтажных зданий. Особенностью этих станций стало их подключение к существующим городским низконапорным газовым сетям. Они обладают высокой надежностью, низким уровнем шумности и вибрационности, а также не требуют больших площадей для размещения. Вместе с тем столь мелкие станции при принятых в этих странах ценах на КПГ и нефтепродукты низкорентабельны. Однако пока только с помощью такого подхода удастся продвинуться в направлении создания внутригородской сети в крупных городах разных стран.

Построение городской сети автогазозаправочных и многотопливных заправочных станций, особенно в крупных городах, требует комплексного

решения многих взаимосвязанных задач, основными из которых являются:

- выбор земельного участка необходимого размера;
- соблюдение требований и норм безопасности;
- высокая надежность, допустимый уровень шумности и вибрационности;
- обеспечение станции системами топливо- и водоснабжения, канализации, электроэнергии и связи;
- минимизация капитальных вложений;
- минимизация эксплуатационных затрат в первую очередь за счет подключения станции к газопроводу более высокого давления (от 0,3 МПа и выше вместо 0,1...0,2 МПа) и снижения численности обслуживающего персонала;
- максимальное приближение станций к местам базирования автотранспорта для снижения холостых пробегов на заправку;
- согласование проекта станции, выделения земельных участков для прокладки маршрутов коммуникаций и систем безопасности.

Достижение оптимального результата при решении такой многофакторной задачи чрезвычайно сложно [3]. Создание эффективной городской сети автогазозаправочных станций возможно при реализации инновационных подходов с учетом перечисленных требований и особенностей

городского автотранспорта. К числу таких особенностей относятся:

- объемы топливных баков автомобиля;
- габариты транспортного средства;
- суточный пробег автомобиля;
- расход топлива на 100 км пробега;
- частота заправки топливом;
- запас хода автомобиля без дозаправки;
- вид топлива;
- время и порядок выхода автотранспорта в рейс по намеченным маршрутам.

От указанных особенностей автотранспорта зависят размер земельного участка газозаправочной станции, вид и объем хранимого газомоторного топлива, конструкция и основные параметры станции, степень обеспечения ее безопасности, капитальные вложения и эксплуатационные затраты.

С учетом перечисленных требований и особенностей городской автотранспорт можно условно подразделить на три группы:

1-я группа. Малогабаритные городские автомобили, в том числе легковые автомобили, малотоннажные (грузоподъемность 1,0...1,5 т) и среднетоннажные (грузоподъемность до 3 т) грузовики, микроавтобусы вместимостью до 15 чел. и автобусы средней пассажироместимости до 25 чел.

2-я группа. Спецавтотехника: коммунальная – мусороуборочные, поливочные, подметально-уборочные, вакуумные, ассенизационные машины; дорожная и ремонтная автотехника; строительная – автокраны, погрузчики, бетономешалки, самосвалы, цементовозы и др.

3-я группа. Городские маршрутные автобусы большой вместимости и пригородные экспресс-автобусы.

Для удовлетворения спроса на ГМТ каждой из перечисленных групп автомобилей потребуются принципиально разные по своим параметрам и месторасположению автогазозаправочные станции.

Для заправки основного малоразмерного и малолюдного городского автотранспорта (**1-я группа**) предлагается создать плотную сеть из малогабаритных блочно-контейнерных станций небольшой производительности до 500 м³/ч двух модификаций.

• 1-я модификация – малогабаритная АГНКС (таблица, рис. 1) с традиционной технологической системой производства, хранения и отпуска КПГ автомобилям, размещаемая на земельном участке 0,15...0,2 га и подключаемая к газовой сети с давлением газа 0,2...0,4 МПа. Отличительными особенностями станции являются ее

высокая надежность, безопасность, низкий уровень шумности и вибронагрузки, компактность и приемлемые для достижения рентабельности стоимость и энергозатраты. Эти преимущества обеспечиваются в основном конструктивными и эксплуатационными характеристиками технологического оборудования: компрессорных установок, аккумуляторов газа, системы автоматики и др.

При создании городской сети из предлагаемых АГНКС малой производительности обязательным условием становится наличие необходимых коммуникаций и прежде всего

Основные технические показатели городских газовых станций

Параметры	АГНКС-200	АГНС-200
Объем емкости хранилища газа геометрический, м ³ газовый СПГ/КПГ, м ³ /нм ³	– –	10,0 9,0 / 5400
Производительность станции по ГМТ: $\frac{\text{нм}^3}{\text{ч}} (\text{min}); \frac{\text{нм}^3}{\text{ч}} / \frac{\text{л}}{\text{ч}} (\text{max})$ $\frac{\text{нм}^3}{\text{сут}}; \frac{\text{нм}^3}{\text{сут}} / \frac{\text{м}^3}{\text{сут}} (\text{max})$ $\frac{\text{млн нм}^3}{\text{год}}; \frac{\text{млн нм}^3}{\text{год}} / \frac{\text{млн м}^3}{\text{год}}$	450 5400 1,6	450 / 750 5400 / 9,0 1,6 / 2700
Производительность станции по заправкам, авт./сут минимальная (объем заправки 40 нм ³) максимальная (объем заправки 20 нм ³) средняя (объем заправки 30 нм ³)	135 270 180	135 270 180
Максимальная производительность одной газозаправочной колонки, авт./ч	20	20
Число газозаправочных колонок	2	2
Продолжительность заправки одного автомобиля, мин	3,0...5,0	3,0...5,0
Давление газа, МПа на входе на выходе	0,3...0,6 20,0	– –
Давление газа заправки автомобилей (max), МПа	–	20,0
Число компрессоров	1	–
Мощность компрессора, кВт	До 200	–
Объем газовых аккумуляторов геометрический (20 балл.×80 л), м ³ газовый, нм ³	1,6 400	1,6 400
Давление газа в аккумуляторах (max), МПа	25,0	25,0
Производительность криогенного насоса, л/ч	–	800
Число криогенных насосов	–	1
Площадь станции, га	0,15	0,15
Численность персонала, чел.	9	9



Рис. 1. Компоновочное решение городской АГНС-200 для заправки автомобилей КПГ:
1 – операторская; 2 – навес с ТРК; 3 – производственно-технологический контейнер

газопровода с указанным давлением и расходом газа, что, безусловно, скажется на снижении числа таких станций в системе газоснабжения автотранспорта. Однако создание сети газоснабжения автотранспорта в крупных городах, особенно в городах-миллионниках, следует начинать со строительства именно таких станций, исходя из высокой технологической готовности производства.

- 2-я модификация – малогабаритная автогазонаполнительная станция бескомпрессорного типа, не привязанная к газопроводу и работающая на привозном СПГ. Эта модификация является для городов пока новой.

Аналогичные, но более мощные станции в виде опытно-промышленных образцов функционируют в разных странах мира – Китае, США, Великобритании, Швеции, Испании и др. Общее их число не превышает 30 ед. [2]. Они отличаются высокой производительностью и заправляют в основном автобусы и крупнотоннажные грузовики регазифицированным КПГ. Размещают эти станции на площадках размером 0,5...0,7 га, удаленных от внешних сооружений на 50...100 м. Объем хранимого на станциях СПГ составляет 25...75 м³. АГНС примерно с такими же параметрами сооружена в автобусном парке № 11 г. Москвы. При объеме хранимого на станции СПГ (50 м³) она рассчитана на заправку до 300 автобусов в сутки [2].

Доставка СПГ на АГНС-200 (рис. 2, см. таблицу) осуществляется с завода СПГ газовозами 1, совершающими челночные рейсы. Прибывший на станцию газовоз 1 подключается через

гибкий рукав к криогенному насосу 2, который нагнетает СПГ в испаритель 3 под высоким давлением 25,0 МПа. В атмосферном испарителе 3 происходит регазификация СПГ в КПГ высокого давления (25,0 МПа) за счет естественного притока теплоты из атмосферы. Полученный КПГ поступает из испарителя 3 через одоризатор 4 в аккумуляторы 5 высокого давления и через редуцирующее устройство с давлением 20,0 МПа распределяется по газозаправочным колонкам 6 для заправки автомобилей 7 до давления 20,0 МПа.

К отличительным особенностям такой АГНС относятся:

- небольшой земельный участок (0,15...0,2 га) для ее размещения;
- безопасный объем хранимого газомоторного топлива (до 9,0 м³ СПГ), достаточный в среднем для заправки 200 автомобилей 1-й группы в сутки;
- незначительный газовый объем аккумуляторов (не более 400 м³), позволяющий сократить расстояния между технологическими объектами, зданиями и сооружениями, размещенными вне станции;
- высокая надежность и безопасность технологии и оборудования станции, практически исключающие слив, утечки и разливы СПГ за счет конструктивного исполнения газотранспортных емкостей автогазовозов СПГ и исключения из состава станции стационарной емкости СПГ.

Все перечисленное позволит существенно уплотнить городскую сеть снабжения автотранспорта КПГ. Таких небольших станций пока нет в нашей стране, но организация их

промышленного производства и строительства не должна вызвать особых трудностей, так как производственная база для этого существует – ОАО «Криогенмаш», ОАО «Гелиймаш», НПФ «ЭКИП» и другие, которыми созданы образцы более мощных АГНС для заправки автобусов и грузовиков регазифицированным КПГ в Москве, Ленинградской и Свердловской обл. Однако для масштабного внедрения станций предлагаемого типа (2-я модификация) необходимо создать сеть мини-заводов СПГ и транспортные средства для его доставки на АГНС.

Основными объектами малотоннажного производства СПГ в нашей стране определены АГНС и ГРС. И это вполне оправданно и логично с учетом рассредоточенности транспортных средств. До сих пор не прекращаются споры об эффективности малых производств СПГ. Продолжается поиск путей получения синергетического эффекта от одновременного использования СПГ в производстве электро- и тепловой энергии для небольших населенных пунктов и хозяйств. Многолетняя практика эксплуатации мини-заводов на АГНС и ГРС в Ленинградской, Калининградской, Свердловской и Московской обл. подтвердила эффективность такого подхода.

Начиная с 1993 г. предприятия и организации ОАО «Газпром» вели целенаправленные работы в области освоения технологий малотоннажного (10...20 т/ч) производства СПГ и его использования в качестве моторного топлива на транспорте, в местной промышленности и коммунально-бытовом хозяйстве. Пионером освоения этих технологий явилось ООО «Лентрансгаз» (ныне ООО «Газпром трансгаз Санкт-Петербург»), начавшее с 1998 г. коммерческие поставки СПГ потребителям Ленинградской обл. Аналогичные работы велись и в ООО «Уралтрансгаз» (ныне ООО «Газпром трансгаз Екатеринбург»), где первые товарные объемы СПГ были реализованы в 2001 г.

Сегодня в системе Газпрома работают пять объектов получения СПГ:

АГНКС № 8 (г. Санкт-Петербург), АГНКС «Первоуральск» (Свердловская обл.), ГРС «Никольское» и ГРС «Выборг» (Ленинградская обл.), а также ГРС-4 (Екатеринбург). Суммарная максимальная производительность этих объектов оценивается примерно в 30 тыс. т СПГ в год. Фактическая реализация определяется возможностями потребителей – 90 % этого СПГ поставляется автомобилями-метановозами коммерческим потребителям на расстоянии от 40 до 160 км.

Потенциал производства СПГ только на ГРС страны с учетом фактической загрузки газопроводов-отводов, по оценке ОАО «Газпром промгаз», составляет минимум 10...12 млн т/год (15...16 млрд м³). Наряду с предприятиями ОАО «Газпром» малотоннажное производство и поставки СПГ автотранспортным и коммунально-бытовым предприятиям с 2004 г. осуществляет научно-производственная фирма «ЭКИП». В оригинальной установке по производству СПГ, созданной фирмой в Московской обл. (пос. Развилка) на АГНКС-500, для получения СПГ применена схема с дроссельно-эжекторным циклом и предварительным охлаждением. Действует также установка по получению СПГ производительностью 1,0 т/ч на АГНКС № 1 (Московская обл., п. Развилка).

Предлагаемые две модификации станций заправки только 1-й группы автомобилей сетевым и регазифицированным КПП по ранее проведенным экспертным оценкам займут различные ниши в городской системе газоснабжения транспорта: 1-я модификация АГНКС-200 охватит примерно 30 % станций, 2-я модификация 70 %. Причем это возможно при условии обеспечения безопасности, наличия земельных участков вблизи мест базирования автотранспорта, газопроводов достаточной производительности и повышенного давления, а также наличия производства и средств доставки СПГ в потребном объеме.

Для заправки городской спецавтотехники (2-я группа) целесообразно строить традиционные АГНКС-500

и АГНКС-250 вблизи источников газа повышенного давления (0,6...1,2 МПа и более), ГРС и газопроводов-отводов высокого давления. Для снижения холостых пробегов автомобилей на заправку придется перебазировать газомоторную часть техники АТП ближе к станциям заправки газом.

Для заправки городских маршрутных и пригородных экспресс-автобусов (3-я группа) потребуется строить традиционные мощные АГНКС-500 с учетом особенностей работы автобусных парков.

Первая из них связана с необходимостью обеспечения выхода автобусов на линию в течение 2-3 ч. Для заправки значительного числа автобусов (до 300 ед.) газом в течение столь короткого времени потребуется повышение мощности станции в несколько раз или организация ночной заправки, что проще и дешевле.

Вторая особенность связана с размещением станций. Для сокращения расходов на холостые пробеги и времени на заправку станции надо строить вблизи автобусных парков и/или на конечных остановках в зависимости от наличия земельных участков большого размера (до 2 га и более, особенно в случае организации ночной заправки автобусов на станции) с обязательным подключением этих станций к источникам повышенного давления (1,2 МПа и более) газа – к ГРС, газопроводам-отводам с давлением до 2,5 МПа. При этом не исключена перегруппировка автобусов по паркам и строительство новых автобусных парков, приближенных к источникам газа. В таком случае

предстоит решать сложную оптимизационную задачу с тремя переменными: мощность станции – источник газа – земельный участок.

При ночной заправке маршрутных городских автобусов пригородные автобусы целесообразно заправлять на этих же АГНКС в светлое время суток, что повысит загрузку и эффективность станций.

Для использования на автомобильном транспорте наряду с КПП представляет интерес и СУГ. В России на СУГ в настоящее время работает более 1,4 млн автомобилей, что в 16,5 раза превышает число автомобилей, работающих на КПП. В основном это городские легковые и малые коммерческие автомобили (более 96 %). Для обеспечения указанного числа автомобилей СУГ в стране функционирует более 3,0 тыс. АГЗС и многотопливных автозаправочных станций (МАЗС) [4]. Дальнейшее увеличение объемов его использования на автотранспорте связано с необходимостью наращивания производственных мощностей и расширения заправочной сети станций.

На розничном газомоторном рынке активно работает ОАО «Газпром газэнергосеть». Оно владеет развитой сетью современных АГЗС и МАЗС в 12 регионах страны и продолжает ее интенсивно наращивать.

Среди частных компаний следует отметить Московскую нефтегазовую компанию «МНК-газозаправка», которая создала и эксплуатирует в Москве 13 самых современных АГЗС и МАЗС [5]. По уровню надежности и безопасности этим станциям пока нет аналогов в отечественной и мировой практике.



Рис. 2. Блок-схема городской АГНС-200 для заправки автомобилей регазифицированным КПП

На сегодня в стране нет ни одного города, в котором была бы построена густая сеть АГНКС, АГЗС и МАЗС. А это означает, что самый многочисленный транспорт еще не вовлечен в газомоторный рынок. Необходимость создания городской сети газозаправочных станций стала очевидной и актуальной в создавшихся условиях. Опыт прежних лет показал, что создать плотную городскую сеть из мощных АГНКС по известным причинам практически невозможно. Необходимы новые, более прогрессивные подходы, суть которых заключается в следующем.

- Основу предлагаемой городской сети газоснабжения автотранспорта в конечном счете должны составлять многочисленные станции небольшой мощности и высочайшей безопасности, с минимальным уровнем шумности и вибронегативности, из которых предстоит формировать сеть заправки легкового и коммерческого автотранспорта КПП и СУГ. Такие станции должны размещаться на земельных участках площадью 0,1...0,2 га (вместо 0,5...1,0 га для более мощных станций) в непосредственной близости к местам базирования автомобилей и снабжаться сетевым природным газом повышенного давления 0,2...0,4 МПа либо привозными СПГ и СУГ.

- При формировании городской сети газоснабжения легковых и коммерческих автомобилей с созданием станций нового типа, работающих на привозном СПГ, для заправки регазифицированным КПП необходимо опережающими темпами построить вблизи городов на мощных АГНКС, ГРС или ГПЗ установки по малотоннажному производству СПГ и обеспечить средства его доставки на заправочные станции. Введение СПГ в автотопливный оборот для заправки автомобилей регазифицированным КПП может стать магистральным направлением в деле создания плотной внутригородской системы газоснабжения транспортных средств газомоторным топливом.

- Для заправки маршрутных городских автобусов, пригородных

экспресс-автобусов и спецавтотехники сеть газоснабжения следует комплектовать мощными АГНКС-500 и АГНКС-250, подключенными к высоконапорным газовым сетям с давлением 0,6...1,2 МПа и более. Такие станции должны быть максимально приближены к автобусным паркам, автотранспортным предприятиям и по возможности к конечным пунктам маршрута автобусов.

- Для создания МАЗС целесообразно и эффективно использование действующих АЗС. Опыт строительства и эксплуатации МАЗС подтвердил, что такой подход позволяет сократить сроки сооружения, уменьшить эксплуатационные затраты и зачастую избежать трудностей, связанных с выделением земельных участков.

- Для реализации столь масштабного проекта потребуется, прежде всего, разработка соответствующей программы и новых норм безопасности. Основу будущей программы, на наш взгляд, должны составлять формирование газозаправочной сети станций и наращивание числа газомоторной автотехники в крупных городах-миллионниках, в которых сосредоточена основная часть транспортных средств. При этом обязательны синхронность и сбалансированность этих процессов. Пополнение автопарков новой газомоторной автотехникой целесообразно начать с федеральных и муниципальных предприятий.

- Чрезвычайно важна разработка стимулов в виде льгот для всех участников реализации проекта газомоторизации автотранспорта страны.

- В России накоплен огромный опыт создания систем газообеспечения транспортных средств, выпуска технологического оборудования и газомоторных автомобилей, производства и транспортировки КПП, СУГ и СПГ газовозами и передвижными автогазозаправщиками. Основная задача на данном этапе, по нашему убеждению, состоит в том, чтобы консолидировать и направить усилия многих компаний, заводов, научных

и проектных организаций, а также строительно-монтажных фирм на выполнение данного концептуального проекта, нацеленного на доведение в 2020 г. парка газомоторных автомобилей, работающих на природном и нефтяном газе, до 10 % от общего автопарка страны (резолюция ЕЭК ООН от 12 декабря 2001 г.). Создание соответствующей газозаправочной сети станций и сервисных центров, в первую очередь, в крупных городах позволит радикально уменьшить влияние вредных выбросов автотранспорта на здоровье населения и окружающую среду, снизить стоимость автоперевозок, а также стоимость работ, выполняемых спецавтотехникой, и довести объем потребления компримированного природного газа в 2020 г. до ~12 млрд м³.

- В сложившихся условиях кадрового дефицита чрезвычайно важно на новом уровне организовать планомерную подготовку и переподготовку кадров рабочих и инженеров, без которых решение данной проблемы невозможно.

Литература

1. Боксерман Ю.И., Мкртычан Я.С., Чириков К.Ю. Перевод транспорта на газовое топливо. – М.: Недра, 1988. – 224 с.

2. Мкртычан Я.С. Газификация и газоснабжение транспорта России, кн. 1 «Проблемы и перспективы». – М.: Нефть и Газ, 2012. – 240 с.

3. Маленкина И.Ф., Ровнер Г.М., Мкртычан Я.С. Система обеспечения эффективного развития и эксплуатации сети метановых автозаправочных станций. – М.: Нефть и Газ, 2006. – 272 с.

4. «Применение СУГ, КПП, СПГ в качестве моторного топлива на автомобильном транспорте в РФ», презентация ОАО «Газпром газэнергосеть», 2012. – 24 с.

5. Мкртычан Я.С., Самсонов Р.О., Ровнер Г.М., Батюшков С.Г. Оборудование, техника, газозаправки. – М.: Нефть и Газ, 2007. – 88 с.

Заправочная станция на возобновляемых источниках энергии для водородного и электрического транспорта

О.Г. Лосев, инженер-исследователь НИЦ «Курчатовский институт», аспирант Национального исследовательского университета «МЭИ»,

И.В. Марусева, инженер-исследователь НИЦ «Курчатовский институт», студентка Национального исследовательского университета «МЭИ»,

А.С. Пушкарёв, инженер-исследователь НИЦ «Курчатовский институт», студент Национального исследовательского университета «МЭИ»,

С.А. Григорьев, начальник отдела НИЦ «Курчатовский институт», профессор Национального исследовательского университета «МЭИ», д.т.н.,

А.С. Григорьев, начальник отдела НИЦ «Курчатовский институт», к.т.н.

Изложена концепция стационарной заправочной станции для водородного и электрического транспорта на основе энергоустановки с водородным накопителем на возобновляемых источниках энергии и электрохимических систем с твердым полимерным электролитом.

Ключевые слова: заправочная станция, возобновляемый источник энергии, электрохимическая система, водородный накопитель, водородный автомобиль, электромобиль.

Современные пилотные проекты по внедрению в эксплуатацию электрических и водородных автомобилей требуют создания соответствующей инфраструктуры станций электрической подзарядки и водородных заправочных станций [1]. При их создании перспективно применение энергоустановок на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ) и низкотемпературных электрохимических систем с водородными накопителями [2-9].

Рассмотрим концепцию полностью автономной комбинированной заправочной станции на основе ВИЭ для электромобилей и водородного транспорта (рис. 1).

Принцип ее работы заключается в следующем. В период доступности ВИЭ за счет солнечных батарей 1 и ветрогенератора 2 энергоустановка производит электроэнергию, часть которой поступает в электролизную систему 5, где производится водород, поступающий в систему хранения 6 на основе газовых баллонов или металлгидридных реакторов, а другая часть – на зарядку литий-ионных аккумуляторных батарей 4, посредством которых осуществляется быстрая зарядка аккумуляторов электромобиля 9 (параметры зарядного тока 125 А/500 В). При отсутствии солнца и ветра водород по мере необходимости поступает в батарею топливных элементов 8, которые вырабатывают электроэнергию для подзарядки аккумуляторных батарей терминала электрической зарядки автомобилей. Этот же водород

используется для заправки водородных транспортных средств 7.

Поскольку поступление энергии от ВИЭ имеет периодический характер, необходимо ее запастись для использования в период недоступности ВИЭ. В рамках предлагаемой концепции аккумулялирование энергии осуществляется посредством накопления и хранения водорода – высокоэффективного экологически безопасного энергоносителя. В данном случае электрическую энергию предлагается преобразовывать в химическую электролизом воды с твердым полимерным электролитом (ТПЭ), являющимся безопасным и эффективным методом производства водорода и кислорода (энергетические затраты составляют около 4 кВт·ч/м³ водорода [10]). Немаловажно и то, что чистота производимых электролизных газов соответствует чистоте газов, необходимых в дальнейшем для топливных элементов с ТПЭ [11], которые используются на водородных транспортных средствах. Электролиз воды и соответственно хранение водорода предлагается проводить при давлении 5 МПа, что существенно экономит электроэнергию наиболее энергоемкой ступени сжатия водорода (до 3...5 МПа). Это обусловлено энергозатратами на создание давления в электролизере существенно более низкими, чем в традиционных компрессорах [4, 12]. До давления 35 МПа, которое соответствует стандартам хранения газобразного водорода на транспортных средствах, водород

предполагается дожимать с помощью электрохимического [13] или механического компрессоров.

Среди основных преимуществ водородного аккумулятора по сравнению с традиционным можно выделить следующие:

- небольшие потери при хранении;
- сравнительно небольшую площадь, которую занимает аккумуляторная система;
- значительно большее число циклов заряда–разряда.

Для обратного преобразования химической энергии в электрическую используется батарея топливных элементов с ТПЭ. Для наиболее эффективной работы топливных элементов целесообразно применение чистого кислорода в качестве окислителя и, следовательно, накопление и хранение кислорода, получаемого вместе с водородом в процессе электролиза. Однако в качестве окислителя может быть использован и кислород, содержащийся в воздухе. Это позволит отказаться от системы его хранения, но приведет к снижению характеристик батареи топливных элементов. Подобные автономные заправочные станции предлагается размещать, кроме прочего, в курортных и заповедных зонах, где необходимо обеспечивать экологическую безопасность транспортных средств и заправочных станций.

Приведем в качестве примера расчет параметров заправочной станции для о. Коневец, расположенного в экологически чистом районе на Ладожском озере. Уникальность этого острова заключается, прежде всего, в тиши, удаленности от цивилизации и богатом культурном наследии. На острове расположены Коневский Рождество-Богородичный мужской монастырь, ряд жилых объектов, предназначенных для проживания туристов и

паломников, а также специальные объекты. На острове нет централизованного электроснабжения, поэтому он является подходящим местом для реализации пилотных проектов автономных энергоустановок, в том числе заправочных станций для альтернативных видов автомобильного транспорта. В расчетах учтены три электромобиля и пять автомобилей на водородном топливе, что соответствует нынешнему автопарку острова, которые необходимо обеспечить топливом.

Национальная лаборатория возобновляемых источников энергии (США) в своих оценках использует среднюю дальность пробега легкового автомобиля, равную 12 тыс. миль/год (19,2 тыс. км/год или 52 км/сут), а потребление водорода – 1 кг на 60 миль (96 км) пробега. Таким образом, одному легковому автомобилю на водородных топливных элементах требуется 200 кг/год водорода, или 0,55 кг/сут.

В расчетах принято, что данный транспорт необходимо заправлять 1 раз/сут, следовательно для заправки пяти автомобилей необходимо 2,75 кг водорода. Нормальный объем 1 кг водорода составляет 11,2 м³, для выработки которого требуется затратить около 4 кВт·ч электроэнергии. Значит, для выработки 2,75 кг водорода требуется затратить 123,2 кВт·ч электроэнергии.

Энергия, необходимая для зарядки электромобиля, рассчитана на основании данных о серийно выпускающихся электромобилях:

- Ford Ranger – 0,25 кВт·ч/км;
- Toyota RAV4 EV – 0,19 кВт·ч/км;
- Nissan LEAF – 0,21 кВт·ч/км.

В нашем случае можно принять среднее значение расхода электроэнергии – 0,22 кВт·ч. Следовательно при

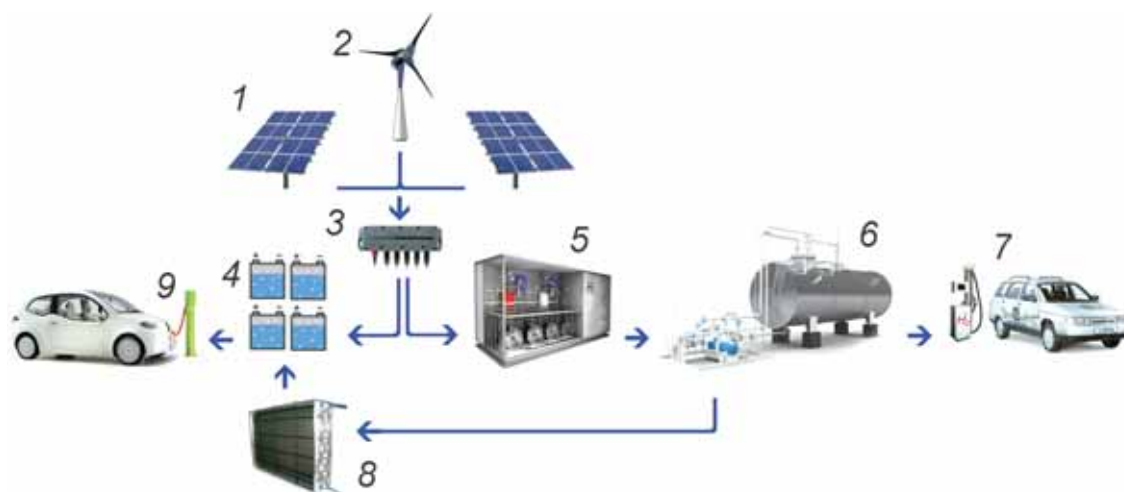


Рис. 1. Функциональная схема автономной комбинированной заправочной станции на основе ВИЭ для электромобилей и водородного транспорта:

1 – фотоэлектрический преобразователь; 2 – ветрогенератор; 3 – устройство коммутации и стабилизации; 4 – аккумуляторные батареи; 5 – электролизная установка; 6 – емкость для хранения водорода; 7 – водородный заправочный терминал; 8 – установка на основе топливных элементов; 9 – электрический заправочный терминал

пробеге 52 км электромобилю необходимо передать 11,4 кВт·ч, а трем электромобилем – 34,2 кВт·ч.

Таким образом, для заправки требуемого числа электрических и водородных транспортных средств энергоустановка должна вырабатывать $123,2+34,2=157,4$ кВт·ч/сут электроэнергии. Необходимая годовая выработка составит примерно 57,5 МВт·ч.

Будем считать, что одновременно электрический заправочный терминал будет заряжать только один электромобиль. Тогда аккумуляторная батарея, посредством которой будет осуществляться зарядка электромобилей, должна обеспечить в течение 20...30 мин параметры тока 125 А/500 В и передать 11,4 кВт·ч электроэнергии. Также следует учесть, что глубокий разряд негативно сказывается на ресурсе работы аккумуляторной батареи, поэтому число аккумуляторов подобрано таким образом, чтобы после зарядки одного электромобиля общая емкость накопленной энергии составляла не менее $\frac{3}{4}$ от емкости при 100%-ном заряде.

Для определения оптимального состава энергоустановки были использованы данные по солнечной инсоляции за период 1994-2004 гг. [14], а также метеорологические данные за тот же период, взятые с ближайшей метеостанции, расположенной на о. Валаам [15]. Расчеты проводились при помощи математической модели «Чукотка», разработанной сотрудниками НИЦ «Курчатовский институт». В ходе расчетов сделано допущение о схожести погоды на островах Коневец и Валаам.

В результате расчетов в оптимальный состав генерирующих мощностей вошли солнечные батареи марки RZMP-130-T производства Рязанского завода металлокерамических приборов в количестве 300 шт. (площадь одной фотопанели 1 м²) и один ветрогенератор ВРТБ-5000 также отечественного производства. Годовая выработка электроэнергии на данном оборудовании составляет 76,6 МВт·ч. В летний период вырабатывается большое количество избыточной электроэнергии (19,1 МВт·ч), которая направляется в электролизер для производства водорода. Далее водород накапливается в системе хранения, а в зимний период используется для выработки недостающего количества электроэнергии (рис. 2). Средний циклический КПД аккумулирующей системы составляет 43 %.

Поскольку ВИЭ характеризуются непостоянным потоком энергии, электрохимические установки необходимо проектировать так, чтобы плотность тока находилась в рабочем интервале, который для систем с ТПЭ составляет 0,5...1,0 А/см². Для этого можно разделять установки на несколько модулей и/или использовать модули с коммутируемыми ячейками.

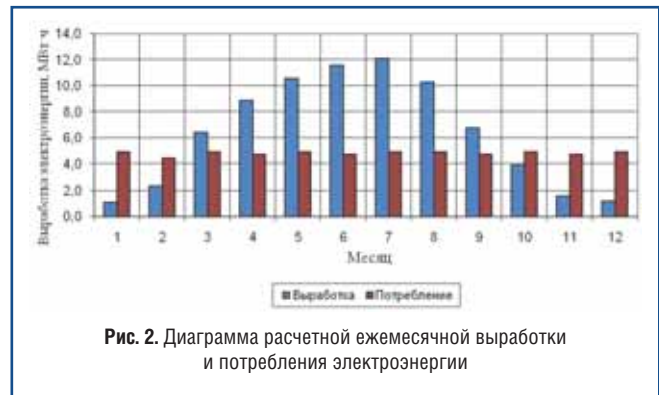


Рис. 2. Диаграмма расчетной ежемесячной выработки и потребления электроэнергии

На основании годового распределения мощности, вырабатываемой фотопанелями и ветрогенератором, определены расчетные рабочие параметры электролизной системы. Потребляемая мощность батареи в расчетном режиме составит 40 кВт. Всего в состав электролизной системы будут входить четыре модуля, каждый из которых рассчитан на номинальное потребление 10 кВт электроэнергии. Напряжение на одном модуле составит $U = 36$ В. Расчетный режим модуля характеризуется плотностью тока $i=1$ А/см² и напряжением одной электролизной ячейки $U_{\text{яч}}=1,7$ В. Число ячеек в одном модуле составит $n=U/U_{\text{яч}}=36/1,7\approx 21$. Сила тока, протекающего в модуле, равна $I=N/U=10000/36=277,8$ А, а площадь электродов $S=I/i=277,8/1=277,8$ см².

При зарядке только одного электромобиля расчетный интервал между двумя последовательными зарядками должен составлять не менее 2 ч. Расчетная мощность батареи топливных элементов, которая позволит осуществлять заправку электромобилей во время простоя основных генерирующих мощностей, составит $N=11,4$ кВт·ч/2 ч=5,7 кВт. В расчетном режиме напряжение батареи топливных элементов составит $U=36$ В. Напряжение одной ячейки составляет 0,74 В, а плотность тока $i=1$ А/см². Тогда число ячеек в батарее $n=36/0,74\approx 48$ шт. Сила тока батареи составит $I=N/U=5700/36=158,3$ А, а площадь электродов $S=I/i=158,3/1=158,3$ см².

Хранение водорода и кислорода осуществляется различными способами. Можно выделить три группы методов хранения – под давлением, в связанном, а также в жидком состояниях [12]. Большое количество водорода и кислорода предлагается хранить под повышенным давлением (около 5 МПа) в специальных трубах-контейнерах. Такой способ недорог, и резервуары не займут много места. Если среднее напряжение ячейки электролизных модулей $U_{\text{cp}}=1,7$ В, то масса водорода составит

$$m = \frac{k Q_{\text{эл}} \eta_{\text{эл}}}{U_{\text{cp}}} = \frac{1,045 \cdot 10^{-8} \cdot 19,1 \cdot 10^6}{1,7} \cdot 3600 \cdot 0,85 \approx 360 \text{ кг,}$$

где k – электрохимический эквивалент водорода, кг/Кл; $Q_{\text{эл}}$ – количество электроэнергии, выработанное сверх

потребления за год, которое электролизные модули преобразуют в водород (см. рис. 2), МВт·ч; $\eta_{эл}$ – КПД электролизера при соответствующем среднем напряжении ячейки, 3600 – число секунд в часе.

Будем считать, что хранилище должно единовременно содержать рассчитанную массу водорода. До давления до 20 МПа водород ведет себя как идеальный газ [12], поэтому необходимый объем хранилища составит

$$V = (p_n V_n / p) m = (0,1 \cdot 11,2 / 5) 360 = 80,64 \text{ м}^3,$$

где p_n – атмосферное давление, МПа; V_n – удельный объем водорода при нормальных условиях, м³/кг; p – давление водорода в хранилище, МПа; m – масса водорода, кг.

Для хранения такого объема сжатого водорода можно воспользоваться пятью контейнерами-трубами: длиной 10 м, диаметром 1,22 м и толщиной стенки 20 мм.

Аналогично трубным контейнерам можно использовать баллоны высокого давления объемом 10 м³ с возможность закачки газа до давления 32 МПа [16].

С учетом существующих нормативно-правовых документов, регламентирующих использование водорода и пожарную безопасность на заправочных станциях (ПБ 03-598-03, Правила противопожарного режима в РФ от 25.04.2012 г. № 390), площадь, занимаемую заправочной станцией с учетом всех допустимых расстояний между объектами, можно оценить примерно в 1 га.

Таким образом, проведенные расчеты показывают перспективность практической реализации предлагаемой концепции заправочной станции с терминалами для электрических и водородных автомобилей. Применение электрохимических систем с ТПЭ для прямого и обратного преобразования электрической энергии в химическую, а также водородного накопителя позволяет не только заправлять водородные автомобили, но и запасать значительные количества энергии, позволяющие сглаживать как суточную, так и сезонную неравномерность поступления энергии от ВИЭ, что особенно актуально для северных территорий России. Создание сети комбинированных заправочных станций с терминалами для заправки электрических и водородных транспортных средств, удовлетворяющих международным стандартам, может дать решающий импульс к широкомасштабному внедрению экологически чистого транспорта, в том числе в удаленных районах, не имеющих подключения к электрическим сетям, и способствовать решению ряда экологических и социальных задач.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках федеральных целевых программ «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009-2013 годы» (соглашение № 8890) и «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2013 годы» (государственный контракт № 14.516.11.0016).

Литература

1. **Клуманн А., Соллид Ч.** Заправочные станции на основе электролизера для различных проектов в Европе // Альтернативная энергетика и экология. – 2003. – Спец. выпуск. – С. 29.
2. **Муминов М., Бастеев А., Соловей В.** Автономный энерготехнологический комплекс для получения водорода в качестве вторичного энергоносителя // Альтернативная энергетика и экология. – 2004. – № 4 (12). – С. 38-41.
3. **Кирпичникова И.М., Мартьянов А.С., Соломин Е.В.** Преобразование энергии в ветроэнергетических установках // Альтернативная энергетика и экология. – 2010. – № 1 (81). – С. 93-96.
4. **Григорьев А.С., Григорьев С.А., Павлов Д.В.** Аккумуляция энергии с использованием электролизеров и топливных элементов в установках на основе возобновляемых источников энергии // Альтернативная энергетика и экология. – 2012. – № 11. – С. 55-64.
5. **Драганов Б.Х.** Возобновляемые источники энергии в водородной энергетике // Альтернативная энергетика и экология. – 2012. – № 7. – С. 30-32.
6. **Запорожец Ю.М., Кудря С.А.** Ветросолнечные энергетические комплексы с водородным циклом // Альтернативная энергетика и экология. – 2011. – № 8. – С. 36-75.
7. **Алексеева О.К., Козлов С.И., Самсонов Р.О., Фатеев В.Н.** Системы хранения водорода // Транспорт на альтернативном топливе. – 2009. – № 4. – С. 68-75.
8. **Фомин В.М., Шевченко Д.В.** Водородная энергетика и современный транспорт // Транспорт на альтернативном топливе. – 2012. – № 2. – С. 56-60.
9. **Глазков В.А.** Разработка зарядно-заправочных станций для автотранспорта на основе использования возобновляемых источников энергии / В.А. Глазков, В.В. Соловей, Н.С. Голубенко, С.И. Довгалюк, А.А. Шевченко, В.А. Попов // Альтернативная энергетика и экология. – 2011. – № 8. – С. 17-20.
10. **Григорьев С.А.** Получение водорода электролизом воды: современное состояние, проблемы и перспективы / С.А. Григорьев, В.И. Порембский, В.Н. Фатеев, Р.О. Самсонов, С.И. Козлов // Транспорт на альтернативном топливе. – 2008. – № 3. – С. 62-69.
11. **Grigoriev S.A., Porembsky V.I., Fateev V.N.** Pure hydrogen production by PEM electrolysis for hydrogen energy // International Journal of Hydrogen Energy. – 2006. – Vol. 31. iss. 2. – P. 171-175.
12. **Козлов С.И., Фатеев В.Н.** Водородная энергетика: современное состояние, проблемы, перспективы // Под ред. Е.П. Велихова. – М.: Газпром ВНИИГАЗ, 2009. – 520 с.
13. **Григорьев С.А., Коробцев С.В.** Электрохимические водородные компрессоры/концентраторы на основе твердополимерного электролита // Транспорт на альтернативном топливе. – 2011. – № 5. – С. 57-59.
14. <http://eosweb.larc.nasa.gov/sse/>
15. <http://rp5.ru/archive.php>
16. <http://www.sibenergocom.ru/vodopodgotovitelnoe-oborudovanie/1>

Изготовление металлокомпозитных баллонов (первый этап)

С.П. Семенищев, генеральный директор ООО НПП «ВТГ», к.т.н.,

В.П. Глухов, главный технолог ООО НПП «ВТГ», к.т.н.,

П.П. Мерзляков, главный конструктор ООО НПП «ВТГ»,

О.В. Килина, директор по качеству ООО НПП «ВТГ»,

В.К. Попов, директор по производству ООО НПП «ВТГ»

Рассмотрено изготовление лейнеров, которое является первым этапом производства металлокомпозитных баллонов высокого давления типа 3 с лейнерами из алюминиевого сплава. Приведены некоторые особенности технологии и работы оборудования. Материал статьи может быть полезен специалистам, занимающимся производством баллонов высокого давления, а также потенциальным инвесторам, желающим организовать новое производство таких баллонов.

Ключевые слова: металлокомпозитный баллон, лейнер, технология, раскрой труб, зачистка, калибровка заготовок с раскаткой, закатка днищ, термическая обработка лейнеров, обработка горловины режущим инструментом, испытания гидравлическим давлением.

Ускорение перевода транспортных средств на сжатый природный газ (СПГ) может быть достигнуто на основе более широкого использования металлокомпозитных баллонов типа 3 и композитных баллонов типа 4 (ГОСТ Р 51753–2001, ГОСТ Р ИСО 11439–2010). Наиболее привлекательным по соотношению цена–качество являются баллоны типа 3 с бесшовным лейнером из алюминиевого сплава*.

С участием специалистов ООО НПП «ВТГ» разработаны оборудование и технологическая оснастка, а также освоена технология серийного производства металлокомпозитных баллонов вместимостью до 185 л на рабочее давление ($p_{\text{раб}}$) 20 и 25 МПа.

Отличительными особенностями этой технологии являются:

- применение специализированного оборудования, разработанного

и изготовленного с использованием узлов от выпускающихся в России станков; стоимость такого оборудования при достаточно высоком качестве получаемых изделий и удовлетворительной производительности во много раз дешевле импортных аналогов;

- 100%-й контроль качества изделий на всех операциях изготовления (система качества, встроенная в технологический процесс);

- использование материалов отечественного производства для изготовления баллонов;

- подтверждение качества каждого баллона гидравлическими испытаниями пробным давлением $p_{\text{пр}} = 1,5 p_{\text{раб}}$;

- подтверждение качества каждой партии изделий (не более 200 штук) гидравлическими испытаниями произвольным образом отобранных образцов на разрушение и циклическую долговечность.

Изготовление баллонов включает два этапа: изготовление и испытание

лейнера; изготовление и испытание баллона с использованием полученного лейнера. Для изготовления лейнеров используют горячепрессованные трубы из алюминиевого сплава 6061 по ASTM B221-05a (АД33 по ГОСТ 4784–97).

Возможности предприятий России, в частности ОАО «КУМЗ», позволяют изготавливать трубы в соответствии с техническими требованиями по ТУ1811-002-07507110–2006, согласно которым трубы имеют диаметр 300 и 370 мм с допуском $\pm 1,6$ мм и толщину стенки 7 и 8 мм с допуском $\pm 0,6$ мм. На наружной поверхности допускаются пленки, царапины, риски, забоины, задиры, на внутренней – риски, задиры глубиной не более 0,1 мм. Овальность труб не выходит за предельные размеры по наружному диаметру, разностенность составляет не более 0,7 мм, отклонение от прямолинейности – не более 1,5 мм/м.

Любые дефекты на поверхностях заготовок лейнеров могут стать

* Семенищев С.П., Глухов В.П. Передвижные средства снабжения СПГ // Транспорт на альтернативном топливе. – 2012. – № 4 (28). – С. 66–69.

причиной преждевременного зарождения и развития усталостных трещин в лейнерах, и баллоны не будут удовлетворять требованиям циклической долговечности. Таким образом, для заготовок лейнеров необходимо выполнение операций по повышению качества поверхностей и получению геометрических размеров (диаметр и толщина стенки) в соответствии с требованиями конструкторской документации.

Изготовление лейнеров начинают с раскроя труб на заготовки необходимой длины. Для этого у каждой трубы измеряют минимальную толщину стенки, рассчитывают длину цилиндрической части лейнера, длину, необходимую для закатки двух днищ с горловинами, длину технологических отходов на последующих операциях, а также длину отрезаемой заготовки. Выполняют разметку на трубе для определения места реза с учетом сортамента выпускаемых баллонов, минимизируя отходы при раскрое.

На боковую бездефектную поверхность каждой размеченной заготовки электрографическим способом наносят маркировку (номера баллона и партии) для последующей идентификации изделия. Заготовки отрезают дисковым ножом по разметке безотходным способом. Операцию выполняют на специализированной машине при вращении трубы с небольшой скоростью и ручной подаче ножа. Удаление дефектов на наружной поверхности заготовки при их наличии осуществляют на специальной подставке вручную напильником.

Внутреннюю поверхность заготовки подвергают полной зачистке на специализированной машине круглой проволочной металлической щеткой. При этом щетка враща-

ется с большой скоростью и совершает возвратно-поступательные движения в продольном направлении. От воздействия щетки вращения заготовка, скорость вращения которой замедляют специальным под тормаживающим устройством. На поверхность заготовки в месте воздействия щетки подают охлаждающую жидкость. После полной останковки заготовки возможна местная зачистка поверхности, например, для удаления задигов, не устраненных при круговой зачистке.

В местах зачистки ультразвуковым толщиномером контролируют толщину стенки, которая не должна выходить за нижний предельный размер.

Поверхность заготовки моют вручную горячей водой в ванне волосяной щеткой или поролоновой губкой с использованием 72%-го хозяйственного мыла. Перед калибровкой заготовки ее поверхности подвергают омыливанию в ванне с раствором 72%-го хозяйственного мыла при температуре 60...70 °С с последующей сушкой на спокойном воздухе. Слой мыла на поверхностях должен быть тонким и равномерным для выполнения роли смазки при деформации заготовки на операции калибровки.

Калибровку заготовки с одновременным утонением стенки выполняют холодным пластическим деформированием металла на специализированной машине. Заготовку проталкивают через кольцевой инструмент и одновременно на стенку внутри воздействуют вращающейся раскатной головкой с тремя роликами. В результате при сохранении исходного диаметра 300 и 370 мм получают заготовки с допуском на диаметр $\pm 0,6$ мм и на толщину стенки $+0,5$ мм в соответствии

с требованиями конструкторской документации. Кроме того, полученная в результате холодной деформации структура металла обеспечивает 5...7%-ное увеличение прочностных и пластических свойств изделия после его последующей термической обработки.

При работе на машине ролики в раскатной головке настраивают таким образом, чтобы обеспечить у заготовки нижний предельный размер толщины стенки, а скорость проталкивания заготовки в кольцевой инструмент и скорость вращения раскатной головки выбирают, чтобы обеспечить получение минимального винтового следа по глубине и шагу на внутренней поверхности.

Технологический отход при калибровке заготовки с раскаткой зависит от размеров лейнера и может достигать 3...5 %. Его отрезают перед закаткой труб на машине резки. После калибровки и раскатки остатки мыла с поверхностей заготовки удаляют мойкой в горячей воде.

Двухстороннюю закатку днищ с горловинами поочередно выполняют роликом на специализированной закатной машине с числовым программным управлением движения ролика по двум координатам. Нагрев концевой части вращающейся заготовки до температуры 410 ± 10 °С и поддержание ее в требуемых пределах осуществляют газовыми горелками автоматически.

Программу закатки разрабатывают таким образом, чтобы получить днище требуемой формы с необходимым набором металла в горловине. При закреплении заготовки в патроне машины биение ее концевой части должно быть минимальным. При значительном биении возможен перекося днища относительно его цилиндрической части, что может

привести к уменьшению циклической долговечности будущего баллона. Поэтому в программе закатки предусматривают «выглаживающий» переход концевой части заготовки для полного устранения биения.

Поскольку алюминиевый сплав при горячей деформации склонен к налипанию на инструмент, закатной ролик в процессе закатки периодически смазывают. После окончания закатки на закатной машине выполняют резцом черновое подрезание горловины с припуском для последующей механической обработки.

Термическую обработку лейнеров – закалку и старение – проводят в закалочном агрегате элеваторного типа и камерной печи. Температура нагрева лейнеров при закалке 530 ± 5 °С, охлаждение в воде при температуре не выше 35 °С.

Лейнеры в закалочном агрегате размещают в многоместной кассете в вертикальном положении. Конструкция кассеты обеспечивает установку и фиксацию в ней лейнеров для всех выпускаемых типоразмеров баллонов и учитывает их удлинение при нагреве. Старение проводят при температуре 170 ± 5 °С, время выдержки 10±2 ч.

Для каждой садки вместе с лейнерами проводят термическую обработку образцов-свидетелей в виде пластин из той же плавки металла, что и лейнеры, и раскатанных с такой же степенью деформации, как и стенки лейнеров. После термической обработки осуществляют предварительный контроль ее качества путем замера твердости металла на торцах горловин переносным твердомером.

Из термообработанных пластин изготавливают образцы для определения механических свойств и

контроля металла на отсутствие перережога.

Защищенными считаются лейнеры, входящие в садку, у которых отсутствует перережога металла и которые обладают следующими механическими свойствами: $\sigma_b \geq 286$ МПа; $\sigma_{0.2} \geq 266$ МПа; $\delta_5 \geq 12$ %; $HB \geq 864$ МПа.

Материал лейнеров после термической обработки имеет обычно более высокие показатели механических свойств: $\sigma_b = 310 \dots 335$ МПа, $\sigma_{0.2} = 280 \dots 290$ МПа, $\delta_5 = 18 \dots 25$ %, $HB = 950 \dots 1100$ МПа.

При получении неудовлетворительных механических свойств лейнеров допускается их повторная термическая обработка.

Горловины обрабатывают на универсальных токарно-винторезных станках. Лейнер за одну из горловин закрепляют в патроне станка, за вторую обрабатываемую поддерживают специальным в люнете приспособлением, выводящим ось горловины на ось станка. Обработку поверхностей горловины проводят универсальным режущим инструментом с использованием керосина в качестве смазки. Для изготовления резьбы в горловинах применяют резьбонарезные и бесстружечные метчики. В последнем случае в качестве смазки используют густой раствор 72%-го хозяйственного мыла.

Ручная установка метчиков при нарезке резьбы в горловине не всегда обеспечивает перпендикулярность посадочных и уплотняемых поверхностей к оси резьбы. Это может привести к негерметичности мест установки присоединяемых к баллону деталей (пробка, переходник или вентиль) и необходимости доработки посадочных и уплотняемых поверхностей ручным приспособлением с режущими элементами.

Поэтому при нарезке резьбы целесообразно применение специального приспособления, обеспечивающего жесткое направление метчика относительно оси отверстия в горловине.

Каждый лейнер испытывают на специальном стенде водой пробным гидравлическим давлением, величина которого оговорена в конструкторской документации. Испытания проводят в закрытом контейнере с подвеской лейнера за одну из горловин. Лейнер считается успешно прошедшим испытание, если после нагружения давлением у него отсутствует остаточная деформация. В процессе удаления воды из лейнера извлекают стружку. После слива воды для окончательного удаления мелкой стружки лейнер продувают сжатым воздухом.

На торце одной из горловин ударным способом наносят номера лейнера и партии, а также год изготовления (две последние цифры).

Каждая партия лейнеров защищается испытанием одного лейнера, произвольным образом отобранного из партии, гидравлическим давлением на разрушение. Партия считается защищенной, если давление разрушения не ниже установленного в конструкторской документации, и при разрушении лейнера произошло раскрытие металла на цилиндрической поверхности.

Изготовление лейнера сопровождается ведением технологического паспорта, который при каждой операции заполняется исполнителем и где в сравнении с заданными параметрами фиксируются фактические. Готовые лейнеры складывают и затем передают на выполнение второго этапа изготовления баллонов.

Производство газовых машин в Китае

Е.Н. Пронин, исполнительный директор НГА

Экологическая и транспортная ситуация в Китае достаточно тяжелая: пробки даже на платных загородных шоссе и смог – обычное дело для КНР. Правительство Китая, исходя из экологических и экономических императивов, стимулирует массовое использование электромобилей, в основном легковых, и газовых грузовиков и автобусов. А руководство провинций КНР предпринимает собственные меры ограничения использования личного автотранспорта: квотирование числа автомобильных номеров или их продажа на аукционах (без номера нельзя купить машину), ограничение права пользования автомобилем (только по четным или нечетным дням или только в определенные дни недели) и т.д.

С другой стороны, вводятся меры стимулирования использования альтернативных топлив: приобретение номеров для электромобилей без очереди и на льготных условиях; дотации автобусным паркам бюджетной сферы от 50 до 100 тыс. юаней (8-16 тыс. долл. США) при покупке газовых автобусов; продажа метана автобусным паркам по льготным ценам (50 % цены газа на АГНКС общего пользования).

В последние годы акцент делается на выпуске автомобилей, работающих на альтернативных топливах: электричество, компримированный и сжиженный природный газ. В секторе газовых автобусов в последние годы все больший акцент делается на производство машин на СПГ. Правительство Китая планомерно осуществляет политику перевода муниципального пассажирского транспорта на природный газ. Китайские эксперты считают, что в настоящее время каждый десятый автобус в Китае работает на СПГ, а 60 % новых автобусов для муниципалитетов выпускаются в газовой (СПГ) модификации. Мэрия Пекина, например, полностью прекратила



Двухпалубный автобус Foton на СПГ

закупку дизельных автобусов и переключилась исключительно на газовые.

Относительно розничной цены дизельного топлива цена на КПГ составляет 0,6, а СПГ – 0,75. На западе Китая в газодобывающих районах цена природ-



Городской автобус Foton на КПГ

ного газа на АГНКС может быть в 4 раза ниже цены дизельного топлива.

В развитии газозаправочной сети для КПГ и СПГ участвуют все три государственные нефтяные компании – владельцы розничной сети АЗС. Фактические объемы потребления КПГ и СПГ для автотранспорта Китая неизвестны. Однако, по экспертной оценке, рост потребления автомобильного метана в последнее время составляет в среднем 60 % в год.

Лидером китайского газового автомобилестроения является компания Foton (Пекин), которая ведет свою историю с 1988 г. Foton – ведущий производитель коммерческого транспорта в Китае. В настоящее время компания владеет несколькими заводами, научным центром, зарубежными филиалами, вспомогательными объектами с об-

щей численностью работающих 40 тыс. человек. Годовой объем производства дошел до 700 тыс. ед. автомобильной техники. Доля компании Foton на внутреннем рынке коммерческих автомобилей достигает 20 %. Выручка компании от реализации техники достигла 100 млрд юаней (16 млрд долл. США). Foton имеет совместные предприятия с компаниями Daimler и Cummins. Половина акций в этих компаниях принадлежит иностранным партнерам, вторая половина – правительству КНР. Компания Foton выпустила примерно 13 тыс. грузовиков и автобусов, работающих на природном газе. Всего же в Китае на КПГ и СПГ сегодня работают примерно 80 тыс. грузовиков.

Модельный ряд Foton включает длинную линейку грузовых и легковых автомобилей, автобусов и пикапов всех классов. Доля компании Foton на внутреннем рынке коммерческих автомобилей на СПГ достигает 60 %.



Седельный тягач Foton на СПГ

Автобусы Foton на СПГ имеют следующие характеристики: мощность двигателя 184 кВт; геометрический объем криобака 375 л; запас СПГ 170 кг;



Самосвал Foton на СПГ

пробег на одну заправку 400 км. Расход СПГ в городском цикле составляет 42,5 кг/100 км, время бездренажного хранения СПГ – 5...7 сут. Все криогенное оборудование китайского производства. По словам инженеров компании, суточная норма потерь СПГ составляет 2 %. Критическое давление в криогенном баке 0,24 МПа. Сжиженный метан обеспечивает соответствие автобусов нормам выбросов Евро-4. Компания Foton ведет работу по аттестации своих газовых автобусов под нормы Евро-5. Также ведутся исследования в области использования на автобусах сжиженного водорода.

В партнерстве с компанией Scania концерн Foton выпускает 30 тыс. автобусов в год размерного ряда от 5 до 18 м. На экспорт уходит 25...30 % автобусов Foton. В европейские страны компания Foton продала примерно 4 тыс., а в Россию (с 2007 г.) 1 тыс. дизельных автобусов в основном туристического класса. В РФ компания имеет только одного дистрибьютора, работающего с 26 дилерско-сервисными центрами в Москве, Санкт-Петербурге, Самаре, Казани, Челябинске и др. городах.



Автобус Higer на СПГ

Основные агрегаты автобусов (двигатели, коробки передач, трансмиссии) китайского и зарубежного производства.

Автобусы, поставляемые на внутренний рынок, соответствуют нормам выбросов Евро-3, за рубежом – Евро-4. Сервисная стратегия компании Foton ориентирована на то, что покупатели машин обслуживают их самостоятельно при поддержке специалистов и обеспечении запасными частями. Для специальных клиентов компания готова организовывать полномасштабную систему технического обслуживания на месте.

Foton предлагает не только газовые автобусы, но также самосвалы и седельные тягачи на СПГ на базе шасси Auman (совместное производство с Daimler). Машины оборудованы газо-



Автобус Higer на КПГ

выми двигателями мощностью 258 или 280 кВт экологического класса Евро-3 и Евро-4. Вместимость криобаков китайского производства (CIMC) 450 л. Колесная формула 6x2, 6x4 или 8x4. Полная масса 19, 25, 33 или 41 т. Тягач с двигателем 258 кВт имеет запас хода 400 км. Возможна установка двух криобаков на одно шасси.

Корпорация Foton – не единственная компания в КНР, выпускающая газовые автомобили. Широкую гамму газовых автобусов на КПГ и СПГ в диапазоне размеров от 6 до 14 м предлагает компания Higer (Сучжоу, Провинция Тайху). Компания Higer является одним из лидеров китайского производства автобусов, поставляющим их во взаимодействии с компанией Scania в 65 стран мира, включая Россию.

Китайский Volkswagen продает модель Santana Vista, работающую на КПГ. Лидер китайского производства строительной-дорожной и подъемной техники компания XCMG (Сюйчжоу, Провинция Цзянсу) предлагает 25-тонный колесный кран на СПГ.



Газовое такси Volkswagen Santana

Экономическое развитие Китая продолжается стремительными темпами. Ему сопутствуют масштабное капитальное строительство и развитие национального машиностроения. Уровень технического совершенства и качества китайской автомобильной техники общего и специального назначения постоянно повышается. При этом цены на нее значительно более привлекательны для покупателей, чем аналоги, произведенные за пределами КНР.

Быстрыми темпами развивается и газомоторная отрасль Китая. Уже сформировались практически все производственные секторы: газовые двигатели и компоненты; компрессорная и криогенная техника; сосуды высокого



Автокран XCMG (25 т) на сжиженном метане

давления и криогенные баки; транспортная техника всех классов и видов назначения. Можно прогнозировать, что к 2020 г. КНР займет лидирующее место в мире по объемам потребления природного газа в качестве моторного топлива. Метан, особенно сжиженный, будет активно использоваться не только в автомобильном транспорте. В настоящее время реализуются пилотные проекты по бункеровке речных судов СПГ. На очереди – морской транспорт и железные дороги.

Развитие электротранспорта в России

В Москве 9 апреля 2013 г. в рамках Форума «ТЭК России в XXI веке» прошел круглый стол «Перспективы развития электротранспорта в России: технологические особенности создания зарядной инфраструктуры».

Первый заместитель председателя правления, член правления ОАО «ФСК ЕЭС» Роман Бердников заявил о начале реализации первого этапа Всероссийской программы по развитию зарядной инфраструктуры для электротранспорта в РФ, в рамках которой выделено несколько основных направлений – разработка базовых технологических решений, бизнес-модели функционирования зарядных устройства, необходимая нормативно-правовая база. Самым важным этапом было названо осуществление пилотных проектов.

В рамках Программы использован опыт первого этапа исследовательского проекта «МОЭСК-EV», который с 2011 г. по октябрь 2012 г. осуществляла компания «МОЭСК» совместно с крупнейшими игроками на рынке электромобилей

и зарядной инфраструктуры. Благодаря реализации проекта в Москве и Московской обл. создана первая в России сеть из 28 зарядных станций, а также разработана зарядная станция «MOESK-MOD», не имеющая аналогов в РФ и в мире.

Руководитель дирекции по развитию, информационным технологиям и операционной эффективности ОАО «МОЭСК» Денис Цыпулев, выступая на круглом столе, особо подчеркнул, что уже сейчас энергосистема Московского региона готова обеспечить без дополнительного развития зарядку 400 тыс. электромобилей днем и до 1 млн электромобилей ночью. «Учитывая оптимистический прогноз появления на дорогах Москвы и области к 2020 г. около 110 тыс. персональных электромобилей, – сказал он, – можно с уверенностью

утверждать, что энергосистема к этой нагрузке готова. Уже сейчас она может обеспечить днем за счет недоиспользованных ресурсов и перепадов нагрузки зарядку 12 тыс. автомобилей одновременно путем быстрой зарядки (15...20 мин) и еще 220 тыс. машин – путем обычной (6...7 ч). Однако необходимо грамотно территориально распределить зарядную инфраструктуру для равномерной нагрузки по всем районам Москвы и области. Ночью недоиспользуется 28 ГВт/ч, именно эту энергию может взять электротранспорт, что поможет повысить эффективность вложенных инвестиционных средств и даст возможность системе работать более надежно».

В планах ОАО «МОЭСК» применить бизнес-модель участия сетевой распределительной компании в рынке зарядной инфраструктуры. В соответствии с ней предполагается в течение следующих 6 лет развернуть на территории Москвы и области сеть из 2260 зарядных станций, в том числе 310 комплексов экспресс-зарядки, а также разработать технологии ультрабыстрой подзарядки электробусов, которые придут на смену дизельным автобусам и троллейбусам.

Пресс-служба ОАО «МОЭСК»

Электромобили на Ставрополье

Широкомасштабное внедрение всех видов автономного электротранспорта в России возможно при создании зарядной инфраструктуры на базе существующего электросетевого комплекса, если дневные пробеги автомобилей не превышают 120...140 км и существующая экологическая составляющая вызывает опасение. Таким критериям соответствуют прежде всего крупные города России.

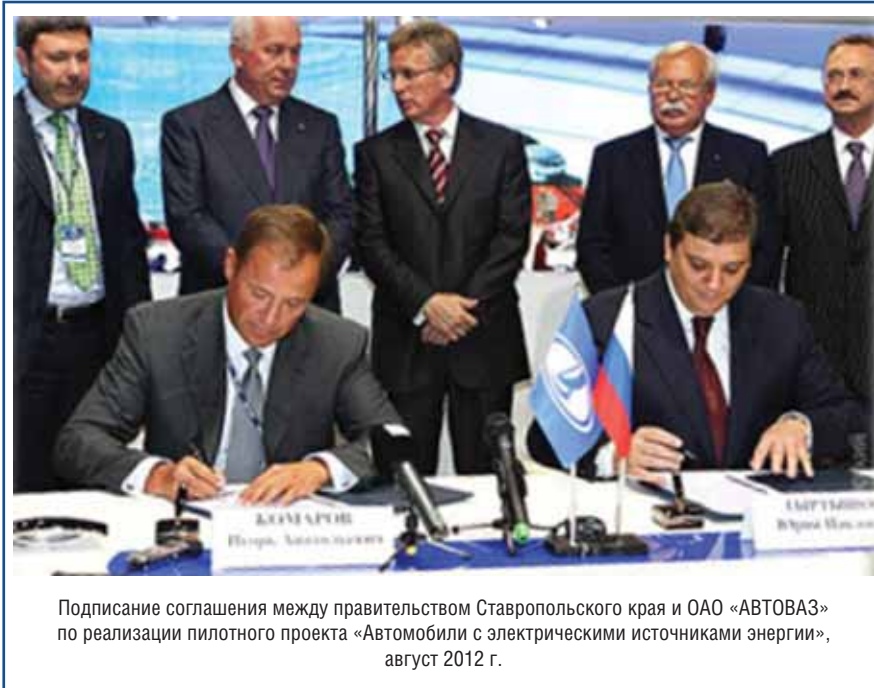
Среди пилотных моделей первого этапа Всероссийской программы по развитию зарядной инфраструктуры для электротранспорта в РФ, рассчитанного на период до 2014 г., предполагается создание зарядной сети и внедрение электротранспорта в автопарках ОАО «ФСК ЕЭС», МЭС Центра и МЭС Урала, замена части парка ОАО «МОЭСК» на

автономный электротранспорт. Помимо Москвы, Московской обл. и Урала, одним из пилотных регионов выбран Ставропольский край (СК), где с 2012 г. стартовал первый региональный пилотный проект по внедрению экологически чистого электротранспорта.

Министр энергетики, промышленности и связи Ставропольского края

Дмитрий Саматов, принявший участие в круглом столе, проходившем на форуме «ТЭК России в XXI веке», отметил, что первые пять электромобилей в январе 2013 г. были поставлены в Кисловодск. В феврале получена государственная лицензия на их использование в качестве легкового такси, а в апреле начата эксплуатация. Всего в первом полугодии текущего года на Ставрополье должны прибыть 90 электромобилей. В регионе Кавказских Минеральных Вод сооружены две зарядные станции. Первичная сеть электрозаправочных станций будет построена до конца текущего года.

В краевом бюджете на 2013 г. предусмотрены средства в сумме 35 млн руб. (31,5 млн руб. на электромобили, 3,5 млн руб. на инфраструктуру) на субсидирование части затрат на приобретение электромобилей и создание инфраструктуры их использования.



Подписание соглашения между правительством Ставропольского края и ОАО «АВТОВАЗ» по реализации пилотного проекта «Автомобили с электрическими источниками энергии», август 2012 г.

Имеется принципиальная договоренность со всеми заинтересованными лицами по эксплуатации электромобилей на территории города-курорта Кисловодска в качестве легкового экологически чистого такси.

В настоящее время для поддержки внедрения электромобилей в регионе правительство Ставрополя ведет работу по созданию и принятию следующих нормативно-правовых актов, к которым относятся:

- Порядок предоставления за счет средств бюджета СК субсидий юридическим лицам и индивидуальным предпринимателям на возмещение затрат по приобретению экологически чистых

видов транспорта и созданию инфраструктуры для их использования на территории СК;

- проект краевого закона «О внедрении электромобилей в СК».

Этими документами предусматриваются субсидии в размере 350 тыс. руб. на каждый приобретенный электромобиль юридическими лицами или индивидуальными предпринимателями и до 500 тыс. руб. – на каждую зарядную станцию, а также предоставление налоговых преференций владельцам электромобилей. Другими словами, любое юридическое лицо, занимающееся или желающее заняться коммерческими перевозками пассажиров легковыми такси, может

приобрести отечественный электромобиль и получить субсидию от правительства края в размере 350 тыс. руб.

Преимущества данного вида транспорта для коммерческого использования налицо:

- стоимость электрозаправки от 60 руб./100 км при гарантированном пробеге до 150 км на одной зарядке (среднедневной пробег такси в городах края около 160 км);
- отсутствие технических жидкостей, что снижает эксплуатационные расходы;
- нулевой расход электроэнергии в пробках;
- возможность зарядки от бытовой розетки в 220 В (6...8 ч) или быстрой зарядки до полного «бака» за 30...40 мин;
- быстрая окупаемость электромобиля за счет более дешевого топлива;
- отсутствие пробок и очередей при зарядке;
- поддержка развития электротранспорта правительством Ставропольского края и т.д.

Второй и третий этапы Всероссийской программы развития зарядной инфраструктуры для электротранспорта рассчитаны на период до 2020 г. Их реализация позволит сначала в ключевых регионах, а к 2018 г. массово на всей территории России развернуть зарядную инфраструктуру для электротранспорта.

В рамках Программы также предполагается задать стандарты единой для рынка электромашин технологической политики зарядной инфраструктуры, а также разработать стандарты для общественного электротранспорта. В целом реализация Программы позволит решить одновременно несколько задач: обеспечить повсеместный доступ к зарядной инфраструктуре электротранспорту; повысить эффективность использования существующей инфраструктуры электрических сетей, прежде всего через интеграцию в активно-адаптивную сеть; простимулировать отечественное производство, науку и технологии в этой области.

Пресс-служба министерства энергетики, промышленности и связи Ставропольского края



Действующая зарядная инфраструктура

Электрогидродинамический двигатель

В.К. Соковиков, профессор МАМИ, д.т.н.,

П.И. Строков, аспирант МАМИ,

А.А. Бекаев, доцент МАМИ, к.т.н.

Рассмотрен электрогидродинамический двигатель, для работы которого не требуется углеводородное топливо. Описана работа двигателя, основанная на электрическом разряде в незамерзающей жидкости, расположенной в надпоршневом объеме цилиндра. Приведены расчеты КПД двигателя, который может достигать 75 %.

Ключевые слова: двигатель, поршень, давление, электрод.

Электрогидродинамический двигатель (ЭГДД), являясь альтернативой существующим двигателям (ДВС, электродвигатели и т.д.), устанавливаемым на различных транспортных средствах (ТС), обеспечивает необходимые эксплуатационные свойства согласно современным требованиям к ТС. При этом ЭГДД экологичен, не имеет отработавших газов, так как не сжигает топливо. Двигатель работает от электрической аккумуляторной батареи транспортного средства, которая подзаряжается как от внешнего источника электроэнергии, так и за счет рекуперации энергии торможения автомобиля.

В рабочей камере цилиндров двигателя можно производить разряды напряжением до 80 кВ и частотой до 100 Гц, что обеспечивает высокие давление в рабочей камере цилиндров и скорость перемещения рабочего органа (поршень). Двигатель может достигать практически любых заданных значений крутящего момента и частоты вращения, ограниченных лишь конструктивными особенностями двигателя или транспортного средства. Он имеет простую конструкцию, малые массу и габариты, низкий уровень шума при работе (по сравнению с электродвигателями), а также низкую стоимость изготовления, высокие ремонтпригодность и надежность.

Принцип работы ЭГДД основан на электрогидродинамическом эффекте преобразования энергии высоковольтного разряда в жидкой среде в полезную работу выходного звена машины. Основой создания экономичных и экологичных двигателей, альтернативных ДВС и прочим двигателям, стали следующие требования:

- экологическая чистота (источник энергии – аккумуляторная батарея);
- простота конструкции и низкий уровень шума при работе;
- синтетическая с антикоррозионными и смазывающими свойствами и наибольшей удельной электропроводностью рабочая жидкость (РЖ);
- низкая стоимость изготовления и эксплуатации по сравнению с ДВС;

- меньшие масса и объем двигателя по сравнению с аналогами (электродвигатели);
- большие момент и частота вращения у роторного ЭГДД по сравнению с поршневым ЭГДД.

В поршневом ЭГДД (пат. 2278297 РФ) высоковольтный электрический разряд создает в замкнутом объеме РЖ гидравлическую ударную волну, преобразуемую в механическую работу коленчатого вала 1 (рис. 1). В двигателе не сжигается углеводородное топливо, а простая и экономичная конструкция обеспечивает автоматический режим установки, стабилизации и регулирования параметров работы. ЭГДД содержит микроконтроллер (блок управления) 7, электрическую систему питания 6, силовые цилиндры 2 с поршнями 8, рабочей жидкостью и одной парой электродов 3 и 4 (как минимум).

Оптимальным подбором плотности и электропроводности РЖ, интервала электроразряда обеспечивается создание экономичного и надежного в работе двигателя. В качестве РЖ могут быть использованы различные

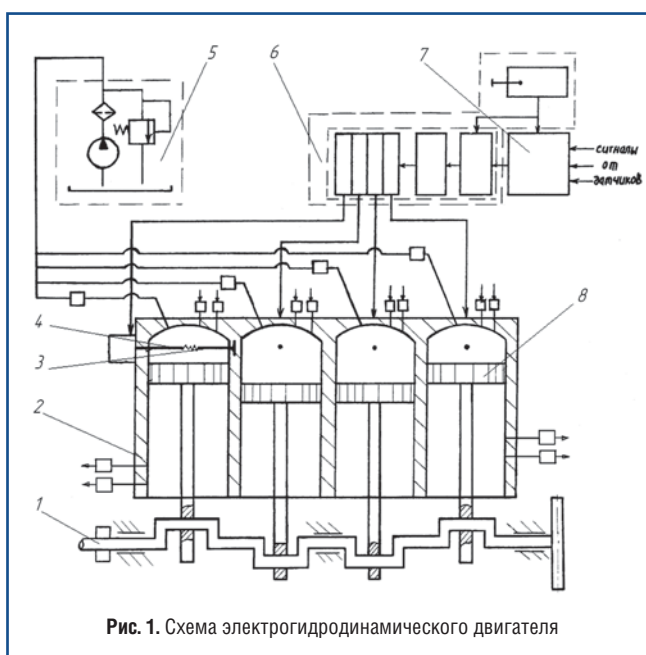


Рис. 1. Схема электрогидродинамического двигателя

жидкости с оптимальной плотностью и электропроводностью, а также антикоррозионными и смазывающими свойствами. Для поддержания объема РЖ в заданных пределах двигатель снабжен компенсационной гидросистемой 5, к которой через управляющий блок 7 подключены силовые цилиндры 2.

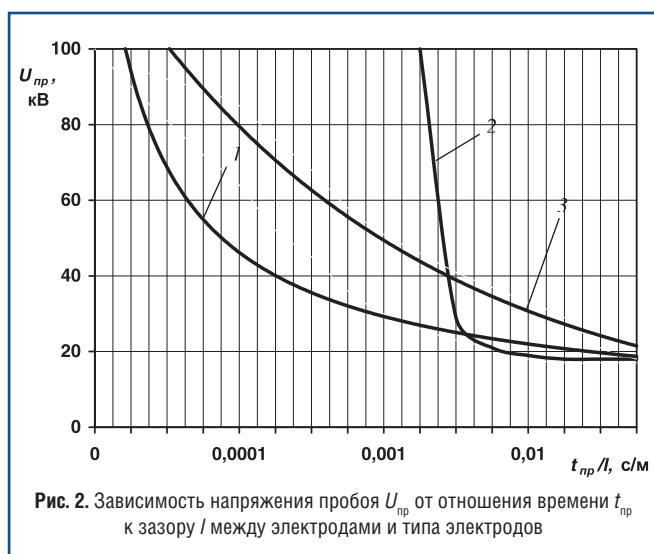
Для обеспечения стабильности параметров работы, установленных заданным алгоритмом, и их изменения при смене режима работы система питания б, компенсационная гидросистема 5, силовые цилиндры 2 подключены по цепи управления к управляющему блоку 7, контролирующему температуру, давление в рабочей камере цилиндра, частоту вращения и крутящий момент коленчатого вала 1.

По сравнению с электрическим двигателем ЭГДД имеет меньшие массу и объем и при этом значительно дешевле в производстве. Проведем оценку основных характеристик электрогидродинамического двигателя.

ЭГДД включает два основных элемента – электронный блок управления 7 с выходом в виде электродов 3 и 4 и блок цилиндров двигателя, выходом которого является коленчатый вал 1 двигателя. Работа электронного блока управления зависит от величины и сочетания индуктивности цепи разряда L и емкости конденсаторов C , которые оказывают существенное влияние на давление между электродами и в нижней мертвой точке. Важным элементом блока цилиндров двигателя являются электроды, конструкция которых определяет продолжительность и величину разряда, а также возможность настройки оптимального зазора между ними (рис. 2) [2].

Электродами могут быть:

- отрицательно заряженный стержень (острый электрод) и положительно заряженная плоскость (кривая 1);
- положительно заряженный стержень (острый электрод) и отрицательно заряженная плоскость (кривая 2);
- два стержня с разными зарядами (кривая 3).



Для работы двигателя наиболее целесообразен второй случай, когда стержень положительно заряжен и отрицательно заряженная плоскость соединена с корпусом цилиндра и транспортного средства.

На активном сопротивлении канала разряда R_a развивается предельно возможная мощность при значении сопротивления электрической цепи

$$R = \frac{R_a}{2} \sqrt{\frac{L}{C}}$$

Удельная крутизна этой мощности, передаваемой между электродами в жидкость, определяется по уравнению [2]

$$\frac{dN_{max}}{dt} = 3,4 \cdot 10^7 U_{пр}^{1/2} C^{-1/4} L^{-3/4}$$

где $U_{пр}$ – напряжение пробоя между зазорами электродов (задается по данным рис. 2).

От параметров, представленных в уравнении, зависит оптимальная длина промежутка между электродами

$$l_{опт} = 8 \cdot 10^{-9} U_{пр}^{3/2} (C/L)^{1,4}$$

Зависимость удельной крутизны электрической мощности dN_{max}/dt , передаваемой между электродами, и оптимальной длины промежутка $l_{опт}$ от напряжения пробоя $U_{пр}$ при $C = 0,25 \cdot 10^{-6}$ Ф и $L = 2,2 \cdot 10^{-3}$ Гн представлена ниже.

$U_{пр}$, кВ	20	40	50	60
dN_{max}/dt , (10^{10}) кВт/(см)	2	3,06	3,3	3,7
$l_{опт}$, (10^{-3}) м	2,24	6,4	8,9	11,75

Из расчетов следует, что чем выше напряжение пробоя, тем больше удельная крутизна электрической мощности и оптимальная длина промежутка между электродами. Для напряжения пробоя $U_{пр} = 20 \dots 40$ кВ оптимальный зазор между электродами изменяется от $2,24 \cdot 10^{-3}$ до $6,4 \cdot 10^{-3}$ м, то есть зазоры достаточно большие и легко регулируются.

Давление в канале разряда, обусловленное испарением жидкости, зависит от удельной крутизны электрической мощности и определяется по формуле

$$p_p = \frac{0,45(dN_{max}/dt)^{2/3}}{4,3 + 3,9 \cdot 10^{-2}(dN_{max}/dt)^{1/6}}$$

Приведенные формулы показывают, что удельная крутизна электрической мощности dN_{max}/dt , оптимальная длина промежутка между электродами $l_{опт}$ и давление в канале разряда p_p зависят от емкости конденсатора C и индуктивности цепи разряда L электронного блока питания. Изменяя эти параметры, можно добиться увеличения, прежде всего, удельной крутизны электрической мощности dN_{max}/dt и остальных параметров двигателя. Уменьшение индуктивности L от $2,2 \cdot 10^{-3}$ до $0,02 \cdot 10^{-3}$ Гн приводит к увеличению давления p_p от 62 до 130 МПа (рис. 3а). Аналогично влияние и емкости C . При уменьшении емкости C с $0,5 \cdot 10^{-6}$ до $0,01 \cdot 10^{-6}$ Ф давление p_p возрастает до 62 МПа (рис. 3б). Следовательно для увеличения давления p_p целесообразно уменьшение индуктивности L и емкости конденсатора C . Однако влияние этих параметров на давление p_p

различно, поэтому целесообразно рассмотреть изменение давления p_p в канале разряда в функции C/L (рис. 4).

Анализ показывает, что целесообразно уменьшать индуктивность при сохранении емкости C . Вместе с тем существенное уменьшение индуктивности (см. рис. 3) приводит к значительному росту давления p_p в канале разряда.

При электрическом разряде между электродами в канале разряда в процессе испарения жидкости происходят потери энергии, которые оцениваются акустическим КПД η_a . При дальнейшем движении парожидкостной смеси в цилиндре возникают гидравлические потери, рассматриваемые в виде гидравлического КПД η_r . Оценим их значения.

Акустический КПД определяет долю выделившейся электрической энергии в канал разряда, переходящей в энергию пробоя между электродами и испарения жидкости. По данным [3], в больших объемах камеры максимальное значение η_a составляет 0,36. Однако некоторые конструктивные изменения разрядной камеры [4] могут повысить его до 0,6 и более. Приведенные значения акустического КПД характерны для больших объемов и значительных ($l > 30$ см) расстояний между электродами.

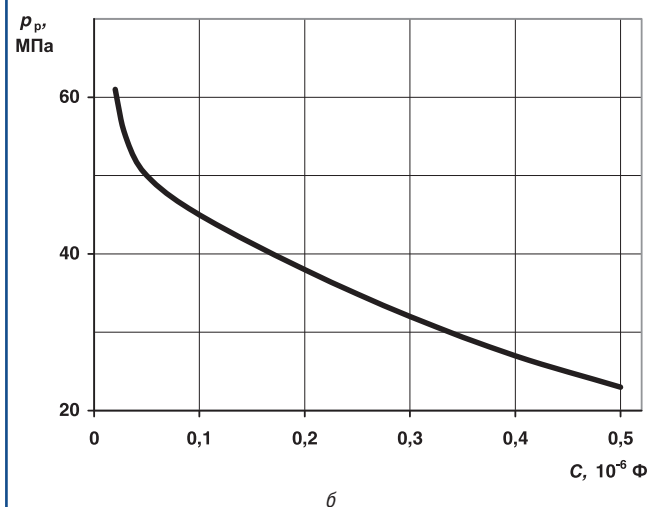
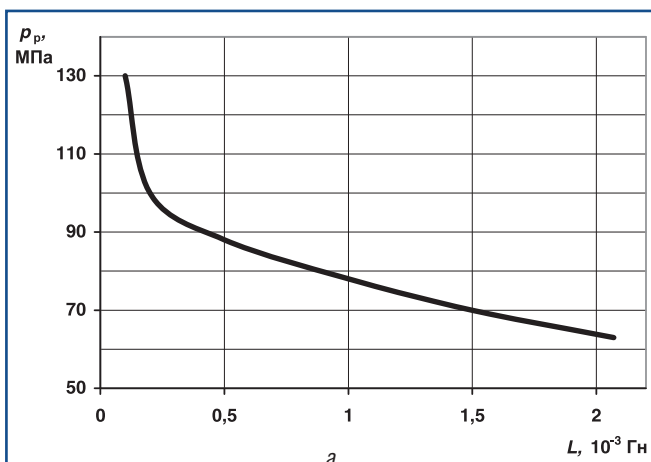
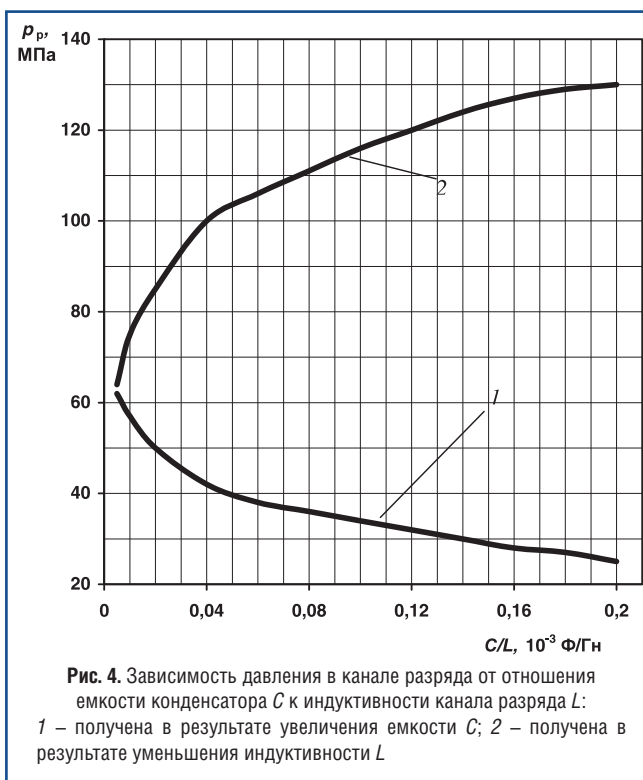


Рис. 3. Зависимость давления в канале разряда от индуктивности цепи разряда (а) и от емкости конденсатора (б) при $U_{пр} = 40$ кВ, $C = 0,01 \cdot 10^{-6}$ Ф

В рабочих камерах с незначительными объемами цилиндров двигателя при ограниченных расстояниях между электродами преобладает лидерный или тепловой режим разрядов, и практически вся электрическая энергия преобразуется в энергию пробоя. Различие между режимами пробоя заключается в том, что при лидерном преобладает энергия движения парожидкостной смеси (больше 50 %) над энергией ударной волны. Такой пробой наиболее целесообразен, так как перемещение поршня цилиндра двигателя в основном происходит за счет движения парожидкостной смеси, а ударная волна создает дополнительные нагрузки на механические элементы двигателя. Тепловой режим пробоя возникает при сравнительно низких напряженностях поля, не превышающих 36 кВ/см (для воды), при этом пробой межэлектродного промежутка происходит по газовому мостику, образуемому в результате разогрева и испарения жидкости током проводимости.

При использовании в качестве рабочей жидкости воды граница, разделяющая лидерный и тепловой режимы пробоя, может быть оценена по эмпирической зависимости [5], где переменной является длина зазора l между электродами

$$l = 60 U_{пр}^2 \sqrt[3]{C}.$$

Ограниченность объема рабочих камер цилиндров двигателя оказывает также существенное влияние на развитие плазменного канала между электродами при высоковольтном электрическом пробое жидкости. Металлический экран в виде стенок цилиндра стабилизирует плазменный канал разряда при лидерном или тепловом режимах пробоя вследствие образования

индуцированного соленоидального магнитного поля. Если в больших объемах жидкости электрический пробой водного промежутка при напряженности электрического поля не более 3,5 кВ/см маловероятен, то в условиях сильно стесненного пространства тепловой режим пробоя при столь низкой напряженности поля достаточно надежно воспроизводится.

Вместе с тем незначительный объем жидкости в цилиндрах двигателя при сравнительно большом выделении энергии обуславливает рост температуры жидкости и статического давления внутри цилиндра. Следовательно существуют оптимальные условия, при которых происходит электрический разряд с максимально полным выделением энергии разряда в жидкость, а значит с максимальным акустическим КПД. Оптимальные условия разряда зависят от объема рабочих камер цилиндра, гидростатического давления, продолжительности движения парожидкостной смеси, скорости звука при прохождении его в парожидкостной смеси, энергии разряда, периода выделения энергии в канал разряда, длины зазора между электродами и т.д. Определение оптимальных условий, при которых происходят максимальное выделение электрической энергии в жидкость с минимальными ее потерями при движении парожидкостной смеси и получение максимальных гидравлического и акустического КПД, является сложной гидродинамической задачей.

Стабилизирующее влияние стенок цилиндра двигателя на электрический разряд обуславливает надежное воспроизведение лидерного режима разряда, при котором, по экспериментальным данным [5], в канале разряда может выделиться более 85 % энергии, подведенной к электродам, то есть $\eta_a \geq 0,85$.

При дальнейшем движении парожидкостной смеси в результате трения между ее слоями происходит снижение давления. Поэтому уменьшение трения должно привести к росту фактического давления p_ϕ , действующего на поршень цилиндра, и гидравлического КПД двигателя. Трение между слоями жидкости может быть уменьшено в результате использования жидкости DOW Corning 200 вместо воды или в сочетании с водой. Эта жидкость имеет вязкость в два раза меньшую, чем вода. Температурный диапазон ее применения $-40 \dots 200$ °С. Аналогично использование силиконовой (кремнеорганическая) жидкости полиметилсилоксана (ПМС) с вязкостью $0,65 \cdot 10^{-6}$ м²/с. Она также имеет широкий температурный диапазон.

Хороший эффект дает применение в качестве рабочей жидкости минеральных масел. Так, авторами [4] было получено увеличение гидравлического КПД более чем в два раза при использовании минеральных масел по сравнению с гидравлическим КПД при использовании воды и удалении разряда от канала на $12 \cdot 10^{-2}$ м (таблица).

Жидкость	$\eta_{г \max}$
Антифриз	0,25
Вода	0,35...0,4
Машинное масло	0,5...0,6
Трансформаторное масло	0,7...0,8

Трансформаторное масло имеет наибольший гидравлический КПД, равный 0,7...0,8, что в два раза больше гидравлического КПД воды.

Максимальный гидравлический КПД был получен в зоне предельного лидерного разряда, а с увеличением его относительной длительности – в зоне предельного теплового разряда. При этом наибольшее значение КПД [8] достигается при следующих значениях параметров: $X_1=10$; $X_2=1,3$; $X_3=0,0358 \sqrt{X_1}$.

Здесь

$$X_1 = \frac{E_0}{p_0 V}; X_2 = \frac{a_0 \tau}{\sqrt[3]{V}}; X_3 = \frac{l}{\sqrt[3]{V}},$$

где E_0 – энергия разряда; p_0 – гидростатическое давление; V – объем рабочей камеры цилиндра двигателя;

a_0 – скорость звука в парожидкостной смеси; $\tau = \frac{\sqrt[3]{V}}{a_0}$ – про-

должительность гидродинамического процесса; l – зазор между электродами.

Экспериментальные исследования [5], проведенные авторами в широком диапазоне значений емкости электрической цепи (6...100 мкФ), объема рабочей камеры (130...1600 см³), напряжения пробоя (2...20 кВ), зазора между электродами (1...20 мм) с пятикратным воспроизведением опытной точки, показали, что в малых объемах гидравлический КПД может достигать в воде $\eta_g \geq 0,7...0,8$ при зазоре между электродами $l=4,5...7$ мм. Отсюда следует, что для использования в двигателях можно подобрать такую жидкость с соответствующими присадками, при которой был бы минимальный коэффициент трения между слоями и достаточно высокий гидравлический $\eta_g=0,9...0,95$. Следует учитывать, что максимальные гидравлический и акустический КПД могут быть получены при соответствующих значениях емкости конденсатора и индуктивности цепи разряда электронного блока питания, а также при нормальных гидростатическом давлении и температуре жидкости. Увеличение гидростатического давления при прочих равных условиях согласно параметру X_1 эквивалентно уменьшению энергии E_0 , то есть приводит к снижению гидравлического КПД. Увеличение температуры парожидкостной смеси и жидкости в районе нижней мертвой точки перемещения поршня также приводит к уменьшению гидравлического КПД. Чем ниже температура жидкости, тем выше технические показатели электрогидродинамического двигателя.

Теоретическое определение основных параметров электрогидродинамического двигателя при электрическом разряде между электродами может быть получено [5] из решения системы дифференциальных уравнений.

1. Уравнение для определения выделяемой энергии разряда, соответствующей заданному закону [5]

$$E = E_0 t/\tau,$$

где t – время.

2. Уравнения гидродинамики сжимаемой жидкости:

- уравнение скорости движения

$$\partial x/\partial t = -(1/\rho_0)(R/r)\partial p_p/\partial r;$$

- уравнение связи перемещения частиц парожидкостной смеси со скоростью

$$u = \partial R/\partial t;$$

- уравнение неразрывности парожидкостной смеси

$$\frac{\partial(\rho \Delta)^{-1}}{\partial t} = 0.$$

Здесь x – перемещение поршня; ρ_0 – плотность жидкости в невозмущенной среде; R – эйлерова пространственная координата; r – лагранжева пространственная координата; ρ – плотность парожидкостной смеси в данном месте поля; Δ – плотность кольцевой ячейки лагранжевой сетки.

3. Уравнение состояния парожидкостной смеси (уравнение Тэта) [7]

$$p_p = p_0 + B[(\rho/\rho_0)^n - 1],$$

где $B = 304,7$ МПа (константа) [7]; $n = 7,15$.

Условие сохранения энергии, вводимой в канал разряда, на границе раздела жидкости и газовой полости $E_B + A = E$.

Здесь E_B – внутренняя энергия газовой полости при испарении жидкости; A – работа, совершаемая парожидкостной смесью; E – энергия, выделяемая в канал разряда.

$$E_B = p_p V_0 (\gamma - 1),$$

где V_0 – объем жидкости между электродами; $\gamma = 1,26$ – показатель адиабаты газа в канале разряда.

$$A = \int_{V_0}^{V_k} p_\phi dV_k,$$

где V_k – объем рабочей камеры цилиндра двигателя; p_ϕ – фактическое давление в парожидкостной смеси в данном месте поля.

Внешнее граничное условие движения поршня гидроцилиндра двигателя

$$d^2 R_n / dt^2 = p_\phi / (\rho_c x),$$

где R_n – радиус поршня; ρ_c – плотность парожидкостной смеси у поршня в нижней мертвой точке.

Начальные условия для решения вышеописанной системы дифференциальных уравнений имеют вид: $t = 0$; $R = r$; $\partial r / \partial t = 0$.

Точное решение данной системы уравнений представляет определенную сложность. Поэтому для ее решения следует использовать численный конечно-разностный метод с использованием разностной схемы второго

порядка точности. Неявные граничные условия могут быть получены итерационным методом Ньютона–Рафсона.

Таким образом, были установлены следующие параметры, характеризующие экономические показатели электрогидродинамического двигателя: гидравлический КПД двигателя $\eta_r \approx 0,9 \dots 0,95$; акустический КПД $\eta_a \geq 0,85$. При $\eta_r = 0,92$, $\eta_a = 0,92$ с учетом механического КПД двигателя при движении поршня и КПД вспомогательных устройств общий КПД двигателя может достигать $\eta = 0,72 \dots 0,75$.

Полученный КПД электрогидродинамического двигателя существенно выше КПД двигателя внутреннего сгорания и может с ним конкурировать на транспортных средствах. Электрогидродинамический двигатель, используемый совместно с ДВС (гибридный двигатель), может широко применяться в транспортных средствах в городских и полевых условиях. Он является экологически чистым, поэтому его эксплуатация предпочтительнее, чем ДВС. Дальнейшие работы по электрогидродинамическому двигателю должны еще больше повысить его экономические показатели и технические возможности.

Литература

1. Беспрецизионный электрогидродинамический ТНВД / В.К. Соковиков, Л.Х. Арустамов, В.П. Хортов и др. // Автомобильная промышленность. – 2005. – № 3. – С. 21-24.
2. Юткин Л.А. Электрогидравлический эффект и его применение в промышленности. – Л.: Машиностроение, 1986. – 253 с.
3. Ракошиц Г.С. Электроимпульсная штамповка: учеб. пособие для училищ. – М.: Высшая школа, 1984. – 192 с.
4. Соковиков В.К., Строков П.И. и др. Поршневого электрогидравлический двигатель. Патент на изобретение № 2278297, бюл. № 17 от 20.06.2006.
5. Электротехнический справочник под общей редакцией проф. В.Г. Герасимова, П.Г. Грудинского и др. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 616 с.
6. Оборудование и технологические процессы с использованием электрогидравлического эффекта / Г.А. Голый, П.П. Малышевский, Е.В. Кривицкий и др. – М.: Машиностроение, 1977. – 320 с.
7. Об оценке полного гидродинамического КПД электрического разряда в воде / Г.Н. Гаврилов, А.Г. Рябинин, Г.А. Рябинин и др. // Журнал технической физики. – 1977. – Т. 47, вып. 7. – С. 1506-1509.
8. Гидропластическая обработка металлов / Боговяленский К.Н., Вагин В.А., Кобышев А.Н. и др. – Л.: Машиностроение, 1988. – 256 с.
9. Григорьев С.Н., Смоленцев Е.В., Волосова М.А. Технология обработки концентрированными потоками энергии: учеб. пособие для вузов. – Старый Оскол: ТНТ, 2009. – 280 с.

Сравнительный анализ процессов теплообмена в камерах сгорания традиционного и водородного дизелей

Р.З. Кавтарадзе, профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана, д.т.н.,

А.А. Зеленцов, доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана, к.т.н.,

В.М. Краснов, аспирант МГТУ им. Н.Э. Баумана,

Е.В. Климова, аспирант МГТУ им. Н.Э. Баумана

Изложены результаты трехмерного моделирования процессов локального теплообмена в камерах сгорания традиционного и водородного дизелей с непосредственным впрыскиванием газообразного водорода. Проведена верификация модели на основе экспериментальных данных. Дана оценка тепловых потерь в рабочих циклах, определено доленое участие отдельных деталей камеры сгорания в теплообмене, а также проведен сравнительный анализ рабочих процессов исследуемых двигателей.

Ключевые слова: альтернативные топлива, водородный дизель, локальный теплообмен.

Одна из наиболее актуальных проблем, связанных с повсеместной эксплуатацией поршневых двигателей внутреннего сгорания (ДВС), обусловлена все более реальной угрозой истощения природных запасов жидких углеводородных топлив. Данное обстоятельство со все более ужесточающимися экологическими требованиями находит свое отражение в постоянном росте затрат на моторное топливо, а также общей стоимости эксплуатации транспортных средств. В перспективе одним из наиболее эффективных способов решения указанных проблем может стать частичный (с сохранением возможности работы на базовом топливе), а затем и полный перевод двигателей на водород [1, 2].

Водород как моторное топливо характеризуется высокой массовой теплотой сгорания и имеет широкую сырьевую базу, что позволяет говорить о возможности полного замещения им традиционных углеводородных топлив. На сегодняшний день реализованы различные концепции использования водорода в качестве топлива для дизелей и

двигателей с принудительным воспламенением [2, 3].

Рассмотрим водородный дизель с непосредственным впрыском в цилиндр газообразного водорода, что позволяет избежать раннего самовоспламенения водорода во впускном трубопроводе. Обратные проскики пламени во впускной трубе недопустимы, поскольку они приводят к существенному усилению межциклового неустойчивости работы двигателя, что повышает жесткость его работы, а также вызывает значительный рост тепловых и механических нагрузок на детали цилиндропоршневой группы.

Очевидно, что конвертирование двигателя изменяет условия протекания теплообмена на поверхностях деталей, образующих камеру сгорания. При переводе дизеля на водород меняется конструкция поршня, поскольку самовоспламенение водорода при сжатии в цилиндре двигателя требует повышения его степени сжатия в сравнении с базовым дизелем [1, 4, 5]. Таким образом, становится актуальным определение тепловых нагрузок на основные

детали камеры сгорания дизеля при его конвертации.

Целями данной работы являются моделирование и сравнительный анализ нестационарного теплообмена в водородном дизеле с непосредственным впрыском газообразного водорода и в его базовом варианте с непосредственным впрыском традиционного дизельного топлива.

Моделирование локальных и суммарных, усредненных по площади, тепловоспринимающих поверхностей, тепловых потоков в стенке камер сгорания базового и водородного дизелей проводилось с применением 3D-CRFD кода FIRE [6]. Так как теплообмен в камере сгорания не только следствие, но и часть рабочего цикла, его исследование требует предварительного детального расчета локальных термо- и газодинамических параметров рабочего процесса двигателя.

Вопросы моделирования процессов смесеобразования, сгорания и образования вредных веществ в базовом и водородном дизелях, а также верификации применяемых

Основные параметры водородного и базового дизелей

Параметры	Двигатель	
	Дизель	Водородный дизель
Ход поршня/диаметр цилиндра, мм/мм	300/240	300/240
Низшая теплота сгорания, МДж/кг	42,5	120
Угол опережения впрыскивания, °ПКВ до ВМТ	15	15
Продолжительность впрыскивания, °ПКВ	20	40
Максимальное давление впрыскивания, МПа	67	30
Степень сжатия	13,5	16,8
Степень повышения давления в компрессоре	2	1,6
Цикловая подача топлива, г/цикл	0,9	0,38
Эффективная мощность N_e при $n=800$ мин ⁻¹ , кВт	100	93

математических моделей подробно изложены в работах, проведенных в МГТУ им. Н.Э. Баумана [2, 5, 7, 8]. Технические данные исследуемых дизелей, а также пример разбивки объема камеры сгорания на отдельные контрольные объемы приведены в [5]. Численное интегрирование системы фундаментальных уравнений нестационарного переноса, усредненных по методу Фавра [2], осуществлялось совместно с $k-\epsilon$ -моделью турбулентности и уравнениями химической кинетики [6].

Для сравнительного анализа процессов теплообмена в базовом одноцилиндровом дизеле и его конвертированном на водород варианте были обеспечены соизмеримые значения эффективных мощностей ($\Delta N_e \leq 10\%$) в обоих двигателях, прежде всего, подбором цикловых подач водорода и дизельного топлива с учетом их низшей теплоты сгорания (таблица) [5].

Анализ процессов нестационарного теплообмена водородного и традиционного дизелей

Теплообмен в цилиндре поршневого двигателя зависит от множества факторов, среди которых основные – это локальные температуры рабочего тела и толщина

тепловых пограничных слоев на стенках камеры сгорания. Существенное значение имеет учет реального (турбулентный) характера течения в пограничном слое. В цилиндре двигателя турбулентный характер

наиболее интенсивный теплообмен со стенками протекают в основном при нахождении поршня вблизи ВМТ, когда движение рабочего тела носит струйный характер, и происходит активное перетекание рабочего тела между основным объемом камеры сгорания в поршне и надпоршневым зазором [9]. При сгорании вследствие значительного роста температур и давлений рабочего тела основная часть нагретого газа перемещается из надпоршневого объема в камеру в поршне, при этом горячий газ натекает на поверхность камеры и образует вихревое движение внутри нее.

Как правило, в этом случае интенсивность теплообмена (рис. 1) существенно зависит от формы выемки в поршне, а именно наличия

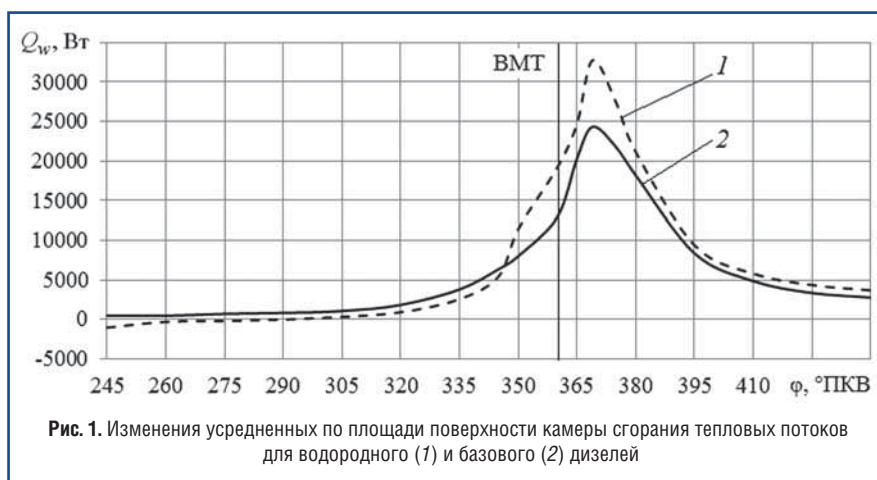


Рис. 1. Изменения усредненных по площади поверхности камеры сгорания тепловых потоков для водородного (1) и базового (2) дизелей

течения обусловлен сложной формой камеры сгорания, существенным изменением внутреннего объема цилиндра вследствие движения поршня к верхней мертвой точке (ВМТ) при сжатии и от верхней мертвой точки при расширении, а также процессами образования локальных очагов сгорания и горением топливовоздушной смеси. Сгорание, тепловыделение и

скругления в месте сопряжения камеры в поршне с плоской поверхностью огневого днища, а также от формы вытеснителя. С этой точки зрения камера типа Гессельмана

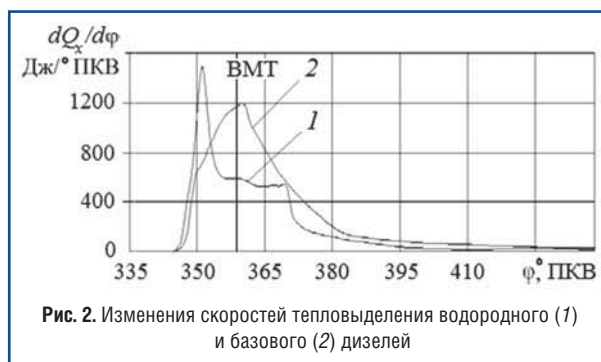


Рис. 2. Изменения скоростей тепловыделения водородного (1) и базового (2) дизелей

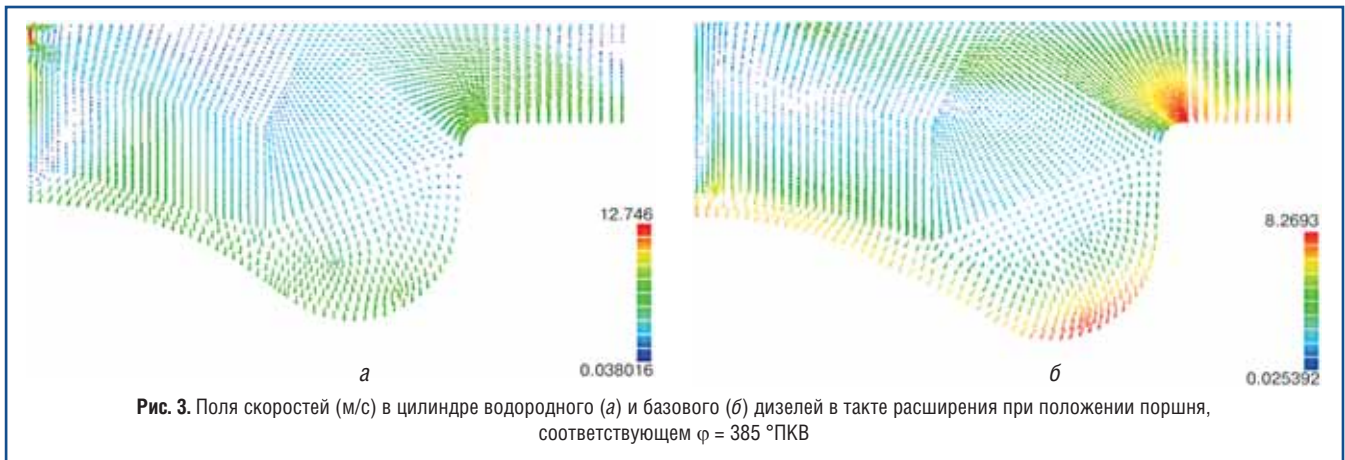


Рис. 3. Поля скоростей (м/с) в цилиндре водородного (а) и базового (б) дизелей в такте расширения при положении поршня, соответствующем $\varphi = 385^\circ$ ПКВ

обеспечивает достаточно благоприятные условия работы.

Несмотря на то, что в водородном дизеле нарастание скорости тепловыделения $dQ_x/d\varphi$ происходит быстрее, чем в его дизельном прототипе (рис. 2) [5], однако по нарастанию скорости теплоотдачи $dQ_w/d\varphi$ такой большой разницы нет, что объясняется тепловой инерцией материала стенки камеры сгорания.

По этой же причине максимальная теплоотдача в обоих двигателях достигается примерно при $\varphi \approx 370^\circ$ ПКВ. Для серийного дизеля она достигает примерно 24 тыс. кВт, а для водородного аналога – 32,7 тыс. кВт. В целом (см. рис. 1) тепловой поток, переданный на поверхность камеры сгорания (КС), в водородном дизеле больше, чем в базовом. Для объяснения этого факта были проанализированы изменения усредненных по объему цилиндра температур рабочего тела. Заметим, что их значения в течение всего цикла в водородном дизеле оказываются сравнимы с аналогичными значениями параметров в базовом двигателе. Исключение представляет только промежуток времени, в течение которого усредненные по объему камеры сгорания температуры максимальны, что соответствует примерно $368...377^\circ$ ПКВ.

Скорость распространения фронта пламени при сгорании водорода в несколько раз больше, чем при

сгорании дизельного топлива. Скорость перемещения рабочего тела в цилиндре, особенно в процессе сгорания, больше также в водородном дизеле. При этом в основном происходит перетекание потока из надпоршневого объема в камеру, расположенную в поршне, и максимальные локальные скорости приходится на зону кромки поршня (рис. 3а,б), достигая 8,3 м/с для базового и 12,7 м/с для водородного дизеля. Превышение скоростей потока в водородном двигателе в 1,5 раза по сравнению с серийным аналогом должно интенсифицировать конвективный теплообмен в камере сгорания водородного дизеля. При этом интенсификация должна быть заметнее при нахождении поршня в области верхней мертвой точки, то есть в процессе сгорания, что и подтверждается графиками (см. рис. 1).

В камере сгорания водородного дизеля отсутствуют твердые части-

цы сажи, играющие существенную роль в теплообмене и являющиеся основными генераторами теплового излучения. В этом случае лучистый тепловой поток в КС практически отсутствует, если не считать излучения продукта сгорания (водяной пар), которое, как и излучение других газов, – селективное, и его доля в результирующем тепловом потоке незначительна [9]. При сгорании гетерогенной смеси дизельного топлива и воздуха, происходящем в базовом дизеле, доля теплового излучения в результирующем тепловом потоке существенна [7, 9, 10].

Сравнительный анализ тепловых нагрузок на отдельные детали камеры сгорания водородного и традиционного дизелей

Характер теплоотдачи от рабочего тела в отдельные детали двигателя в камерах сгорания водородного

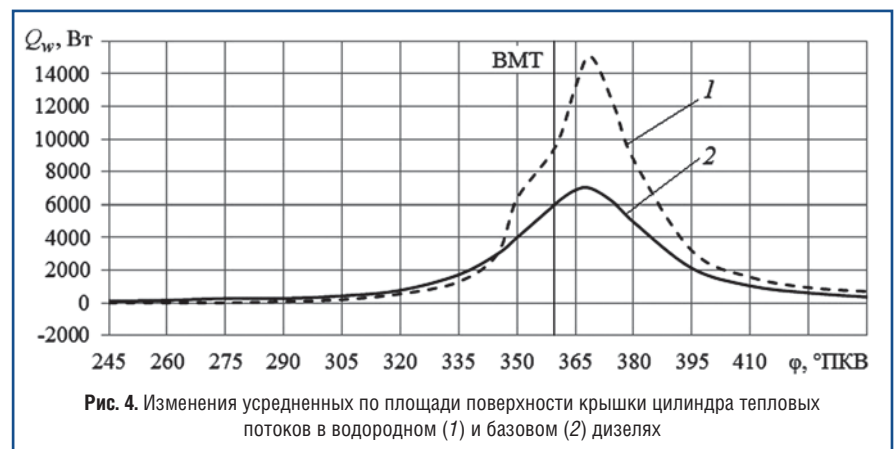


Рис. 4. Изменения усредненных по площади поверхности крышки цилиндра тепловых потоков в водородном (1) и базовом (2) дизелях

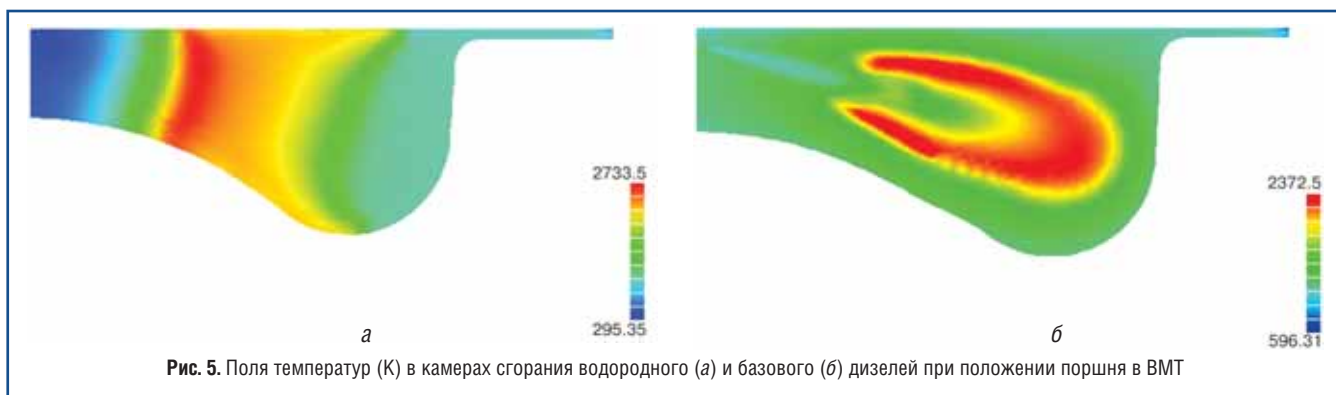


Рис. 5. Поля температур (К) в камерах сгорания водородного (а) и базового (б) дизелей при положении поршня в ВМТ

и базового дизелей несколько отличается от результатов, приведенных на рис. 1, тем не менее крышка цилиндра водородного дизеля термически также более нагружена, чем крышка цилиндра базового дизеля

препятствуют теплообмену между рабочим телом и поверхностью крышки цилиндра, а высокотемпературные очаги сгорания оказываются сосредоточены в зоне распространения факела и находятся

вывод, что в камерах сгорания обоих двигателей тепловые потоки в стенки не имеют существенных отличий, за исключением небольшого интервала в области $\varphi=355$ °ПКВ. Увеличение отдачи теплоты при горении водорода в этом интервале значений углов можно объяснить всплеском тепловыделения на этом участке диаграммы (см. рис. 2).

Теплоотдача на поверхности гильзы цилиндра (рис. 7) по своей динамике отличается от процессов теплоотдачи на крышке цилиндра (см. рис. 4) и на поршне (см. рис. 6). Действительно, в области верхней мертвой точки количество теплоты, переданной на поверхность гильзы, явно уменьшается (см. рис. 7), тогда как на другие детали в этой же области переданное количество теплоты растет. Это вызвано уменьшением площади теплообмена между рабочим телом и гильзой при приближении поршня к верхней мертвой точке, что приводит к снижению тепловых потерь.

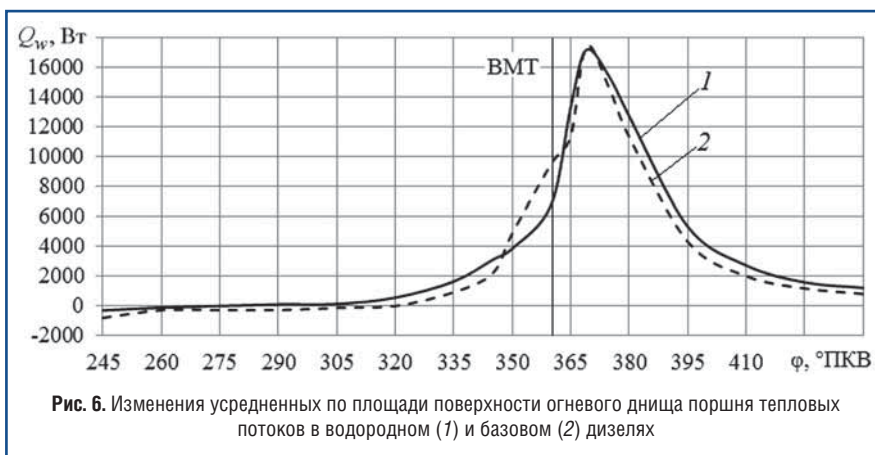


Рис. 6. Изменения усредненных по площади поверхности огневого днища поршня тепловых потоков в водородном (1) и базовом (2) дизелях

(рис. 4). Первая причина этого заключается в том, что интенсификация конвективного теплообмена, связанная с локальной скоростью в пристеночных зонах, существеннее в водородном дизеле (см. рис. 3). Кроме того, из-за быстрого сгорания водорода высокотемпературные газы (пламя) еще в области верхней мертвой точки охватывают практически весь объем камеры и оказывают тепловую нагрузку на поверхность крышки цилиндра (рис. 5а).

В камере базового дизеля к этому же моменту времени между горячей смесью дизельного топлива с воздухом и поверхностями поршня, а также крышки цилиндра еще остаются несгоревшие газы, значительная часть которых – воздух. Они

относительно далеко от поверхности крышки (рис. 5б). В результате получаем картину, представленную на рис. 4.

Анализируя процессы теплоотдачи от рабочего тела на огневом днище поршня (рис. 6) можно сделать

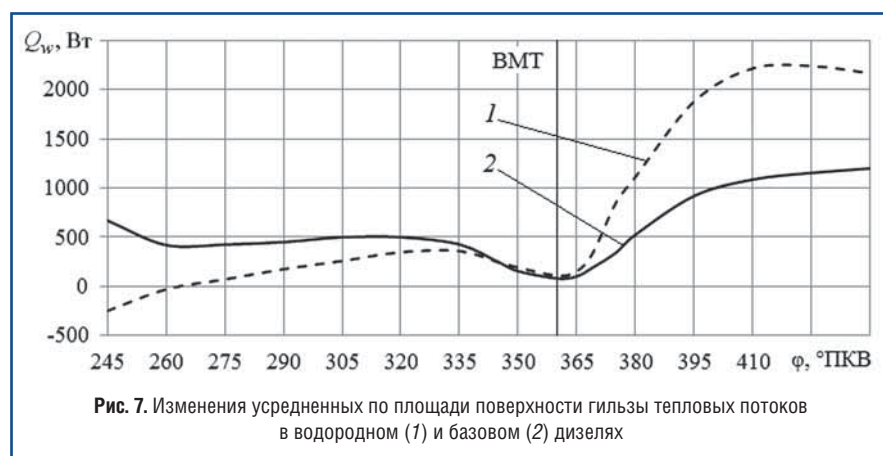
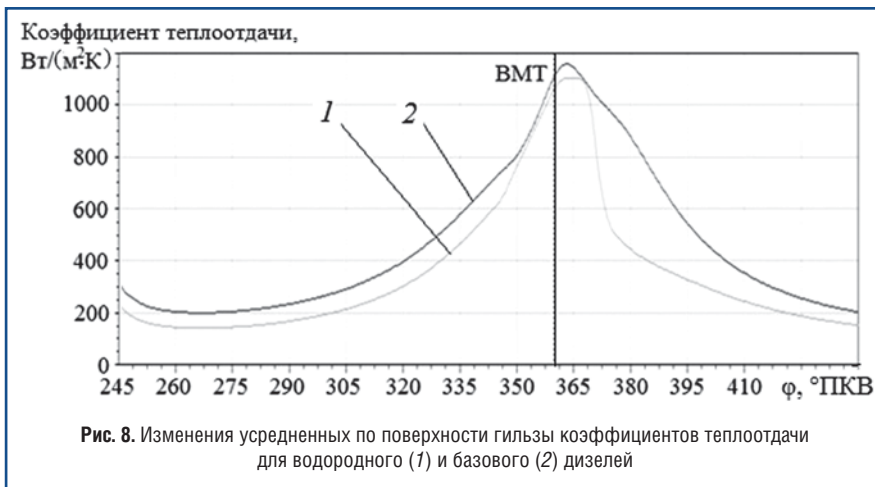


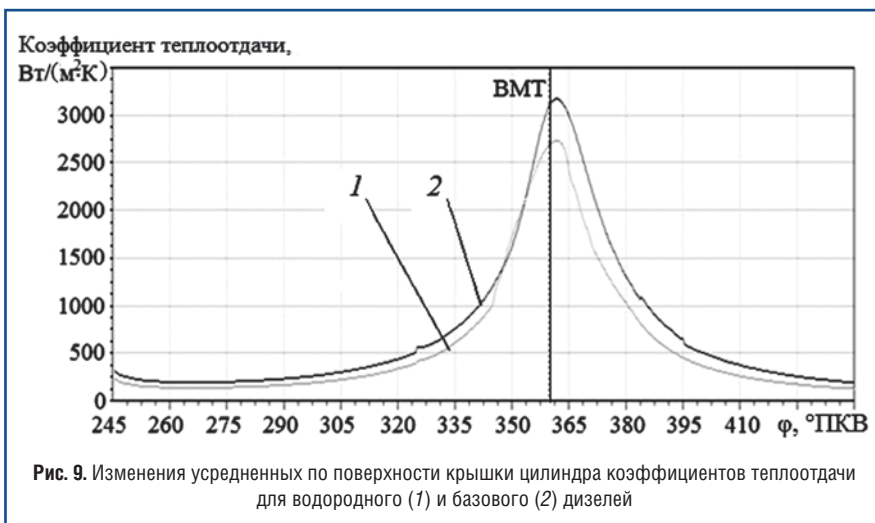
Рис. 7. Изменения усредненных по площади поверхности гильзы тепловых потоков в водородном (1) и базовом (2) дизелях



Как видно (см. рис. 7), в области верхней мертвой точки значения теплоотдачи водородного и серийного дизелей максимально приближены друг к другу. Следует подчеркнуть, что в этой области более высокими скоростями тепловыделения (см. рис. 2) и соответственно более интенсивной конвекцией отличается водородный дизель, а температуры рабочего тела при горении дизельного топлива выше, чем при горении водорода. Эти противоположно действующие факторы приводят к выравниванию количеств переданной гильзе теплоты в этой области (см. рис. 7), что подтверждается графиками изменения коэффициентов теплоотдачи, определяющих интенсивность теплового взаимодействия омывающей среды

(газ) с поверхностью тела (рис. 8). Коэффициент теплоотдачи базового дизеля достигает максимума при $\phi = 362^\circ$ и приблизительно на $3-4^\circ$ опережает достижение максимума коэффициентом теплоотдачи при работе на водороде.

Коэффициент теплоотдачи на поверхности крышки цилиндра для базового дизеля выше, чем для водородного (рис. 9). Однако количество теплоты, переданной крышке за единицу времени, выше в водородном дизеле (см. рис. 4). Это обусловлено тем, что температуры газа в пристеночных областях поверхности крышки в водородном дизеле выше, чем аналогичные температуры в базовом дизеле. Температурные поля (см. рис. 5) подтверждают этот факт.

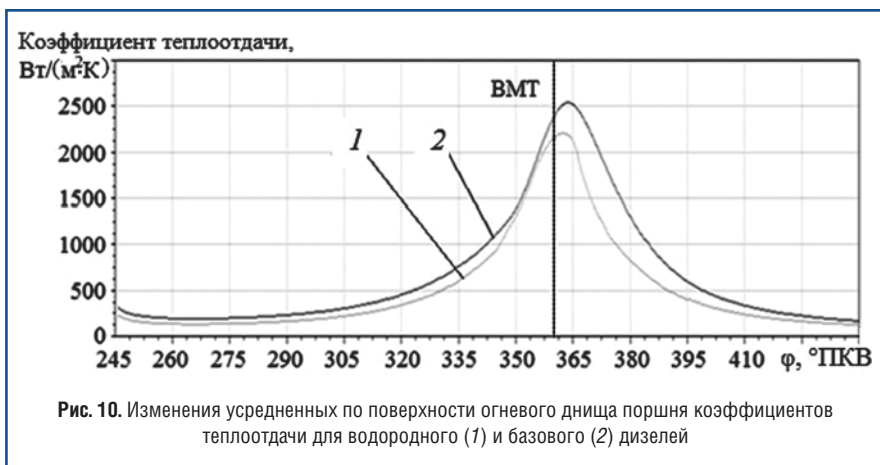


При почти одинаковых значениях отданной поршню теплоты в исследуемых двигателях (см. рис. 6) коэффициент теплоотдачи в водородном двигателе становится меньше (рис. 10), что можно, как в предыдущем случае, объяснить повышением температуры газа в пристеночных областях поверхности поршня в случае горения водорода по сравнению с базовым дизелем (см. рис. 5).

Анализ величин среднего коэффициента теплоотдачи показывает, что процессы нестационарного теплообмена в камерах сгорания обоих двигателей протекают схожим образом. В целом тепловые потоки в камере сгорания базового дизеля (см. рис. 1) меньше, чем в камере сгорания водородного, несмотря на то, что первый обладает более высокой (на 7 кВт) мощностью по сравнению со вторым (см. таблицу).

Таким образом, проведенные исследования показали рост тепловых нагрузок на детали камеры сгорания дизеля при его работе на водороде. Особенно тепловые потоки растут на поверхностях крышки и гильзы цилиндра, что свидетельствует о необходимости интенсифицировать теплоотвод от этих деталей для сохранения ресурса их работы. При этом на поршне тепловые нагрузки практически не меняются, что позволяет сделать вывод об отсутствии необходимости внесения каких-либо дополнительных изменений в его конструкцию, помимо уменьшения объема камеры в поршне с сохранением ее формы.

Проведенные исследования позволяют заключить, что конвертация серийных дизелей в дизели с впрыскиванием газообразного водорода в камеру сгорания приводит к существенному изменению условий теплообмена на теплонапряженных



поверхностях камеры сгорания таких двигателей, поскольку при этом меняются как физико-химические характеристики топлива, так и геометрические параметры самой камеры сгорания.

Значительные отличия в полях скоростей и температур рабочего тела за цикл в базовом и водородном дизелях на сходных режимах

работы приводят к существенной разнице и в величинах локальных тепловых потоков на поверхностях камеры сгорания. Подача водорода в газообразном состоянии ускоряет смесеобразование, что в совокупности с большей скоростью распространения фронта пламени приводит к быстрому охвату им всего объема камеры сгорания. В то

же время в дизеле воспламенение и сгорание дизельного топлива сосредоточены в области наружной поверхности (воспламенение) и конуса (сгорание) топливных факелов.

Такой характер воспламенения и сгорания в водородном дизеле приводит к росту тепловых нагрузок на детали камеры сгорания. Наиболее значительный рост отмечается на поверхностях крышки и гильзы цилиндра, что свидетельствует о необходимости интенсифицировать теплоотвод от этих деталей для сохранения ресурса их работы. В то же время тепловые нагрузки, усредненные по поверхности огневого днища поршня, практически не меняются.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 12-08-00702а).

Литература

- 1. Кавтарадзе З.Р., Кавтарадзе Р.З.** Перспективы применения поршневых двигателей на альтернативных моторных топливах // Транспорт на альтернативном топливе, часть 1: 2009. – № 6 (12). – С. 59-65; часть 2: 2010. – № 1 (13). – С. 74-80.
- 2. Кавтарадзе Р.З.** Теплофизические процессы в дизелях, конвертированных на природный газ и водород. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. – 238 с.
- 3. Rottengruber H., Wiebicke U., Woschni G., Zeilinger K.** Wasserstoff-Dieselmotor mit Direkteinspritzung, hoher Leistungsdichte und geringer Abgasemission. Teil 3: Versuche und Berechnungen am Motor. MTZ, N2. – 2000. – S.122-128.
- 4. Кавтарадзе Р.З.** Рабочие процессы водородного дизеля и улучшение его экологических показателей // Транспорт на альтернативном топливе. – 2012. – № 2 (26). – С. 61-64.
- 5. Кавтарадзе Р.З., Зеленцов А.А., Краснов В.М., Климова Е.В.** Исследование локального образования оксидов азота в водородном дизеле // Транспорт на альтернативном топливе. – 2013. – № 2 (32). – С. 34-40.
- 6. FIRE. Users Manual. Version 2010.** AVL List GmbH Graz, Austria, 2010. (License Agreement for Use of the Simulation Software AVL FIRE between Moscow State Technical Univ. n.a. N.E. Bauman and AVL List GmbH, 2011).
- 7. 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. – P. 4308-4316.
- 8. Кавтарадзе Р.З., Зеленцов А.А., Онищенко О.Д., Финкельберг Л.А., Костюченков А.Н.** Моделирование процессов переноса, сгорания и образования оксидов азота в авиационном поршневом двигателе с дублированной системой зажигания // Известия РАН. Энергетика. – 2012. – № 6. – С. 135-152.
- 9. Кавтарадзе Р.З.** Локальный теплообмен в поршневых двигателях (второе издание). – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. – 472 с.
- 10. Natriashvili T., Glonti M., Kavtaradze R., Kavtaradze Z., Zelentsov A.** Solutions of Some Problems of Improvement of Ecological Characteristics of the Diesel Engine Converted in the Gas Engine // Problems of Mechanics. – 2010. – N 1 (38). – P. 13-28.

Экспериментальная проверка технологий заправки криогенных бортовых топливных систем

С.П. Горбачев, профессор, главный научный сотрудник ООО «Газпром ВНИИГАЗ», д.т.н.,
К.И. Кириенко, младший научный сотрудник ООО «Газпром ВНИИГАЗ»

Представлены результаты экспериментальных исследований по заправке криогенных бортовых топливных систем жидким азотом и сжиженным природным газом. Описано несколько технологий заправки и проведено сравнение полученных результатов с расчетными моделями процессов.

Ключевые слова: криогенная бортовая топливная система, сжиженный природный газ, бездренажная заправка, технология заправки.

Обработка технологии заправки автотранспортных средств сжиженным природным газом (СПГ) и проверка достоверности методов расчета процессов заправки – таковы были цели экспериментальной работы, проведенной авторами. Теоретические модели заправки криогенного резервуара с открытым газосбросом при подаче жидкости сверху на уровень жидкости и снизу под уровень жидкости, а также модель бездренажной заправки резервуара с закрытым газосбросом предложены в работе [1] на основе первого закона термодинамики для открытых систем.

В процессе экспериментов были определены длительность заправки криогенного бака сжиженным природным газом и жидким азотом, а также характер изменения давления в баке при заправке (рис. 1).

Экспериментальная установка позволяет проводить заправку баков сверху и снизу с помощью насоса и методом передавливания, с открытым или закрытым дренажем, а также с соединенными паровыми пространствами питающего резервуара и заправляемого бака.

На первом этапе заправка проводилась методом передавливания

криогенной жидкости из питающего резервуара 1 через трубопровод 3 в криогенный бак 9, на втором этапе для заправки использовался специальный криогенный центробежный

насос 4 с подачей около 4 м³/ч жидкости. После окончания заправки теплого бака с начальной температурой его стенок около 300 К жидкость из бака 2 передавливанием

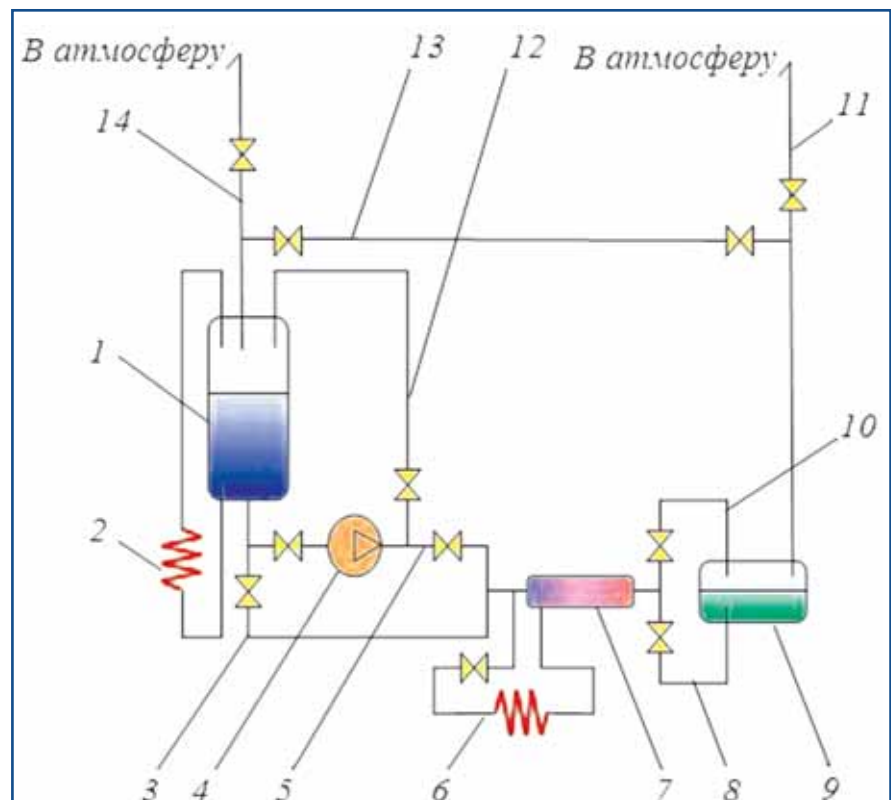


Рис. 1. Блок-схема экспериментальной установки:

1 – питающий резервуар; 2 – испаритель самонадува питающего резервуара; 3 – линия выдачи жидкости методом передавливания; 4 – криогенный насос; 5 – линия выдачи жидкости с помощью насоса; 6 – испаритель подогревателя; 7 – подогреватель жидкости; 8 – линия заправки КБТС снизу; 9 – криогенный бак; 10 – линия заправки КБТС сверху; 11 – дренаж криогенного бака; 12 – байпасная линия насоса; 13 – линия циркуляции пара; 14 – дренаж питающего резервуара



Рис. 2. Общий вид экспериментальной установки на СПГ

возвращалась обратно в расходный резервуар 1, и проводилась заправка холодного бака с температурой стенок, близкой к температуре насыщенной жидкости. После нескольких холодных заправок бак опорожнялся и отогревался в течение нескольких суток. Затем серия экспериментов повторялась.

Масса жидкости в баке измерялась весовым способом на электронных весах, температура – платиновыми термометрами сопротивления, давление – датчиком давления ДИ-16 ГИ и манометрами.

Криогенная бортовая топливная система (КБТС) производства ЗАО «НПФ «ЭКИП» представляет собой горизонтальный криогенный бак с диаметром внутреннего сосуда 0,447 м, длиной 1,147 м (объем 180 л), толщиной стенки 0,003 м, материалом внутреннего сосуда которого является сталь 12Х18Н9Т. Основные технологические операции, обеспечиваемые КБТС, и ее технологическая схема рассмотрены в [2]. Преимущественный способ заправки бака – сверху, однако имеется возможность организовать нижнюю заправку через трубопровод подачи жидкости на испаритель-регазификатор. Бак имеет собственный

испаритель самонаддува, что позволяло повышать давление в нем выше, чем в расходном резервуаре при сливе жидкости обратно в резервуар.

В процессе экспериментов (рис. 2) варьировались расход жидкости за счет повышения давления в расходном резервуаре и ее температура на входе в бак за счет подогрева жидкости в специальном теплообменнике жидкость–газ.

Были проведены заправки теплого бака сверху и снизу с открытым газосбросом, а также бездренажная заправка холодного бака. Причем оценки показывают, что при содержании в баке жидкости менее 5 % общего объема бак можно считать теплым.

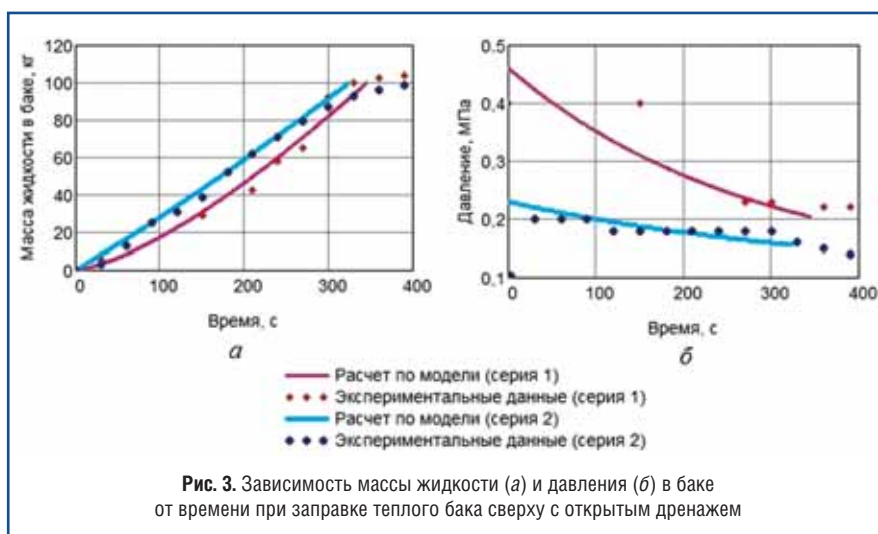
В процессе экспериментов не удалось провести идентичные заправки, так как после каждого опыта приходилось сливать прогретую жидкость из КБТС обратно в питающий резервуар, что нагревало заправляемую жидкость. Теплый бак заправлялся один раз в 7-8 дней, для того чтобы после испытаний он мог полностью отогреться. Температура подаваемой жидкости существенно влияет на параметры заправки – давление в баке и длительность заправки. При сильных перегревах заправка останавливается из-за значительного роста давления в баке.

Экспериментальные данные сравнивались с расчетными, полученными с помощью термодинамических моделей, предложенных в работе [1].

Заправка теплого бака сверху с открытым дренажем

Серия 1. Абсолютно пустой бак заправлялся жидким азотом из резервуара, давление в котором составляло 0,45 МПа. До 100 кг бак заправляли за 330 с (рис. 3а). Давление в баке уменьшалось с 0,4 до 0,22 МПа без скачков, однако в течение первых 150 с давление держалось постоянным и равным 0,4 МПа (рис. 3б).

Серия 2. Абсолютно пустой бак заправлялся жидким азотом из



резервуара, давление в котором составляло 0,4 МПа. До 100 кг бак заправили за 400 с (см. рис. 3а). Давление в баке выросло с 0,1 до 0,2 МПа, а затем уменьшалось до 0,13 МПа без скачков (см. рис. 3б).

Следует отметить, что при верхней теплой заправке с открытым дренажем не наблюдалось первого этапа – захлаживания стенок бака, причем теоретические расчеты также не показывали наличие этого этапа. Эксперименты проводились при различных, однако, близких условиях. Кривые зависимости массы жидкости в баке от времени имеют похожий характер и неплохо согласуются с теорией. Наблюдается пологий участок в конце заправки, связанный с работой уровнемера бака, который сдерживал дальнейшее поступление жидкости.

Несмотря на все процессы, происходящие при заправке, длительность заполнения бака хорошо согласуется с расчетным временем заправки. Для удобства сравнивалась длительность накопления жидкости до 100 кг. В серии 1 она составила 330 с, а расчетное время 345 с, то же наблюдается и при испытаниях для серии 2: 400 с дает эксперимент и 350 с – теоретическое расчетное время заправки.

Наблюдается удовлетворительное согласование между теоретическим и экспериментальным характерами протекания заправки. Однако теоретическая зависимость для давления не описывает подробно пик давления в начале заправки, но позволяет его оценить.

Можно сделать вывод об адекватности методики расчета процессов заправки теплового бака сверху с открытым дренажем. Модель не описывает все реальные условия, однако позволяет оценить длительность заправки и давление в баке в процессе заправки.

Заправка теплового бака снизу с открытым дренажем

Серия 3. Бак с остатком жидкости 4,1 кг (3,15 %) заправлялся жидким азотом из резервуара, давление в котором составляло 0,74 МПа. Накопление жидкости проходило почти линейно (рис. 4а). Во время заправки термометр зафиксировал температуру жидкости 82 К. Давление в баке уменьшалось с 0,42 до 0,14 МПа без скачков (рис. 4б). До 100 кг бак заправили за 222 с.

Серия 4. Заправка жидким азотом осуществлялась из резервуара, давление в котором составляло 0,72 МПа. Остаток жидкости в баке 7,5 кг (5,1 %). Температура в процессе заправки составляла 84 К. Давление в баке уменьшалось с 0,5 до 0,16 МПа (см. рис. 4б). До 100 кг бак заправили за 230 с.

Характер изменения параметров при нижней заправке теплового бака отличается от параметров расчетной модели [1]. Процессы для этого способа заправки удовлетворительно описываются моделью для расчета заправки сверху. Возможно, это связано с тем, что заправка снизу проводилась через трубопровод отбора газа в двигатель, а не через предназначенный для этих целей вход ввиду его отсутствия. Таким образом,

в теплообмене участвует не только часть стенки бака, находящаяся в контакте с жидкостью, а вся его внутренняя поверхность. Можно сделать предположение, что модель, разработанная для расчета заправки снизу, подходит для более крупных резервуаров. Однако экспериментально модель на больших резервуарах не проверялась.

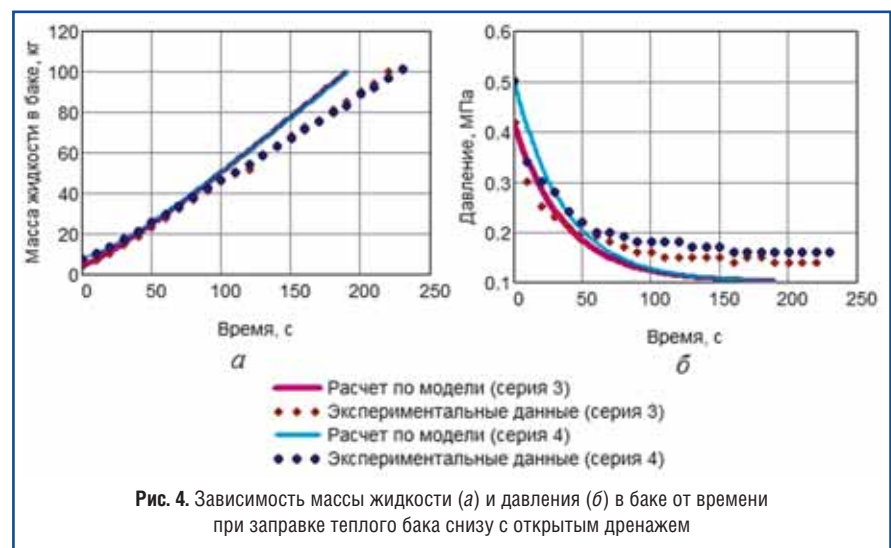
Можно отметить, что в испытаниях серий 3 и 4 при нижней заправке с открытым дренажем поступление жидкости в бак монотонное, практически линейное, без скачков. Характер изменения давления в баке аналогичен. Длительность заправки для серии 3 в эксперименте составила 222 с, расчетное время – 190 с, для серии 4 эксперимент и расчет соответственно – 230 и 190 с.

Особое внимание необходимо уделять конструктивным особенностям заправляемого бака, в частности, организации входа жидкости в бак.

Данная серия экспериментов имеет хорошую воспроизводимость результатов.

Бездренажная заправка холодного бака сверху

Серия 5. Бак с остатком жидкости 11,5 кг (8,8 %) заправлялся жидким азотом из резервуара, давление



в котором было 0,52 МПа (рис. 5а). Давление в баке уменьшалось с 0,25 до 0,2 МПа без скачков (рис. 5б). При захлаживании контура термометр показал температуру 78 К. За 195 с удалось заправить 96,5 кг жидкости.

Серия 6. Бак с остатком жидкости 7,98 кг (6,1 %) заправлялся жидким азотом из резервуара, давление в котором было 0,52 МПа (см. рис. 5а). Давление в баке за 50 с увеличилось с 0,1 до 0,31 МПа, а затем начало уменьшаться до 0,29...0,3 МПа (см. рис. 5б). Температура заправляемой жидкости составляла 87 К. Бак заправлялся до 95 кг за 200 с. Дальнейшее заполнение сдерживалось уровнемером бака.

Как показано в работе [1], при бездренажной заправке конечное давление в сосуде может как увеличиваться, так и снижаться по отношению к начальному в зависимости от температуры жидкости на входе. В первом случае рост давления в сосуде из-за уменьшения объема пара при заправке превышает снижение давления из-за конденсации пара. Во втором случае имеет место обратная картина. Граничная температура жидкости, при которой давление в сосуде в процессе заправки остается постоянным, для данного случая составляет 84,5 К. Поэтому давление

в серии 5 уменьшается, а в серии 6 возрастает. В конце заправки зависимость давления от времени выходит на постоянное значение.

Длительность заправки до 95 кг в серии 5 составила 195, в серии 6 – 200 с, что говорит об удовлетворительной воспроизводимости результатов экспериментов. В то же время длительность заливок в экспериментах на 30...40 % больше, чем при расчете по термодинамическим моделям (146 и 157 с для серий 5 и 6 соответственно). Расхождение обусловлено тем, что в теоретических моделях предполагается термодинамическое равновесие между жидкостью и паром, тогда как на практике имеет место конечное значение коэффициента теплоотдачи между жидкостью и паром в объеме сосуда. Кроме того, необходимо учитывать, что при поступлении жидкости в бак возможно ее вскипание.

Серия 7. Бездренажная заправка бака с остатком жидкости 3,8 кг (6,3 %) проводилась сжиженным природным газом (рис. 6а) из питающего резервуара, давление в котором было 0,75 МПа. Давление в баке за 60 с увеличилось с 0,45 до 0,6 МПа и далее оставалось постоянным (рис. 6б). Во время заправки термометр зафиксировал температуру

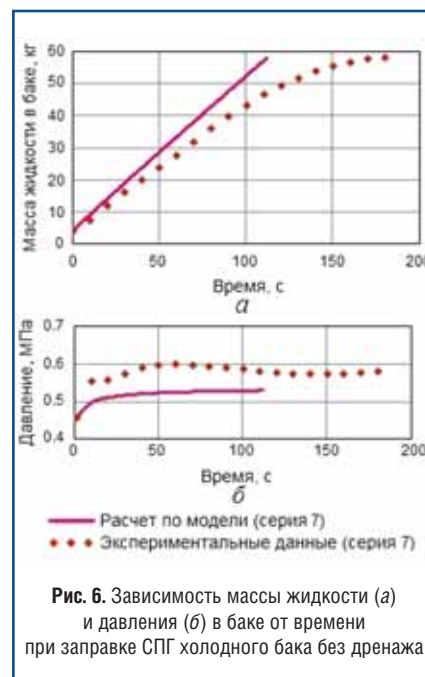


Рис. 6. Зависимость массы жидкости (а) и давления (б) в баке от времени при заправке СПГ холодного бака без дренажа

жидкости 136 К. Бак заправлялся до 58 кг за 180 с, расчетное время составляет 113 с.

Бездренажная заправка бака сжиженным природным газом проходила аналогично заправке жидким азотом, характер изменения основных параметров качественно совпадает, длительности заливок близки. Граничная температура СПГ, при которой давление в резервуаре в процессе заправки остается постоянным, для данной серии составляет 130,4 К.

Результаты экспериментов показывают качественное согласование характеристик с расчетами по равновесной термодинамической модели, но длительность заправки в экспериментах в 1,3...2 раза больше теоретического значения, что, очевидно, обусловлено нарушением условий термодинамического равновесия. Модель не учитывает реальный теплообмен жидкости и пара со стенкой, жидкости с паром, а также возможное вскипание жидкости в магистралях подающих коммуникаций и баке из-за снижения давления, если жидкость имеет малый недогрев – эффект вскипания. Таким образом, при описании процесса бездренажной

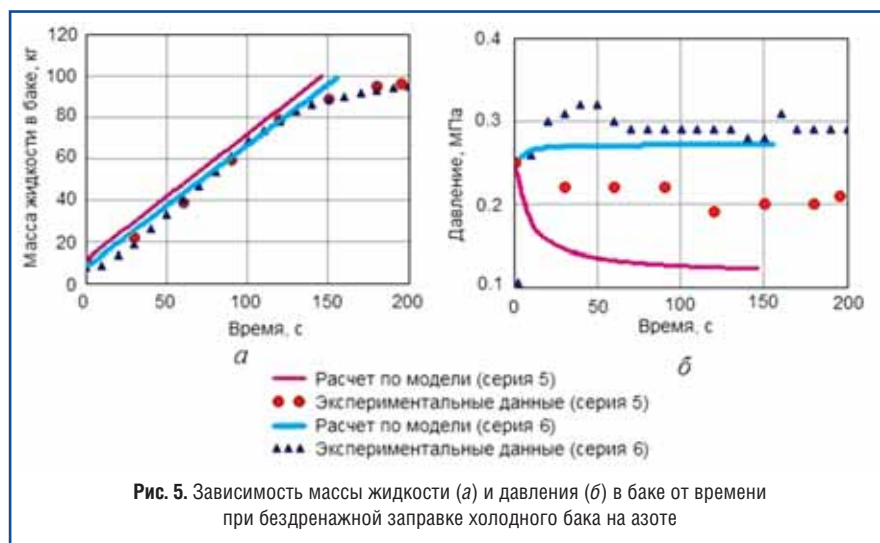


Рис. 5. Зависимость массы жидкости (а) и давления (б) в баке от времени при бездренажной заправке холодного бака на азоте

заправки холодного бака необходимо учитывать воздействие реальных факторов.

Заправка теплого бака без выбросов газа в атмосферу

При циклической заправке теплого бака в первой фазе осуществлялась подача жидкости в бак, во второй – сброс пара из бака. К данному виду заправки теоретического описания нет, однако ее удалось реализовать на практике.

Серия 8. Бак абсолютно пустой, температура стенок равна температуре окружающей среды (300 К). Давление в питающем резервуаре 0,3 МПа. За 60 с давление в баке выросло почти до 1 МПа (0,96 МПа), после чего насос был отключен, и производился сброс давления из бака до 0,25 МПа в течение 290 с (рис. 7а). Причем непосредственное падение давления происходило в течение 100 с, остальное время обусловлено повторным захлаживанием контура заправки. Далее идет обычная бездренажная заправка холодного бака, время которой составило 130 с. Накопление массы во второй фазе происходило линейно без задержек (рис. 7б). Температура подаваемой жидкости в первой и второй фазах была 87...88 К. Давление в конце заправки 0,43 МПа. Общее время

заправки (по однолинейной схеме) составило 480 с.

Серия 9. Остаток жидкости в баке составил 1,9 кг (0,015 %). Давление в питающем резервуаре 0,3 МПа, давление за насосом 1,0 МПа. За 30 с после начала заправки давление в баке выросло до 1,0 МПа, после чего был открыт газосброс (см. рис. 7а). Снижение давления до величины 0,29 МПа длилось 90 с и в течение 690 с почти не изменялось. Такая длительность процесса также связана с повторным захлаживанием коммуникаций подачи жидкости, после которого заправка была продолжена. Накопление массы происходило идентичным образом, что и в серии 8 (см. рис. 7б). Вторая фаза длилась 120 с, и бак был заправлен до 100 кг. Температура заправляемой жидкости была 90 К в первой фазе и 87 К во второй. Общая продолжительность заправки 870 с. Давление в конце заправки 0,5 МПа.

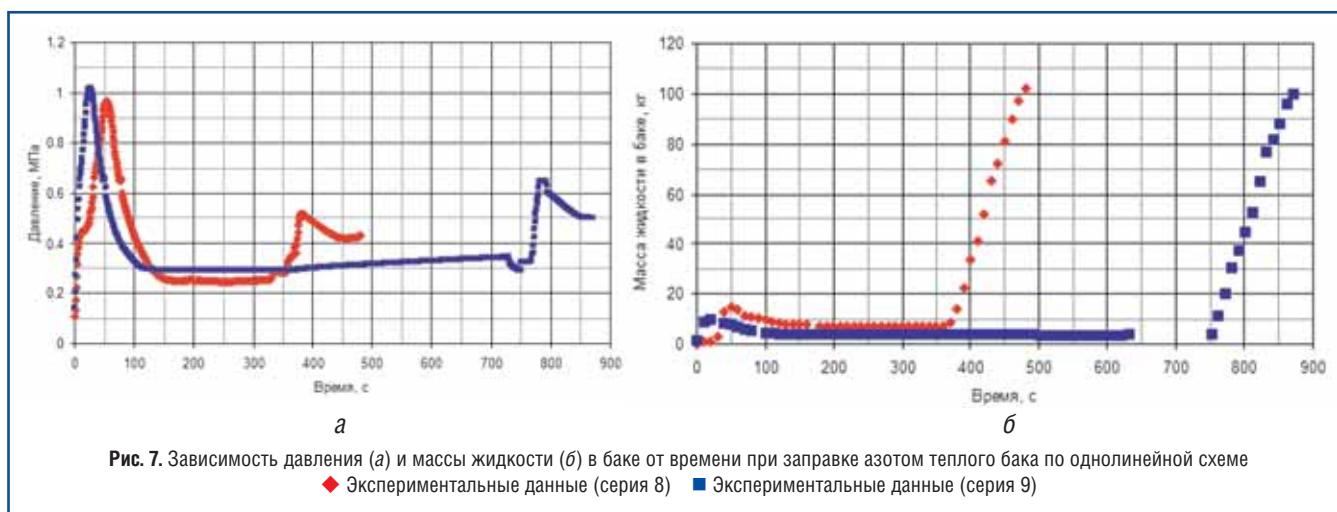
Характер изменений всех параметров одинаков, различие составляет время повторного захлаживания коммуникаций, но это проблема не процессная, а технологическая.

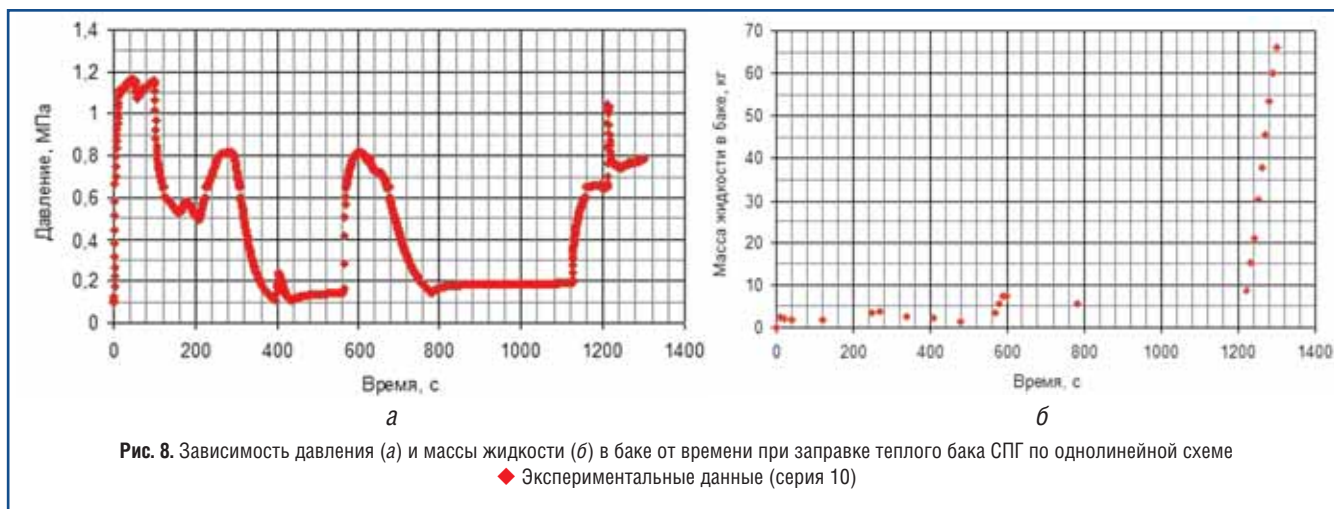
Серия 10. Эксперимент проводился на СПГ с абсолютно пустым теплым баком. Начальное давление составляло 0,1 МПа, давление в питающем резервуаре – 0,75 МПа, равновесное давление – 0,45 МПа. Насос работал

только в первой фазе. Сработал предохранительный клапан перед насосом, и было принято решение снизить давление в питающем резервуаре до 0,65 МПа. Однако из-за уменьшения недогрева жидкости повторно запустить насос не удалось. Для заправки методом передавливания давление в питающем резервуаре подняли до 0,85 МПа. За первые 40 с давление выросло с 0,1 до 1,16 МПа. Заправка прошла за семь фаз с тремя сбросами газа из бака, седьмая фаза проходила, как холодная бездренажная заправка (рис. 8). Давление в конце заправки было 0,78 МПа. Общая продолжительность заправки составила 1300 с.

В ходе экспериментов были подтверждены разработанные физико-математические модели. Некоторые из них нуждаются в уточнении, однако в целом модели удовлетворительно описывают процессы, происходящие в криогенном оборудовании, и могут быть использованы для анализа переходного процесса.

Эксперименты показали, что существенное влияние на конечное давление в баке и процесс заправки в целом оказывает температура подаваемой жидкости и гидравлическое сопротивление коммуникаций. Продемонстрирована возможность заправки теплого бака по однолинейной схеме без выбросов газа в атмосферу.





В результате испытаний было показано, что при заправке теплого криогенного бака объемом 180 л жидким азотом по двухлинейной схеме с открытым дренажем длительность процесса составляет 5...7 мин. Длительность однолинейной бездренажной заправки холодного бака составляет примерно 5 мин.

Литература

1. Горбачев С.П., Коледова К.И., Красноносова С.Д. Термодинамические модели заправки резервуара криогенной жидкостью // Технические газы. – 2011. № 5. – С. 32-40.
2. Горбачев С.П., Попов В.П. Современные криогенные бортовые топливные системы для автотранспорта на СПГ // Транспорт на альтернативном топливе. – 2008. – № 6 (6). – С. 66-69.
3. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей, Н.Б. Варгафтик. – М.: Наука, 1972 г. – 721 с.
4. Справочник по физико-техническим основам криогеники, под. ред. М.П. Малкова. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1985 г. – 432 с.

VITKOVICE
VITKOVICE CYLINDERS a.s.

Мировой лидер производства бесшовных стальных баллонов высокого давления для различного применения. Поставщик широкого ряда баллонов для сжатого натурального газа (CNG) и заправочных станций.

CNG баллоны

- производство цельнотянутых баллонов из заготовки (брусков)
- баллоны CNG облегченные с внешним диаметром до 406 мм
- соотношение емкость/вес 1 литр/0,9 кг
- соответствие стандартам ISO 11439; ECE R 110; NZS 5454; Sovenin 3226; ГОСТ 9731-79; ГОСТ 51753-2001
- Заводы-производители в Чехии, Польше, Аргентине

CNG газозаправочные станции

- для индивидуального пользования
- для производственного пользования
- для коллективного пользования

Применение баллонов

- для стационарных и мобильных систем (PED, TPED or ADR)
- рабочее давление 200, 250, 300, 330 бар и выше
- емкость несколько тысяч литров

VITKOVICE CYLINDERS a.s. tel. + 420 596 664 621 fax. + 420 596 664 629
Czech Republic, Europe e-mail: cng@vitkovicecylinders.cz
www.vitkovicecylinders.com

Представитель в России, член Национальной Газомоторной Ассоциации
ООО «EXITON GROUP», Москва, тел.(495) 781-26-95, факс (495) 781-26-96
E-mail: exitongroup@gmail.com

РЕКЛАМА

Модель прогнозирования потребления газового моторного топлива в населенном пункте

А.А. Евстифеев, начальник лаборатории ООО «Газпром ВНИИГАЗ»

Проанализированы факторы, влияющие на определение целесообразности и формы организации снабжения газовым моторным топливом потребителей в конкретном районе, области или населенном пункте. Предложена математическая модель прогнозной оценки изменения фактической потребности в газомоторном топливе.

Ключевые слова: газовое моторное топливо, снабжение потребителей, прогнозная математическая модель, сжиженный природный газ (СПГ), компримированный природный газ (КПГ).

Для определения целесообразности и формы организации снабжения газовым моторным топливом потребителей в конкретном районе, области или населенном пункте необходимо провести оценку текущего состояния автомобильного парка основных крупных потребителей, проанализировать маршруты движения и мощность потоков транзитных транспортных средств, состояние дорожной инфраструктуры, инженерных сетей и коммуникаций. К крупным потребителям относятся автотранспортные предприятия, выполняющие перевозки пассажиров и грузов на регулярной основе, то есть автобусные парки, автобазы почтовых компаний, технические службы аэропортов и базы сельскохозяйственной и специализированной техники.

В основе модели расчета надежности системы поставок газового моторного топлива потребителям лежит информация о фактическом состоянии парка газомоторной техники, дающая исходные прогнозные объемы потребления. Прогнозное потребление рассчитывается исходя из макроэкономических характеристик региона, наличия объектов промышленного назначения в стадии завершения строительства, нормативных и законодательных актов общегосударственного и регионального уровней. Данная работа является развитием математической модели анализа потребности в КПГ и СПГ на вновь газифицируемых территориях [1].

К основным исходным данным для модели прогнозирования объема потребления газового моторного топлива относятся следующие:

- количество и возраст транспортных средств на муниципальных автотранспортных предприятиях;

- государственные и региональные нормативные акты и уровень штрафных санкций за вредные выбросы в атмосферу;
- программы закупки транспортных средств в газовом исполнении.

В результате для определенного участка местности (область, район, город) с учетом дорожной инфраструктуры формируется перечень и численность транспортных средств и прочих потребителей газомоторного топлива.

Обозначим функции изменения стоимости единицы топлива во времени через $S_i(t) = \{S_{дт}(t), S_{Аи-95}(t), S_{КПГ}(t), S_{СПГ}(t)\}$. Официальную информацию об уровне цен можно получить из еженедельного статистического приложения к журналу «ТЭК России» центрального диспетчерского управления топливно-энергетического комплекса (ЦДУ ТЭК).

Основными экономическими предпосылками для автотранспортных предприятий являются возможность сокращения операционных расходов и экономия на топливе, что в свою очередь позволяет получить конкурентное преимущество перед предприятиями, использующими более дорогое топливо.

Повышение достоверности уровня фактического потребления газомоторного топлива достигается, помимо ранжирования, применением коэффициента готовности

$$K_r = \frac{N_{ТСр}}{N_{ТСо}},$$

где $N_{ТСо}$ – общее число автотранспортных средств парка; $N_{ТСр}$ – число технически исправных автомобилей, готовых к выходу в рейс [2].

Для предварительной оценки пропускной способности и прогнозирования интенсивности движения на

автомобильных дорогах Министерством транспорта предложена методика, основанная на прогнозной численности населения и уровне жизни середины 90-х гг. В качестве исходных взяты следующие показатели [2]:

- уровень автомобилизации легковыми автомобилями – 120 авт./тыс. жит.;
- число людей в одном легковом автомобиле – 2;
- уровень насыщения грузовыми автомобилями – 20 авт./тыс. жит.;
- продолжительность работы грузовых автомобилей в наряде – 9,1 ч;
- продолжительность обеденных и прочих перерывов – 1,5 ч;
- коэффициент выхода на линию грузовых автомобилей – 0,3;
- коэффициент использования грузоподъемности – 0,8;
- коэффициент использования пробега – 0,7;
- уровень насыщения автобусами – 3 авт./тыс. жит.;
- продолжительность работы автобусов в наряде – 11,6 ч;
- продолжительность обеденных и прочих перерывов – 2,0 ч;
- коэффициент выхода на линию автобусов – 0,6;
- вместимость 1 автобуса – 35 чел.;
- коэффициент наполнения автобусов – 0,7.

Проведенные расчеты показывают, что в методике отсутствует учет фактических почасовых значений и

временной неравномерности потока транспорта. Применение матриц коэффициентов дает грубую оценку, не учитывающую фактическое состояние дорожно-транспортной сети и природно-климатических условий. Поэтому в модели потребления используются прогнозные модели сезонной и суточной неравномерности потребления газомоторного топлива, которые позволяют рассчитать число и объем емкостей для хранения газомоторного топлива, а также получить адекватное фактическому потоку число станций заправки.

Потребители ранжируются по уровню социальной и экономической значимости для региона (табл. 1). В модели выделены три основные категории.

В результате обработки статистической информации и выборки значений из сводных форм региональной и корпоративной статистической отчетности сформирована матрица фактической численности автотранспортных средств

$$N = \{n_{11}, \dots, n_{ij}, \dots, n_{3k}\},$$

где n_{ij} – фактическая численность автотранспортных средств по категории i и подкатегории j ; i – индекс категории потребителя $i \in [1, 3]$; j – индекс подкатегории $j \in [1, k]$ в категории i ; k – переменная, равная числу подкатегорий для отдельно взятой категории.

Размерность матрицы может изменяться в зависимости от числа анализируемых категорий транспорта. Для моделирования надежности системы поставок газового моторного топлива могут дополнительно быть рассмотрены не

Таблица 1

Индекс категорий i , подкатегорий j	Категории потребителей, используемые в прогнозной модели	Коэффициент	
		готовности K_r	весовой потребителя R_n
1	Ключевые потребители	0,79	
1.1	Муниципальные автобусные парки	0,85	1
1.2	Почтовые и аварийные службы, автомобили МВД, ГО и ЧС, медицинской службы	0,80	0,95
1.3	Частные грузовые компании	0,70	0,8
1.4	Базы спецтехники	0,75	0,8
1.5	Таксомоторные парки	0,85	0,6
2	Транзитный транспорт	0,663	
2.1	Междугородные и международные автобусы	0,75	0,95
2.2	Большегрузные автомобили > 10 т	0,70	0,8
2.3	Грузовые автомобили 3,5...10 т	0,65	0,75
2.4	Грузовые автомобили до 3,5 т	0,55	0,7
3	Частный автотранспорт	0,55	
3.1	Частные микроавтобусы	0,6	0,6
3.2	Личный легковой автотранспорт	0,5	0,4
3.3	Личный грузовой автотранспорт	0,55	0,35

только потребности автомобильных транспортных средств и частных домовладений, не имеющих доступа к системам магистрального газоснабжения, но и потребности российских железных дорог, речного и морского флота, а также сельскохозяйственной техники.

В последнем случае в модель оценки объема потребления газового моторного топлива вводятся дополнительные категории по разделам: ключевые, транзитные и частные потребители.

Приоритетным и обязательным для последующего удовлетворения потребностей в топливе является объем потребления категории «ключевые потребители». Недостаток объема топлив для данных потребителей при расчете надежности их снабжения не допускается.

В зависимости от интенсивности движения и среднесуточного пробега для потребителей отдельного вида в модели приняты два способа оценки потребления топлива – это среднесуточный расход по типу транспортного средства и расход по среднему пробегу за смену.

По данным фирм-изготовителей оборудования и техники [3], а также по техническим характеристикам средств заправки [4, 5] была сформирована матрица коэффициентов потребления природного газа для городских и загородных циклов движения автомобильного транспорта (табл. 2).

По характеристикам, приведенным в работе [4], и с использованием инструкции по подготовке транспорта к выходу на линию, применяемой в автобусных парках Москвы, построены интегральные кривые заправки автомобильного транспорта в будни и выходные дни (рис. 1).

При разработке схем обеспечения потребителей газомоторным топливом в ряде субъектов Российской Федерации были получены результаты, подтвердившие вид заправочных кривых для грузового транспорта и автобусов. При этом фактическое число заправок оказалось пропорциональным численности парка транспортных

Таблица 2

Тип транспортного средства	Природный газ с молярной долей метана 98 %	
	Городской цикл	Трасса
Городской автобус на 80 мест	1,07	0,91
Междугородный автобус	1,15	0,87
Микроавтобус	1,03	0,93
Грузовик 1,5 т	1,25	0,94
Грузовик 10 т	1,2	0,92
Грузовик 16 т	1,3	0,88
Трактор	1,5	1,01
Легковой автомобиль	1,05	0,85

средств, коэффициенту готовности, состоянию дорожно-транспортной инфраструктуры, климатическим условиям. После нормирования общей численности транспорта были получены кривые плотности распределения потока транспортных средств, приходящих на заправку, по времени суток и выделены характерные области предельной нагрузки на станции заправки в начале и конце смен, а также в часы пик для легкового личного транспорта.

Для прогнозирования пиковых нагрузок, формирования запасов мощности, выбора технических решений по резервированию необходимо определить функциональные закономерности изменения потока автотранспортных средств, приходящих на заправку в различное время суток, то есть получить аналитическую функцию $Nz_i(t)$.

Предположим, что $t \in [0, 23]$, тогда проведя интерполяцию кривых, построенных по статистическим данным о фактической начальной численности транспорта, получим функцию в виде полинома степени n . При расчетах изменения численности транспортных средств на заправочной станции достаточно полиномов 6-й степени [6], при этом удается получить достоверность аппроксимации $R^2=0,92...0,95$.

Поскольку для ключевых потребителей количество заправляемого транспорта является циклической функцией, пропорциональной фактической общей численности транспорта на газомоторном топливе в зоне нулевого холостого пробега транспорта, функциональные зависимости принимают полиномиальный вид

$$Nz_i(t) = a_0t^6 + a_1t^5 + a_2t^4 + a_3t^3 + a_4t^2 + a_5t + a_6,$$

где $a_0...a_6$ – коэффициенты интерполяции.

Поскольку наблюдения проводились в дискретные равноотстоящие моменты времени, в нашем случае число автомобилей, пришедших на заправку в текущий месяц Z_t , и число заправленных транспортных средств в предыдущие месяцы $Z_{t-1}, Z_{t-2}, \dots, Z_{t-n}$ позволяют



прогнозировать численность транспортных средств с упреждением $l=1,2,3,4 \dots 12 \dots 24 \dots 120$ мес. Обозначим прогнозирующую функцию через $\hat{z}_t(l)$, тогда будем говорить, что прогноз сделан с упреждением l , если исходной точкой прогнозирования является момент t , а прогноз делается на некоторый момент $t+l$ в будущем, то есть производится расчет прогнозной численности транспортных средств z_{t+l} .

Критерием правильности выбора функциональной модели возьмем условие, при котором среднее значение квадрата отклонения $z_{t+l} - \hat{z}_t(l)$ должно быть минимальным для каждого упреждения l , то есть $\min [z_{t+l} - \hat{z}_t(l)]^2$.

При прогнозировании изменения общей численности транспорта на газомоторном топливе в области действия системы его поставок потребителям воспользуемся общей моделью авторегрессии проинтегрированного скользящего среднего (АРПСС) [10].

В данной математической модели используются следующие операторы:

B – оператор сдвига назад, определяемый как $Bz_t = z_{t-1}$, следовательно $B^m z_t = z_{t-m}$;

F – оператор сдвига вперед, определяемый как $F=B^{-1}$, то есть $Fz_t = z_{t+1}$ и $F^m z_t = z_{t+m}$;

∇ – оператор разности со сдвигом назад, определяемый как $\nabla z_t = z_t - z_{t-1} = (1-B)z_t$.

Кроме того, в модели используются:

σ_a^2 – средняя дисперсия независимых импульсов a_t ;

ψ_k – весовые коэффициенты значений независимых импульсов a_t .

Тогда модель АРПСС имеет вид

$$\phi(B)\tilde{z}_t = \theta(B)a_t,$$

где $\phi(B)$ и $\theta(B)$ – полиномы от B степеней p и q .

При $\phi(B) = 0$ модель становится нестационарной. Рассмотрим модель вида

$$\phi(B)\tilde{z}_t = \theta(B)a_t,$$

где $\phi(B)$ – нестационарный оператор авторегрессии, такой, что d корней уравнения равны единице, а остальные корни лежат вне единичного круга.

Тогда модель принимает вид

$$\phi(B)\tilde{z}_t = \phi(B)(1-B)^d \tilde{z}_t = \theta(B)a_t,$$

где $\phi(B)$ – стационарный оператор авторегрессии.

Воспользовавшись заменой $\nabla^d \tilde{z}_t = \nabla^d z_t$ для $d \geq 1$, запишем модель в виде

$$\phi(B)\nabla z_t = \phi(B)\nabla^d z_t = \theta_0 + \theta(B)a_t,$$

где

$$\begin{aligned} \phi(B) &= 1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \phi_3 B^3 - \dots - \phi_p B^p, \\ \theta(B) &= 1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \theta_3 B^3 - \dots - \theta_q B^q. \end{aligned}$$

Поскольку в [7] показано, что временной ряд для анализа случайного процесса редко требует значений для p, d, q больше двух, воспользуемся наиболее подходящей моделью, описывающей эволюционные изменения потребности в газовом моторном топливе. Наиболее подходящей для этих целей является модель процесса (1,1,1), то есть модель будет описываться уравнением вида

$$z_t = (1 + \phi)z_{t-1} - \phi z_{t-2} + a_t - \theta a_{t-1},$$

или

$$[1 - (1 + \phi)B + \phi B^2]z_t = (1 - \theta B)a_t.$$

Анализ значений показывает, что прогнозная общая численность транспортных средств по их видам во времени $N_i(t)$ имеет решение в виде нестационарной модели $z_t(1,1,1)$

$$N_i(t) = (1 + \phi)z_{t-1} - \phi z_{t-2} + a_t - \theta a_{t-1}.$$

Проверить нестационарность модели можно, выполнив замену $B=e^{-i2\pi f}$, тогда $F=e^{i2\pi f}$. Воспользовавшись выражением для производящей функции автоковариации [7]

$$\gamma(B) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \psi_k B^k,$$

получим уменьшающий в два раза спектр мощности процесса в виде

$$p(f) = 2\sigma_a^2 \psi(e^{-i2\pi f}) \psi(e^{i2\pi f}) = 2\sigma_a^2 \psi[\psi(e^{-i2\pi f})]^2, \quad 0 \leq f \leq \frac{1}{2}.$$

Следовательно, дисперсия случайного процесса равна

$$\sigma_z^2 = \int_0^{1/2} p(f) df = 2\sigma_a^2 \int_0^{1/2} \psi(e^{-i2\pi f}) \psi(e^{i2\pi f}) df.$$

Коэффициенты в приведенной модели рассчитывались на основании исходных данных для конкретного населенного пункта или мониторинга численности автомобилей на 1 км дороги.

Объем потребления газомоторного топлива ключевыми потребителями i -го типа транспортных средств можно получить по формуле

$$Q_{КП_i}(t) = K_0 K_r K_p N_i(t) L_i q_{срi},$$

где K_0 – коэффициент опорожнения бака (паспортная характеристика транспортного средства); K_r – коэффициент готовности транспортных средств (см. табл. 1); K_p – коэффициент расхода, зависящий от маршрута (см. табл. 2); $N_i(t)$ – численность транспортных средств на автотранспортных предприятиях в зоне нулевого пробега ($R=10$ км); L_i – протяженность маршрута или среднесуточный пробег, км; $q_{срi}$ – средний расход топлива на 1 км пробега, м³/км.

При расчете объема потребления газомоторного топлива транзитными транспортными средствами в данной модели используется решение геометрической задачи с применением методов определения остаточного запаса хода с учетом условий местности и доступности пунктов

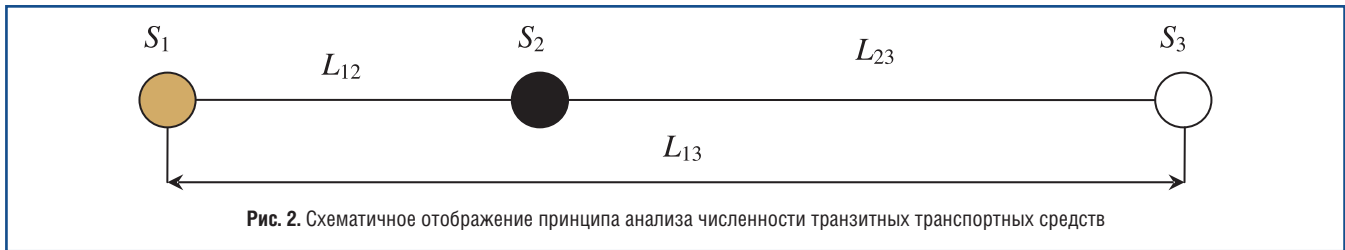


Рис. 2. Схематичное отображение принципа анализа численности транзитных транспортных средств

заправки (рис. 2). Суть метода заключается в определении остаточного запаса хода и принятии решения о необходимости дозаправки в промежуточном пункте на пути к конечному пункту заправки.

Так, при движении из пункта заправки S_1 в сторону пункта заправки S_3 алгоритм принятия решения о дозаправке в пункте S_2 можно представить в следующем виде.

Определим запас хода на одной заправке с учетом реальных условий движения и необходимого минимального давления в баллонах и баках, зная общее расстояние до пункта заправки S_3 , равное L_{13} , а также запас хода, который может быть получен путем вычисления по формуле

$$L = \frac{q_6 K_o}{q_{cp} K_p},$$

где q_{cp} – средний расход на 1 км пробега, м³/км; q_6 – вместительность баков и баллонов для газового моторного топлива, м³.

Остаточный запас хода получается после вычитания длины пройденного пути L_{12} из полного запаса хода. Необходимость дозаправки в пункте S_2 в рамках данной модели определяется условием, что остаточный запас хода должен быть в 1,5 раза больше расстояния, оставшегося до следующей заправки.

$$\frac{q_6 K_o}{q_{cp} K_p} - L_{12} \geq 1,5 L_{23},$$

или

$$\frac{q_6 K_o}{q_{cp} K_p} - L_{12} \geq 1,5(L_{13} - L_{12}),$$

где L_{13} – расстояние между пунктами заправки без учета анализируемой станции S_2 , км; L_{23} – расстояние от анализируемого до ближайшего на трассе пункта заправки, следующего по ходу движения, км.

Объем потребления газомоторного топлива транзитными транспортными средствами i -го типа можно рассчитать по формуле

$$Q_{tp}(t) = \sum_i \left(\frac{q_6 K_o}{q_{cp} K_p} - L_{23} q_{cp} K_p \right) N_{tpi}(t),$$

где $N_{tpi}(t)$ – функция изменения среднесуточной численности транзитных транспортных средств i -го типа от времени.

Объем потребления газомоторного топлива личным транспортом и транспортом локальных потребителей можно оценить в целом по формуле

$$Q_{лт}(t) = 2K_o K_r K_p N(t) q_6,$$

где $N(t)$ – функция изменения от времени суток общей численности личных и локальных транспортных средств в зоне нулевого пробега от пункта заправки.

Аналогично, используя приведенную выше методику, можно провести расчеты для отдельных подкатегорий потребителей.

В результате всех проведенных исследований получена модель совокупной потребности в газомоторном топливе

$$Q_{\Sigma} = \sum_i Q_{кпи}(t) + Q_{tp}(t) \omega(t) + Q_{лт}(t),$$

где $Q_{кпи}$ – совокупная потребность в газомоторном топливе ключевых потребителей; i – индекс типов транспортных средств; Q_{tp} – объем средней заправки одного транзитного транспортного средства; $\omega(t)$ – функция частоты появления транзитных транспортных средств во времени; $Q_{лт}$ – совокупная потребность личных и локальных транспортных средств в газомоторном топливе.

Литература

1. Евстифеев А.А. Математическая модель анализа потребности в КПГ и СПГ на вновь газифицируемых территориях // Газовая промышленность. – 2013. – № 1. – С. 87-89.
2. Распоряжение министерства транспорта Российской Федерации от 19.06.2003 г. № ОС-555-р «О введении в действие “Руководства по прогнозированию интенсивности движения на автомобильных дорогах” (для опытного применения)».
3. ОАО «КАМАЗ». Основная информация о газовых автомобилях. <http://www.kamaz.ru/ru/vehicle/gas>, дата просмотра 12 сентября 2012.
4. Васильев Ю.Н., Гриценко А.И., Чириков К.Ю. Заправка транспорта. – М.: Недра, 1995. – ISBN 5-247-03535-6.
5. Технические характеристики и описания к серии оборудования для автомобильных заправочных СПГ-станций и топливных СПГ-систем автомобилей (кораблей), Zhangjiagang Cims Sanctum Cryogenic Equipment Co., 2012, Китай. <http://www.sdy-cn.com/en/index.asp>.
6. Моисеев Н.Н. Математические основы системного анализа. – М.: Наука, 1981.
7. Бешелев С.Д., Гурвич Ф.Г. Математико-статистические методы экспертных оценок. – М.: Статистика, 1974. – 159 с.

Экспериментальное сравнение процессов сгорания бензиновых и газовых топлив в автомобильном двигателе

С.А. Тихомиров, аспирант Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева

Приведены результаты экспериментальных исследований автомобильного двигателя с системой питания сжиженным углеводородным газом четвертого поколения. Представлено сравнение скоростей сгорания, а также температур отработавших газов бензиновых и газовых смесей различного состава.

Ключевые слова: СУГ, скорость сгорания, угол опережения зажигания, состав смеси.

Пока в автомобильных двигателях не реализованы потенциальные возможности газовых топлив [1], конвертация на газ серийных бензиновых двигателей сопровождается некоторым снижением выходной мощности и экономичности. Связано это с различиями в теплоте сгорания топливоздушных смесей, плотности и стехиометрическом коэффициенте жидких и газообразных топлив. Могут возникать и дополнительные потери, если наблюдаются ошибки регулирования состава газозоудной смеси или смесеобразования газа и воздуха [2]. Настройка отдельных режимов производится вручную даже при электронной газоподаче, что создает предпосылки для отклонений от оптимальных смесей.

Достаточно распространено мнение, что при работе на газе необходимо увеличивать угол опережения зажигания (УОЗ) по сравнению с тем, который устанавливается штатной системой для бензина. Основанием служит утверждение, что газ горит в цилиндрах двигателя медленнее, и это необходимо компенсировать. Отсюда вытекает утверждение о повышенной термической напряженности деталей газового двигателя, вызванной переносом тепловыделения на

линию расширения, и катастрофическом износе седел выпускных клапанов и самих клапанов.

Целью данной работы стало сравнение действительных скоростей сгорания и температур отработавших газов бензо- и газозоудных смесей в условиях стандартного бензинового двигателя, конвертированного на питание сжиженным углеводородным газом (СУГ).

Известно, что нормальная скорость распространения пламени для типичных углеводородов невысока. В работе [3] проводились прямые

измерения скорости распространения пламени бензо- и пропанозоудных смесей в специальной камере сгорания постоянного объема с помощью высокоскоростной фотографии. По этим данным скорости сгорания максимальны в зоне стехиометрии (для бензина несколько богаче), а в наиболее распространенном диапазоне смесей пропан горит быстрее (рис. 1).

Понятно, что сгорание должно быть завершено максимально быстро. В реальном рабочем процессе повышению скорости сгорания

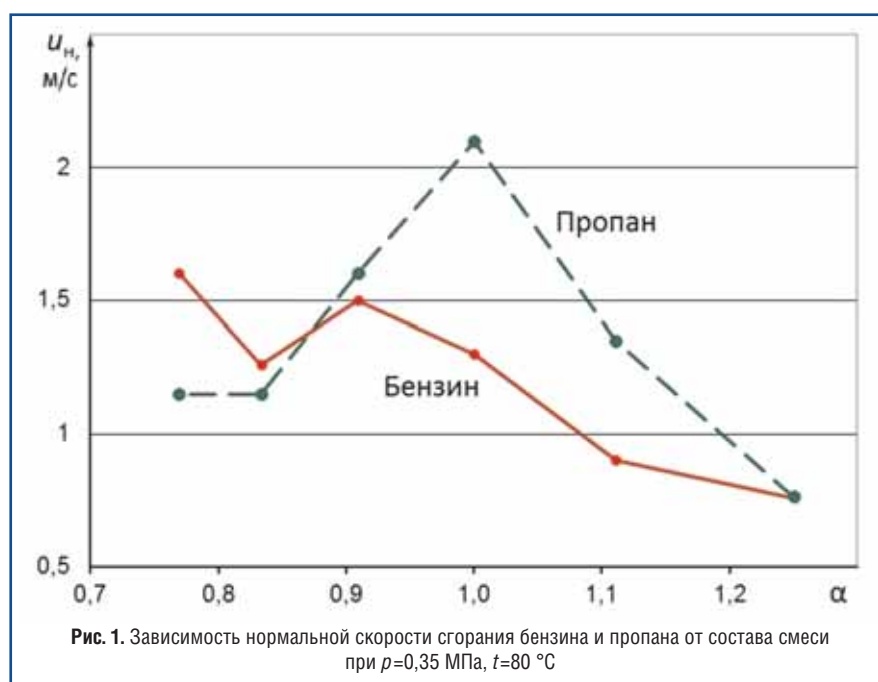


Рис. 1. Зависимость нормальной скорости сгорания бензина и пропана от состава смеси при $p=0,35$ МПа, $t=80$ °С

способствует турбулизация рабочего тела в цилиндре. Причинами снижения скорости могут стать обедненные смеси, насыщение ее инертными газами, снижение плотности заряда, плохая испаряемость. Последнее характерно для жидких топлив. Результатом становится затянутое сгорание и соответствующий перенос тепловыделения на линию расширения. Теплота, выделившаяся в конце хода расширения, вместо совершения полезной работы будет только нагревать выпускные клапаны и выпускную систему. Чтобы избежать этого требуется правильный выбор УОЗ. Угол, который обеспечивает максимальную работу цикла, называется оптимальным.

Таким образом, угол опережения зажигания выступает индикатором совершенства рабочего процесса искрового ДВС. Необходимость увеличения угла говорит о неблагоприятном протекании режима, прежде всего, о неоптимальном составе смеси. Определение оптимальных УОЗ и их анализ позволяют косвенно сравнить скорости сгорания в целом.

В лаборатории ДВС Нижегородского технического университета были проведены эксперименты на двигателе ВАЗ 21114 с системой распределенного впрыска бензина и дополнительной системой распределенного впрыска сжиженного газа. Двигатель установлен на тормозном стенде. Штатный блок управления «Январь 7.2» был заменен экспериментальным, который позволил одновременно в широком диапазоне изменять состав бензовоздушной смеси и угол опережения зажигания. Система газоподдачи с блоком управления OMVL Dream XXI через свой интерфейс позволяла корректировать коэффициенты, определяющие подачу сжиженного газа.

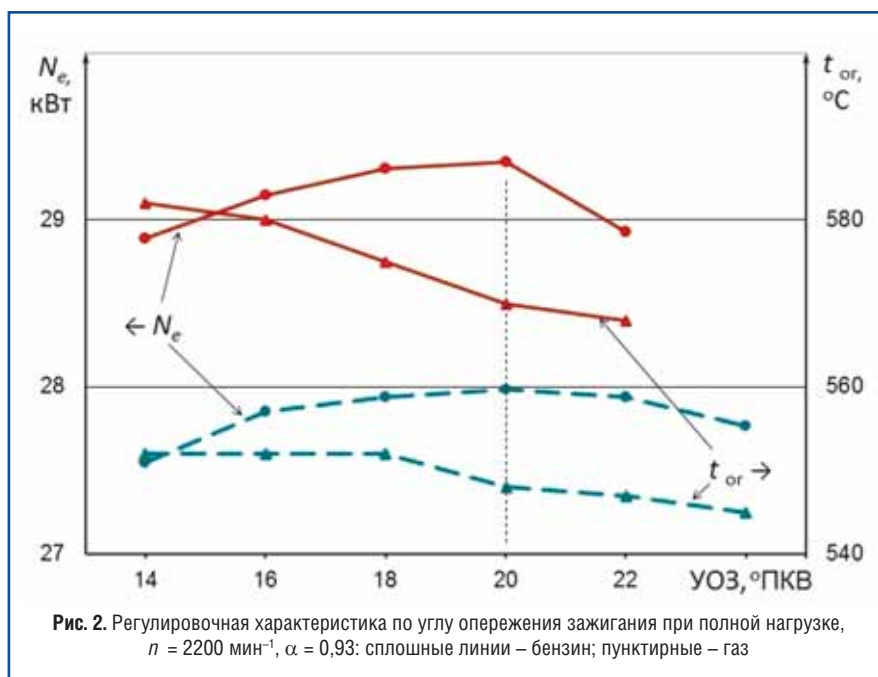


Рис. 2. Регулировочная характеристика по углу опережения зажигания при полной нагрузке, $n = 2200 \text{ мин}^{-1}$, $\alpha = 0,93$: сплошные линии – бензин; пунктирные – газ

Дополнительно в выпускную систему была установлена термопара для замеров температуры отработавших газов. Термопара ввернута на расстоянии 1 м от головки цилиндров, поэтому замеренные температуры газов ниже, чем внутри цилиндров или выпускных каналов. Однако получить сравнительную картину температур при работе на различных режимах и различных топливах такая установка термопар позволяет.

Поскольку полные нагрузки наиболее опасны из-за перегрева выпускных клапанов, замеры проведены на полной нагрузке при частоте вращения 2200 и 4000 мин^{-1} (рис. 2, 3). Дополнительно рассмотрен режим с малой нагрузкой и эффективной мощностью около 10 кВт при частоте 2400 мин^{-1} , соответствующий движению автомобиля с постоянной скоростью.

Для максимального подобию при работе на бензине и газе подобраны

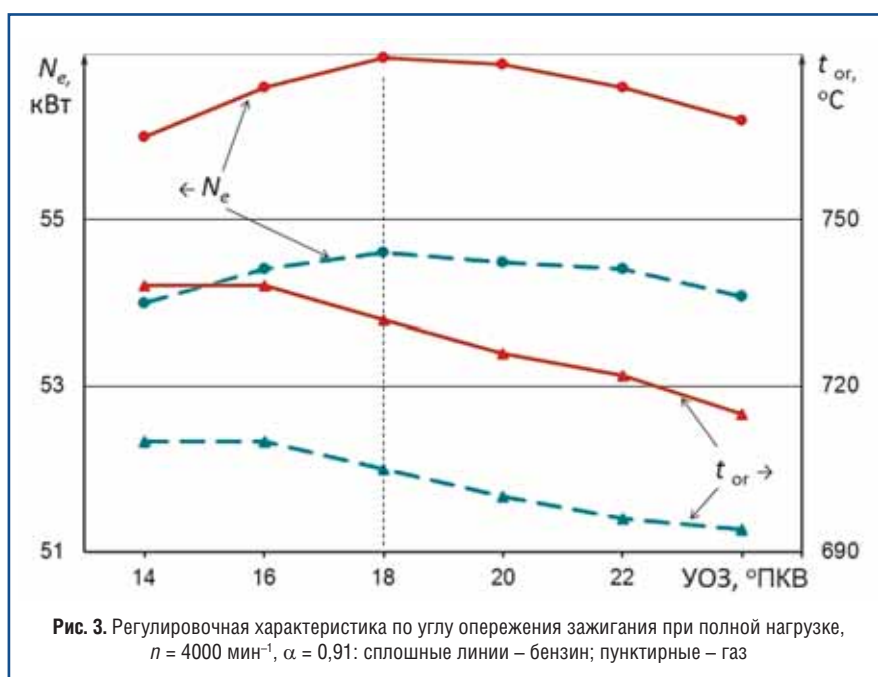
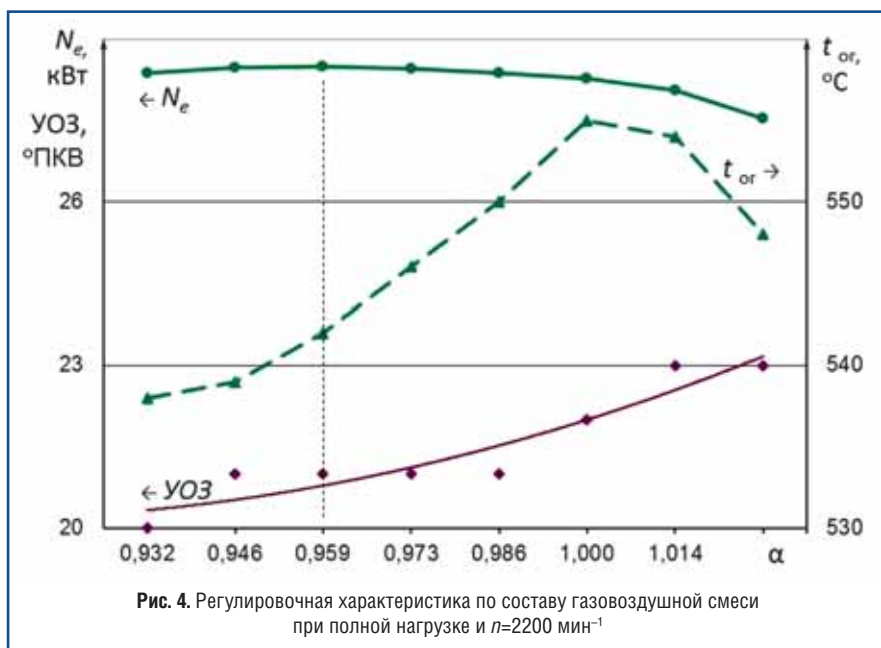


Рис. 3. Регулировочная характеристика по углу опережения зажигания при полной нагрузке, $n = 4000 \text{ мин}^{-1}$, $\alpha = 0,91$: сплошные линии – бензин; пунктирные – газ



одинаковые составы смеси с коэффициентом избытка воздуха $\alpha=0,93$ при $n=2200 \text{ мин}^{-1}$ и $\alpha=0,91$ при $n=4000 \text{ мин}^{-1}$.

Анализ кривых показывает, что и на бензине, и на газе оптимальные углы опережения равны, что доказывает примерное равенство скоростей сгорания этих топлив. Следует подчеркнуть незначительное влияние угла опережения на выходную мощность (не более 1,7 %) в рассматриваемом диапазоне углов от 14 до 24 °ПКВ. Максимальные мощности на бензине и газе отличается примерно на 4 %.

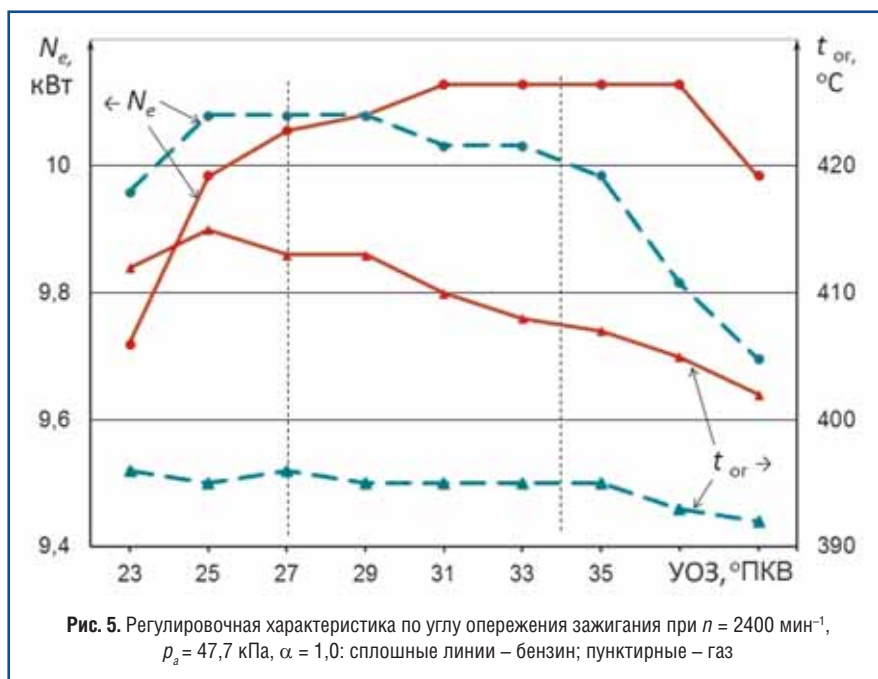
Температуры отработавших газов монотонно уменьшаются с ростом опережения зажигания. Разница в температурах (около 20 °C), достигаемых при работе на бензине и газе, полностью согласуется с различием в теплоте сгорания бензо- и газовойоздушных смесей данного состава.

Режимы полных нагрузок самые опасные из-за перегрева и самые неоптимизированные при настройках ГБО. В зоне обогащения блоком управления игнорируется сигнал кислородного датчика, не проводится самообучение, по результатам которого могла бы корректироваться

программа управления газом, и можно ожидать отклонения от требуемого состава газовойоздушной смеси. Более опасным следует признать обеднение смеси до значений, близких к стехиометрии. Здесь теплота сгорания смесей, а значит и температуры отработавших газов максимальны. Кроме того, в отработавших газах появляется свободный кислород, который при общих высоких температурах существенно повышает коррозионное изнашивание клапанной пары.

На регулировочной характеристике по составу смеси на сжиженном газе, полученной на полной нагрузке при $n=2200 \text{ мин}^{-1}$ (рис. 4), исходная точка соответствует составу смеси $\alpha=0,93$, оптимальному для бензина (см. рис. 2). Видно, что для газа максимальная мощность достигается при более бедных смесях, примерно при $\alpha=0,96$, хотя влияние состава смеси на мощность здесь также минимально. При снятии характеристики в каждой точке подбирался оптимальный угол опережения зажигания. Полученные точки представлены на графике и связаны линией тренда. Видно, что классическая зависимость роста оптимального угла зажигания при обеднении смеси прослеживается, но фактическое снижение скорости сгорания при обеднении минимально.

Температура отработавших газов закономерно изменяется, достигая максимума при стехиометрической смеси. При дальнейшем обеднении температура снижается в связи с увеличением в смеси доли балластного воздуха. Однако можно подчеркнуть, что при любом раскладе температура отработавших газов на бензине



все равно остается выше, чем на газе (см. рис 2).

На регулировочной характеристике по углу опережения зажигания для режима малой нагрузки при стехиометрических смесях (рис. 5) изменение мощности при отклонении опережения зажигания в диапазоне от 25 до 35 °ПКВ составляет только 0,7 %, и определение оптимальных углов зажигания очень условно. Примерные значения составляют: для бензина 34 °ПКВ, а для газа 27 °ПКВ. Формально это следует расценивать как более высокую скорость сгорания для газа, но с учетом сказанного можно признать примерное равенство скоростей сгорания бензиновых и газовых смесей и для данного режима. Разность температур отработавших газов на бензине и газе составила от 8 до 20 °С.

В целом можно заключить, что проведенные эксперименты не выявили никакой склонности газо-

воздушных смесей к замедленному сгоранию. Более того, на частичных нагрузках наблюдается тенденция к затягиванию процесса сгорания при использовании бензина. Приводимые в различных источниках данные по корректировке углов зажигания при работе на газе следует, очевидно, списать на условия, в которых они были получены. В современных двигателях с высокой турбулизацией заряда, гомотенностью смеси и равенством ее состава по отдельным цилиндрам и

циклам процессы сгорания газозо-душных смесей протекают совершенно иначе.

Что касается температур отработавших газов и деталей ДВС, то опасение должна вызывать только неправильная регулировка состава газозо-душной смеси на полной нагрузке, прежде всего длительная работа на смесях, близких к стехиометрии, с повышенными температурами и наличием свободного кислорода в отработавших газах.

Литература

1. Тихомиров А.Н., Давыдов В.В., Бабин В.А. Природный газ плюс независимый привод клапанов ДВС как будущее городского коммерческого автотранспорта // Автомобильная промышленность. – 2011. – № 1. – С. 9-11.
2. Скворцова М.А., Тихомиров С.А. Оценка эффективности различных систем подачи газа автомобильных двигателей // Транспорт на альтернативном топливе. – 2012. – № 3 (27). – С. 20.
3. Ki Hyung Lee, Chang Sik Lee. Analysis of Combustion and Flame Propagation Characteristics of LPG and Gasoline Fuels by Laser Deflection Method // Japan KSME International Journal. – 2002. – Vol 16, № 7. – P. 935-941.

НАЦИОНАЛЬНАЯ ГАЗОМОТОРНАЯ АССОЦИАЦИЯ

Если вы хотите узнать, как сэкономить затраты на топливо и реально помочь оздоровлению окружающей среды, читайте **Международный научно-технический журнал «Транспорт на альтернативном топливе»** – самое квалифицированное издание в России по использованию газовых видов моторного топлива на транспорте. Журнал аккредитован в Международном газовом союзе

тел.: (495) 321-50-44, 321-62-81
e-mail: transport.1@ngvrus.ru
www.ngvrus.ru

Татарстан станет пилотным регионом по развитию рынка газомоторного топлива в России

6 марта в Казани председатель совета директоров ОАО «Газпром», председатель правления и генеральный директор ООО «Газпром газомоторное топливо» Виктор Зубков провел совещание по вопросам развития

станции будут загружены. «Наша задача – построить достаточное количество заправочных станций, а задача руководства республики – загрузить их», – сказал председатель совета директоров ОАО «Газпром».



Участники совещания осматривают газомоторные КАМАЗы

рынка газомоторного топлива в Российской Федерации, в котором принимали участие президент Республики Татарстан Рустам Минниханов, генеральный директор ОАО «КАМАЗ» Сергей Когогин, другие официальные лица и представители производителей газомоторной техники.

Виктор Зубков довел до сведения собравшихся, что ОАО «Газпром» направил всем субъектам Российской Федерации предложения о развитии газомоторной инфраструктуры. 54 региона выразили готовность участвовать в этом проекте. Были выбраны 10 пилотных регионов, и Татарстан – республика номер один в этой работе. Он также подчеркнул, что Газпром готов строить заправочные станции, однако для этого компании важно иметь уверенность в том, что

Виктор Зубков призвал активно использовать все доступные возможности для расширения парка автомобилей на газомоторном топливе, в том числе предоставлять льготные или субсидируемые кредиты на приобретение такой техники.

Президент Татарстана Рустам Минниханов отметил, что в Татарстане уже существует производитель автомобилей – ОАО «КАМАЗ», есть также производитель газомоторного оборудования ООО «РариТЭК». «Но без вложений в инфраструктуру широко использовать газомоторную технику невозможно», – уверен Р.Минниханов.

Республика уже подписала контракт на поставку 262 автобусов на газомоторном топливе, а в перспективе можно перевести на газ весь

строительный комплекс и общественный транспорт. Первый замминистра транспорта и дорожного хозяйства Татарстана Инсаф Хайруллин сообщил, что в республике потенциально могут быть переоборудованы для использования газа в качестве топлива 18 тыс. машин различных отраслей. Переоборудование одного автобуса 2010 г. выпуска на газовое топливо обойдется в 2 млн руб., а экономия на эксплуатационных расходах составит 400 тыс. руб. в год, таким образом затраты окупятся за 5 лет. В то же время, по словам И.Хайруллина, целесообразнее сразу приобретать технику, приспособленную для использования газа, заводского производства.

Генеральный директор ОАО «КАМАЗ» Сергей Когогин в свою очередь заявил о том, что при достаточных объемах производства компания готова оборудовать все свои сервисы точками обслуживания газомоторных автомобилей. Он также предложил ряд стимулирующих мер для приобретения автомобилей на газомоторном топливе.

Компания «КАМАЗ» и дистрибьютор ее продукции с газовыми двигателями компания «РариТЭК» приняли участие в выставке автомобилей различного назначения, работающих на компримированном природном газе (КПГ).

Перед совещанием Сергей Когогин и генеральный директор компании «РариТЭК» Рафаэль Батыршин провели презентацию газомоторных автомобилей КАМАЗ и автобусов НЕФАЗ для всех участников. Были представлены следующие образцы серийно выпускаемой газомоторной техники КАМАЗ:

- городской автобус НЕФАЗ-5299-30-31;
- пригородный автобус НЕФАЗ-5299-11-31;
- седельный тягач КАМАЗ-65116 на КПГ и СПГ;
- автокран КС-55713-5К-1 на газовом шасси КАМАЗ-43118 (6×6);



Презентация газомоторной техники

- самосвал КАМАЗ-6520-35;
- самосвал КАМАЗ-65115-30;
- мусоровоз БМ-53229Г-1;
- вакуумная машина КО-505АГ.

В завершение заседания был подписан протокол о намерениях между правительством Республики Татарстан, ОАО «Газпром», ООО «Газпром газомоторное топливо» о расширении использования природного газа

в качестве моторного топлива, были намечены сроки представления проекта программы развития газомоторного комплекса в Татарстане.

«Через 5 лет весь общественный транспорт, вся коммунальная техника, кроме специальной, а также муниципальные машины должны работать на газомоторном топливе, – заявил Рустам Минниханов. – Одновременно

должны строиться новые заправочные станции».

Подписанный протокол, по мнению Виктора Зубкова, позволит Газпрому и Татарстану начать активную совместную работу по развитию рынка газомоторного топлива, а в дальнейшем этот опыт можно будет распространить и на другие регионы России.

Стратегия ОАО «Газпром» в области производства и поставок СПГ

В марте 2008 г. была принята Стратегия ОАО «Газпром» в области производства и поставок сжиженного природного газа (СПГ). В октябре 2012 г. совет директоров принял решение об актуализации данного документа.

За прошедший пятилетний период Газпром существенно укрепил

свои позиции в сегменте производства и реализации СПГ. Компания владеет 50%-ной долей плюс одна акция в акционерном капитале проекта «Сахалин-2». Номинальная мощность завода по производству СПГ – 9,55 млн т/год, вместе с тем в 2012 г. завод произвел 10,9 млн т СПГ.



Танкер для транспортировки СПГ

Кроме того, предприятие Группы «Газпром» компания Gazprom Marketing and Trading успешно выполняет задачи по реализации российского СПГ за рубежом и торговле сжиженным природным газом из третьих стран. В то же время Газпром нацелен на ускоренную реализацию новых СПГ-проектов, призванных сохранить или увеличить долю компании на мировом газовом рынке.

В феврале 2013 г. было принято окончательное инвестиционное решение по проекту «Владивосток-СПГ». В марте 2013 г. утверждены План мероприятий по реализации проекта строительства завода СПГ и План работ по подготовке ресурсной базы для проекта. Кроме того, рассматривается возможность расширения проекта «Сахалин-2» и реализации Штокмановского СПГ-проекта.

Газпром также будет увеличивать производство малотоннажного СПГ на территории России.

**Управление информации
ОАО «Газпром»**

В Москве стартовал международный автопробег ДОСААФ

20 апреля в центре Москвы на Васильевском спуске стартовал международный военно-патриотический автопробег «В судьбе России – моя судьба!», посвященный 70-летию Сталинградской битвы и 100-летию со дня рождения прославленного летчика-истребителя, трижды Героя Советского

В автопробеге принимают участие несколько экипажей из Белоруссии и Украины, которые доставили в Москву капсулы со священной землей из городов-героев Киева, Минска и Бреста.

Колонна из 40 легковых автомобилей ДОСААФ в сопровождении нескольких КАМАЗов на компри-



Митинг перед стартом автопробега

Союза, маршала авиации Александра Покрышкина. Организаторами многодневного турне выступили ДОСААФ России и Министерство спорта при поддержке правительства РФ и коммерческого банка «Агросоюз».

Известные политические деятели и чиновники, ветераны и военнослужащие, казаки и молодежь собрались вместе в самом сердце столицы, чтобы принять участие в митинге, посвященном этому событию, и стать свидетелями эффектного зрелища – старта колонны легковых автомобилей ДОСААФ, газомоторных КАМАЗов, мотоциклов байкерского клуба «Ночные волки» и ретро-автомобилей.

мированном природном газе и группы байкеров «Ночные волки» совершит путешествие по городам-

героям и городам воинской славы РФ. Путь многодневки будет простирается через Тулу, Орел, Курск, Ростов-на-Дону, Самару и Екатеринбург – это маршрут «западной колонны». «Восточная колонна» стартовала 21 апреля из Омска, ее путь лежит через города Сибири и Дальнего Востока.

Конечной точкой движения колонны станет г. Владивосток, ключевыми остановками участников автопробега – родной город Покрышкина Новосибирск и город-герой Волгоград.

В каждом городе-участнике автопробега будет проходить выставка автотехники военных лет и современных легковых и грузовых автомобилей, в том числе производства ОАО «КАМАЗ», работающих на КПГ. Это самосвал КАМАЗ-6520-35, седельный тягач КАМАЗ65116-34 и пригородный автобус НЕФАЗ-5299-11-31.

Автотехника идет впереди колонны и является ориентиром для других участников автопробега. Газомоторная автотехника КАМАЗ соответствуют экологическим стандартам Евро-4.



КАМАЗы, участвующие в автопробеге



Пресс-конференция в ИТАР-ТАСС

Задача этого автопробега – пронести Знамя Победы и капсулы священной землей из городов-героев до Владивостока, чтобы напомнить жителям всей России о великих подвигах советских солдат, которые рисковали жизнью и здоровьем во имя нашего благополучия.

В преддверие автопробега в ИТАР-ТАСС состоялась пресс-конференция, в которой приняли участие первый заместитель председателя ДОСААФ России Виктор Чернов, заместитель председателя ДОСААФ России Сергей Климов, генеральный директор ЗАО «СОКБ «Вектор»

Дмитрий Федосеев, председатель правления коммерческого банка «Агросоюз» Игорь Ключников, ведущий специалист по реализации газомоторной автотехники ООО «РариТЭК» Рустам Хайрутдинов, заместитель генерального директора Центрального учебно-спортивного центра по техническим видам спорта ДОСААФ России Игорь Чех.

Представитель компании «РариТЭК» сделал доклад о газомоторных автомобилях КАМАЗ, которые поедут в колонне автопробега, их преимуществах в сравнении с автомобилями, работающими на бензине. Модельный ряд газобаллонных автомобилей КАМАЗ использует в качестве моторного топлива исключительно КПГ. ОАО «КАМАЗ» – единственный в России производитель автотехники с газовым двигателем собственного производства.



119071, Россия, г. Москва,
Ленинский проспект, д. 29,
офис № 628
www.balcity.ru

Телефон: +7 (495) 955 41 95
Факс: +7 (495) 783 84 92
E-mail: balcity@balcity.ru
sales@balcity.ru

РЕКЛАМА

ООО «БАЛСИТИ» – крупнейший производитель автомобильных баллонов для сжиженного углеводородного газа



Компания ООО «Балсити» остается крупнейшим в России производителем автомобильных баллонов для сжиженного углеводородного газа, занимая лидирующие позиции на российском рынке.

За 10-летний период производственной деятельности компания освоила и поставила потребителям значительное количество как стандартных баллонов цилиндрической формы вместимостью от 30 до 220 л, так и специальных спаренной и тороидальной форм вместимостью от 42 до 95 л различной конструкции более 60 наименований, из которых свыше 50 % занимают специальные. Постоянное обновление производственных мощностей, подготовка и переподготовка кадров, проведение комплекса испытаний и контроля являются залогом стабильности и качества производимой компанией товарной продукции.

ООО «Балсити» остается эксклюзивным поставщиком автомобильных баллонов для сжиженного углеводородного газа на конвейер Горьковского автозавода.

На предприятии компании внедрена и действует система менеджмента качества в соответствии с ГОСТ Р ИСО 9001-2008 (ISO 9001-2008). Баллоны сертифицированы по Международным правилам ЕЭК ООН № 67-01 с дополнениями 1-9, а также на соответствие требованиям Технического регламента «О безопасности колесных транспортных средств», что обеспечивает их применение в топливных системах различных типов автомобилей, использующих в качестве топлива сжиженный углеводородный газ (пропан, бутан и их смеси) под давлением 2,0 МПа.

Работа транспортного дизеля на смесях дизельного топлива и метилового эфира подсолнечного масла

В.А. Марков, профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана, д.т.н.,

С.Н. Девянин, профессор МГАУ им. В.П. Горячкина, д.т.н.,

С.А. Нагорнов, профессор Тамбовского государственного технического университета, д.т.н.

Приведены результаты экспериментальных исследований дизеля типа Д-245.12С малотоннажного автомобиля ЗиЛ 5301 «Бычок», работающего на смесях дизельного топлива и метилового эфира подсолнечного масла. Подтверждена возможность значительного улучшения показателей токсичности отработавших газов исследуемого дизеля при его работе на смесевых биотопливах.

Ключевые слова: дизельный двигатель, дизельное топливо, метиловый эфир подсолнечного масла, смесевое биотопливо, токсичность отработавших газов.

В настоящее время проблема замещения нефтяных моторных топлив альтернативными становится все более острой [1, 2]. Это обусловлено, с одной стороны, удорожанием нефтяных моторных топлив и их нарастающим дефицитом, а с другой – необходимостью решения острых экологических проблем мегаполисов и населенных пунктов сельской местности. При этом, как правило, предпочтение отдается топливам, производимым из возобновляемых сырьевых ресурсов, в частности, биотопливам, получаемым из растительного сырья, которые считаются наиболее перспективными для дизельных двигателей. Они находят все большее применение в сельскохозяйственной технике, на транспорте, в стационарных установках [3-5].

Для получения таких биотоплив могут быть использованы различные растительные масла – соевое, рапсовое, пальмовое и др. [6]. В Российской Федерации самым распространенным видом растительного масла является подсолнечное, и его производство продолжает расширяться. В 2007 г. в России произведено около 2,7 млн т

растительных масел, из них на долю подсолнечного приходилось более 90 %. В 2012 г. производство растительных масел составило приблизительно 4,2 млн т, а подсолнечного масла – около 3,6 млн т (почти 89 %). В 2008 г. посевные площади под подсолнечником в России достигли 6,17 млн га, а валовый сбор маслосемян – 7,22 млн т. При этом общемировая посевная площадь подсолнечника насчитывает около 14 млн га.

С 1 га посевов подсолнечника получают около 1000 л подсолнечного масла. Это растительное масло вызывает дополнительный интерес еще и потому, что производство биодизельного топлива может быть организовано из отработанного фритюрного подсолнечного масла, используемого в пищевой промышленности и системе общественного питания. По данным работы [7], в Японии ежегодные отходы фритюрных масел составляют от 400 до 600 тыс. т/год. Сопоставимый объем отходов фритюрных масел характерен и для России.

Для централизованного снабжения мегаполисов моторными топливами в наибольшей степени подходят

сложные эфиры растительных масел (биодизельные топлива). Они имеют физико-химические свойства, достаточно близкие к свойствам нефтяных дизельных топлив (ДТ). Кроме того, эти эфиры хорошо смешиваются с нефтепродуктами, что позволяет получать стойкие смеси, отличающиеся хорошими экологическими характеристиками.

Возможность использования растительных масел и их эфиров в качестве моторного топлива определяется их физико-химическими свойствами. Жирные кислоты, являющиеся основным компонентом растительных масел, представляют собой высокомолекулярные кислородсодержащие соединения с углеводородным основанием [8, 9]. По своей химической структуре они схожи с углеводородами, входящими в состав нефтяного дизельного топлива. В свою очередь структурные формулы метиловых эфиров жирных кислот и самих жирных кислот также достаточно близки. Структура жирной кислоты отлична от структуры углеводорода в результате замещения углеводородного радикала CH_3 карбоксильной

Таблица 1

Физико-химические свойства растительных масел

Физико-химические свойства	Масла							
	Рапсовое	Подсолнечное	Соевое	Пальмовое	Оливковое	Хлопковое	Арахисовое	
Плотность при 20 °С, кг/м ³	916	923	924	918	914	919	917	
Вязкость кинематическая (мм ² /с) при температуре, °С	20	65,2	–	–	–	–	81,5	
	40	36,0	32,0	–	–	–	36,5	
	100	8,1	7,7	8,6	8,4	7,7	8,3	
Цетановое число	36	33	50	49	–	–	37	
Количество воздуха, необходимое для сгорания 1 кг вещества, кг	12,6	12,4	12,4	12,6	–	12,4	12,8	
Теплота сгорания низшая, МДж/кг	37,3	37,0	36...39	37,1	–	–	37,0	
Температура, °С	самовоспламенения	318	320	318	315	285	316	–
	застывания	–20	–16	–12	30	–12	–18	–
Массовая доля серы, %	0,002	–	–	–	–	–	–	
Массовая доля, %	С	78,0	77,6	77,5	77,6	–	77,1	78,0
	Н	10,0	11,5	11,5	12,0	–	11,7	12,3
	О	12,0	10,9	11,0	11,4	–	11,2	9,7
Кислотность, мг КОН/100 мл топлива	4,66	2,14	0,03	0,17	5,90	0,23	–	
Коксуемость 10%-го остатка, %, не более	0,40	0,51	0,44	–	0,20	0,23	–	

Примечание: «–» – свойства не определялись.

группой СООН. Структурные формулы углеводорода и эфира отличаются тем, что метиловый радикал CH_3 замещен группой COOCH_3 . Указанные особенности химической структуры жирных кислот и их эфиров обуславливают отличия физико-химических свойств биотоплив и традиционных ДТ.

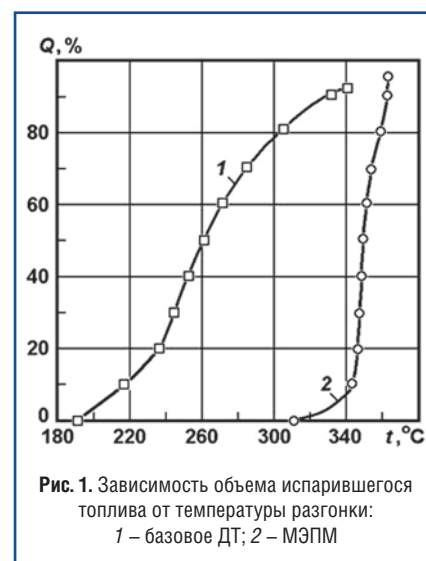
Вместе с тем, поскольку структурные формулы жирных кислот растительных масел и углеводов дизельного топлива подобны, все растительные масла являются горючими и могут применяться в качестве моторных топлив. Низкая испаряемость и высокая вязкость растительных масел исключают их использование в бензиновых двигателях. Но они могут успешно применяться в качестве топлива для дизельных двигателей. Этому способствуют сравнительно невысокая термическая стабильность растительных масел и приемлемая температура их самовоспламенения,

равная $t_{\text{св}}=280...320$ °С и лишь немного превышающая температуру самовоспламенения дизельных топлив ($t_{\text{св}}=230...300$ °С). При этом цетановое число (ЦЧ) различных растительных масел изменяется в пределах от 33 до 50 (табл. 1), что сопоставимо с ЦЧ дизельных топлив (40...55) [6].

Отличительной особенностью метилового эфира подсолнечного масла (МЭПМ) является его более тяжелый фракционный состав по сравнению с ДТ (рис. 1) [10]. Если исследуемое в работе [10] базовое ДТ выкипает в пределах от 190 до 340 °С, то МЭПМ имеет диапазон температур перегонки от 310 до 360 °С, поэтому МЭПМ отличается от ДТ заметно большими плотностью и вязкостью. Эти отличия физических свойств МЭПМ, а также его смесей с ДТ от свойств нефтяного ДТ оказывают влияние на параметры топливоподачи и, следовательно, на показатели топливной экономичности и

токсичности ОГ дизеля, работающего на указанных топливах.

Известен ряд работ, посвященных исследованию дизелей, использующих метиловый эфир подсолнечного масла и его смеси с дизельным топливом [11-14]. Однако применение этих смесей в качестве топлива для отечественных транспортных дизелей



недостаточно изучено. Для подтверждения возможности их использования проведены экспериментальные исследования дизеля Д-245.12С (4СН 11/12,5), устанавливаемого на малотоннажные грузовые автомобили ЗиЛ-5301 «Бычок» [15].

Дизель исследован на моторном стенде АМО «ЗиЛ» на режимах внешней скоростной характеристики и 13-ступенчатого испытательного цикла Правил 49 ЕЭК ООН с установочным УОВТ $\theta=13^\circ\text{PKB}$ до ВМТ и неизменным положением упора дозирующей рейки (упор максимальной подачи топлива). Моторный стенд был оборудован комплектом необходимой измерительной аппаратуры. Дымность ОГ определяли ручным дымомером МК-3 фирмы Hartridge (Великобритания) с погрешностью измерения $\pm 1\%$, концентрации NO_x , CO , CH в ОГ – газоанализатором SAE-7532 фирмы Yanaco (Япония) с той же погрешностью.

Исследовались товарное дизельное топливо и его смеси с метиловым эфиром подсолнечного масла, содержащие 5...40 % МЭПМ, который

был произведен во Всероссийском научно-исследовательском институте использования техники и нефтепродуктов Россельхозакадемии (ГНУ «ВНИИТиН», г. Тамбов). Некоторые физико-химические свойства дизельного топлива, МЭПМ и указанных смесей представлены в табл. 2.

На первом этапе исследований проведены испытания дизеля Д-245.12С на чистом дизельном топливе и смеси 80 % ДТ и 20 % МЭПМ на режимах внешней скоростной характеристики. Исследуемая смесь ДТ и МЭПМ имеет физические свойства, приближающиеся к свойствам ДТ. Но ее плотность и вязкость все-таки несколько выше аналогичных свойств ДТ (см. табл. 2). Поэтому при переходе с ДТ на это смесевое биотопливо отмечено увеличение часового расхода топлива G_T (рис. 2 и табл. 3). Однако крутящий момент двигателя и его эффективная мощность изменились незначительно. В то же время из-за наличия в молекулах МЭПМ атомов кислорода теплотворная

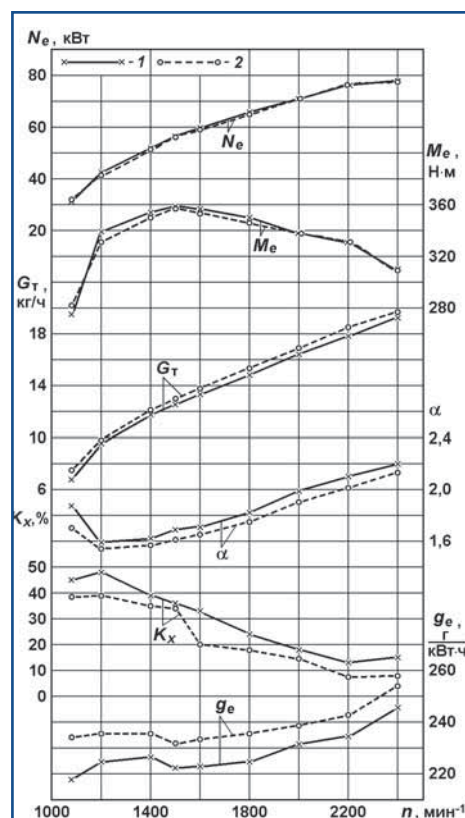


Рис. 2. Зависимость эффективной мощности N_e , крутящего момента M_e , часового расхода топлива G_T , коэффициента избытка воздуха α , дымности ОГ K_x и удельного эффективного расхода топлива g_e от частоты вращения n коленчатого вала дизеля Д-245.12С на режимах внешней скоростной характеристики при использовании различных топлив: 1 – ДТ; 2 – смесь 80 % ДТ + 20 % МЭПМ

Таблица 2

Физико-химические свойства исследуемых топлив

Физико-химические свойства	Топлива						
	ДТ	МЭПМ	95% ДТ + 5% МЭПМ	90% ДТ + 10% МЭПМ	85% ДТ + 15% МЭПМ	80% ДТ + 20% МЭПМ	60% ДТ + 40% МЭПМ
Плотность при 20 °С, кг/м ³	830	886	832,8	835,6	838,4	841,2	852,4
Вязкость кинематическая при 20 °С, мм ² /с	3,8	7,0	4,0	4,2	4,3	4,4	5,0
Теплота сгорания низшая, кДж/кг	42500	37200	42200	41900	41700	41400	40400
Цетановое число	45	47	—	—	—	—	—
Температура, °С помутнения застывания	-25 -35	-13 -17	— —	— —	— —	— —	— —
Количество воздуха, необходимое для сгорания 1 кг вещества, кг	14,30	12,53	14,23	14,11	14,03	13,96	13,59
Массовая доля, %							
С	87,0	76,7	86,5	86,0	85,5	85,0	82,9
Н	12,6	12,2	12,6	12,5	12,5	12,5	12,4
О	0,4	11,1	0,9	1,5	2,0	2,5	4,7
Массовая доля серы, %	0,20	0,002	0,19	0,18	0,17	0,16	0,12
Коксуемость 10%-го остатка, % по массе	0,20	0,30	0,21	0,21	0,22	0,22	0,24

Примечание: «—» – свойства не определялись; для смесей указана объемная доля (%) компонентов.

способность смесового биотоплива несколько ниже такого же показателя у ДТ. Это привело к тому, что при переходе с ДТ на смесь 80 % ДТ и 20 % МЭПМ на режиме максимальной мощности при частоте вращения коленчатого вала $n=2400 \text{ мин}^{-1}$ удельный эффективный расход топлива g_e увеличился от 246,6 до 254,0 г/(кВт·ч), а на режиме максимального крутящего момента при $n=1500 \text{ мин}^{-1}$ – от 221,1 до 231,8 г/(кВт·ч). При этом изменения эффективного КПД дизеля η_e на этих режимах не превышали 1,6 %.

Наличие в молекулах МЭПМ атомов кислорода уменьшило дымность ОГ при работе дизеля Д-245.12 на указанной смеси. Так, на режиме максимальной мощности при $n=2400 \text{ мин}^{-1}$ переход с ДТ на смесь 80 % ДТ и 20 % МЭПМ сопровождался снижением дымности ОГ K_x от 15,0 до 8,0 % по шкале Хартриджа, а на режиме максимального крутящего момента при

$n=1500 \text{ мин}^{-1}$ – от 36,0 до 34,0 % по шкале Хартриджа.

Использование рассматриваемого смесового биотоплива на режимах 13-ступенчатого испытательного цикла Правил 49 ЕЭК ООН привело к некоторому увеличению часового расхода топлива G_T (см. рис. 2, 3а и табл. 3). Так, при переводе дизеля с ДТ на смесь 80 % ДТ и 20 % МЭПМ на режиме максимальной мощности при $n=2400 \text{ мин}^{-1}$ расход топлива G_T возрос от 19,23 до 19,71 кг/ч, а на режиме максимального крутящего момента при $n=1500 \text{ мин}^{-1}$ – от 12,51 до 12,98 кг/ч.

Переход от нефтяного ДТ к исследуемому смесовому биотопливу сопровождался изменением концентрации в ОГ оксидов азота C_{NOx} (рис. 3б). Причем на большинстве исследованных режимов отмечено снижение содержания оксидов азота в ОГ. Так, перевод дизеля с ДТ на смесь 80 % ДТ

и 20 % МЭПМ на режиме холостого хода при $n=900 \text{ мин}^{-1}$ сопровождался уменьшением концентрации C_{NOx} от 0,0120 до 0,0100 %, на режиме максимального крутящего момента при $n=1500 \text{ мин}^{-1}$ – от 0,0625 до 0,0580 %, на режиме максимальной мощности при $n=2400 \text{ мин}^{-1}$ – от 0,0575 до 0,0500 %.

При использовании рассматриваемого смесового биотоплива отмечено значительное снижение концентрации в ОГ монооксида углерода C_{CO} (рис. 3в). Перевод дизеля с ДТ на смесь 80 % ДТ и 20 % МЭПМ на режиме холостого хода при $n=900 \text{ мин}^{-1}$ сопровождался снижением значения C_{CO} от 0,0310 до 0,0240 %, на режиме максимального крутящего момента при $n=1500 \text{ мин}^{-1}$ – от 0,0480 до 0,0380 %, а на режиме максимальной мощности при $n=2400 \text{ мин}^{-1}$ – от 0,0180 до 0,0130 %.

Применение смесового биотоплива позволило заметно снизить и

Таблица 3

Показатели дизеля Д-245.12С, работающего на исследуемых топливах

Показатели дизеля	Вид топлива					
	ДТ	95% ДТ + 5% МЭПМ	90% ДТ + 10% МЭПМ	85% ДТ + 15% МЭПМ	80% ДТ + 20% МЭПМ	60% ДТ + 40% МЭПМ
Часовой расход топлива G_T , кг/ч						
на режиме максимальной мощности	19,23	19,20	19,49	19,47	19,71	20,07
на режиме максимального крутящего момента	12,51	12,54	12,81	12,85	12,98	13,14
Крутящий момент дизеля M_e , Н·м						
на режиме максимальной мощности	310	306	313	307	309	311
на режиме максимального крутящего момента	359	356	355	353	357	357
Удельный эффективный расход топлива g_e , г/(кВт·ч)						
на режиме максимальной мощности	246,6	249,8	247,8	252,6	254,0	257,0
на режиме максимального крутящего момента	222,1	224,4	229,7	231,8	231,8	234,5
Эффективный КПД дизеля η_e						
на режиме максимальной мощности	0,343	0,342	0,347	0,342	0,342	0,347
на режиме максимального крутящего момента	0,381	0,380	0,374	0,372	0,375	0,380
Дымность ОГ K_x , % по шкале Хартриджа						
на режиме максимальной мощности	15,0	13,0	10,0	10,0	8,0	6,0
на режиме максимального крутящего момента	36,0	37,0	36,0	35,0	34,0	25,0
Интегральные на режимах 13-ступенчатого цикла						
эффективный расход топлива $g_{e \text{ усн}}$, г/(кВт·ч)	241,32	250,40	251,31	252,75	255,07	258,49
эффективный КПД $\eta_{e \text{ усн}}$	0,351	0,341	0,342	0,342	0,341	0,345
Интегральные на режимах 13-ступенчатого цикла удельные выбросы, г/(кВт·ч)						
оксидов азота e_{NOx}	5,948	5,905	5,894	5,724	5,718	5,742
монооксида углерода e_{CO}	2,782	2,767	2,428	2,288	2,171	1,949
углеводородов e_{CHx}	1,006	0,924	0,829	0,821	0,813	0,784

концентрацию в ОГ несгоревших углеводов C_{CH} (см. рис. 3г). При переводе дизеля с ДТ на смесь 80 % ДТ и 20 % МЭПМ на режиме холостого хода при $n=900 \text{ мин}^{-1}$ отмечено снижение C_{CH} от 0,0290 до 0,0240 %, на режиме максимального крутящего момента при $n=1500 \text{ мин}^{-1}$ – от 0,0180 до 0,0150 %, на режиме максимальной мощности при $n=2400 \text{ мин}^{-1}$ – от 0,0170 до 0,0100 %.

По приведенным характеристикам содержания в ОГ нормируемых токсичных компонентов (оксиды азота NO_x , монооксид углерода CO , несгоревшие углеводороды CH) с использованием общепринятых методик рассчитаны их интегральные удельные массовые выбросы на режимах 13-ступенчатого цикла (соответственно e_{NO_x} , e_{CO} , e_{CH}). Оценка эксплуатационного расхода топлива на режимах

13-ступенчатого цикла проведена по среднему (условный) удельному эффективному расходу топлива, который определялся с использованием зависимости [6]

$$g_{e \text{ усл}} = \frac{\sum_{i=1}^{13} G_{Ti} K_i}{\sum_{i=1}^{13} N_{ei} K_i},$$

где G_{Ti} – часовой расход топлива, г/ч; N_{ei} – эффективная мощность двигателя

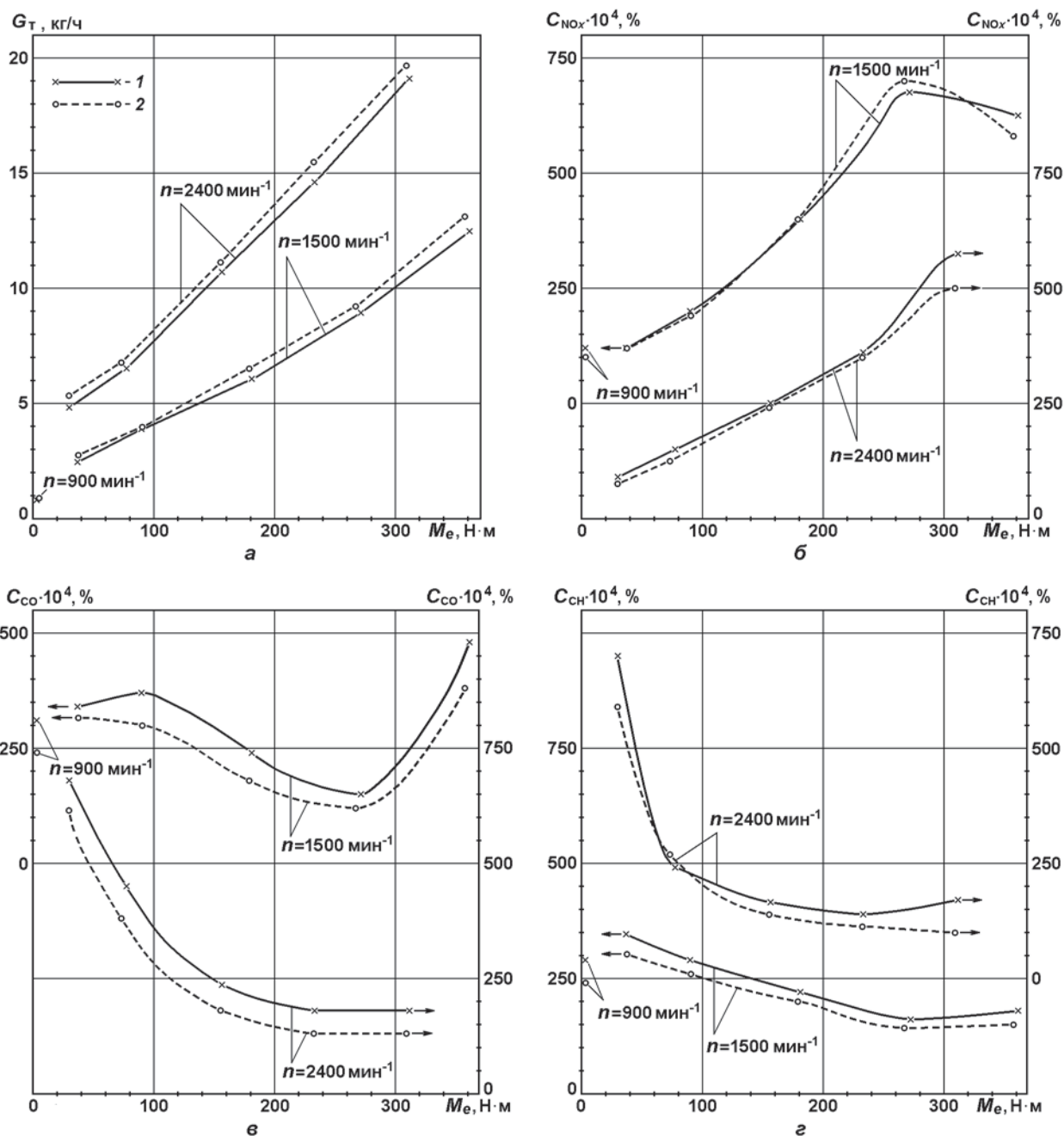


Рис. 3. Зависимость часового расхода топлива G_T (а), объемной концентрации в ОГ оксидов азота C_{NO_x} (б), монооксида углерода C_{CO} (в) и несгоревших углеводов C_{CH} (г) от частоты вращения n и крутящего момента M_e дизеля Д-245.12С при использовании различных топлив на режимах 13-ступенчатого испытательного цикла Правил 49 ЕЭК ООН: 1 – ДТ; 2 – смесь 80 % ДТ + 20 % МЭПМ

на i -м режиме, кВт; K_i – весовой коэффициент i -го режима.

Поскольку смесевые биотоплива имеют меньшую теплотворную способность, топливную экономичность дизеля при его работе на этих топливах целесообразно оценивать не удельным эффективным расходом топлива g_e , а эффективным КПД дизеля η_e . Для интегральной оценки работы дизеля на режимах 13-ступенчатого цикла использован условный эффективный КПД, определяемый из соотношения

$$\eta_{e\text{ усл}} = \frac{3600}{H_U \cdot g_{e\text{ усл}}},$$

где H_U – низшая теплота сгорания топлива, МДж/кг.

Условный эффективный КПД рассчитан с использованием указанной методики, а также данных табл. 2 и рис. 3а.

Приведенные в табл. 3 данные подтверждают возможность улучшения экологических показателей дизеля Д-245.12С при его переводе с ДТ на смесь 80 % ДТ и 20 % МЭМП. При такой смене вида топлива отмечено заметное снижение дымности ОГ на режиме максимальной мощности при $n=2400 \text{ мин}^{-1}$ на 46,7%, а на режиме максимального крутящего момента при $n=1500 \text{ мин}^{-1}$ – на 5,6%. При этом интегральный на режимах 13-ступенчатого цикла эффективный КПД $\eta_{e\text{ усл}}$ снизился с 0,351 до 0,341, то есть на 2,8 %, удельный массовый выброс оксидов азота e_{NOx} уменьшился с 5,948 до 5,718 г/(кВт·ч), то есть на 3,9 %, удельный массовый выброс монооксида углерода e_{CO} снизился с 2,782 до 2,171 г/(кВт·ч), или на 22,0 %, а удельный массовый выброс несгоревших углеводородов e_{CH} сократился с 1,006 до 0,813 г/(кВт·ч), то есть на 19,2 %.

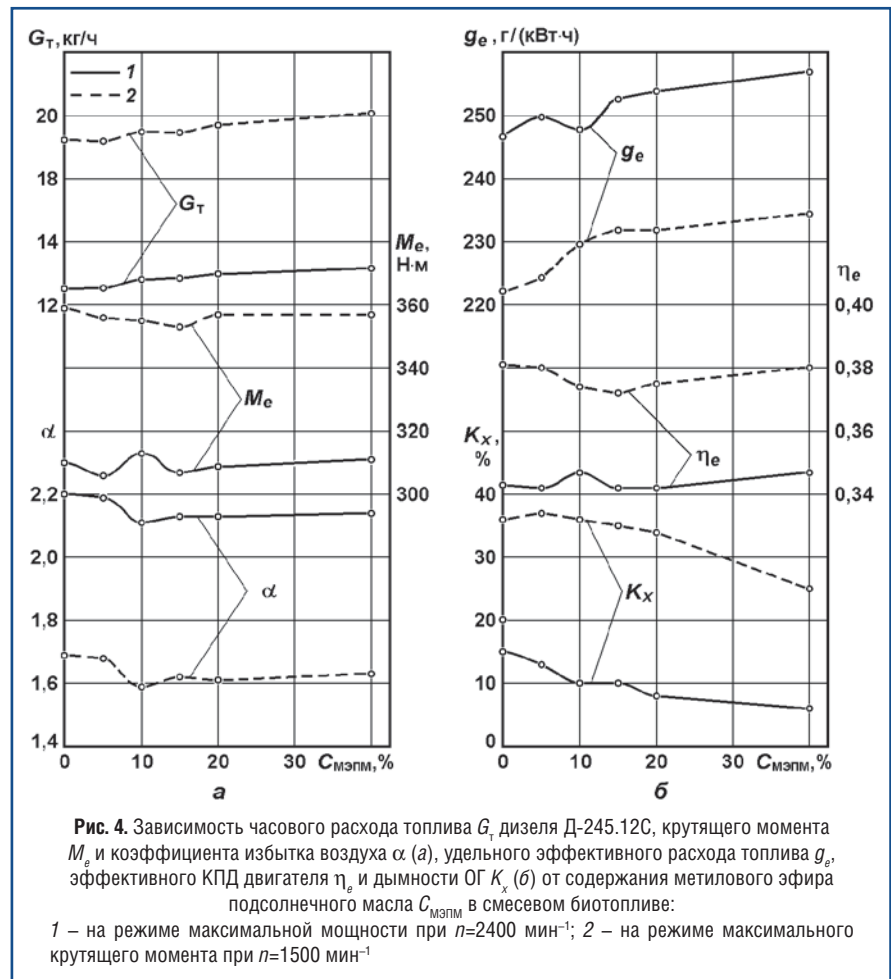
Определенный интерес представляет вопрос влияния состава смесового биотоплива на характеристики дизеля. Оценка этого влияния позволяет провести оптимизацию состава

смесового биотоплива. С этой целью проведены исследования дизеля Д-245.12С на чистом ДТ и смесевых биотопливах с объемным содержанием до 40 % МЭМП. Результаты этих исследований представлены на рис. 4, 5 и сведены в табл. 3.

Приведенные на рис. 5а характеристики дизеля Д-245.12С свидетельствуют о том, что увеличение содержания МЭМП $C_{\text{МЭМП}}$ в смесевом биотопливе от 0 до 40 % приводит к некоторому росту часового расхода топлива G_T . Так, на режиме максимального крутящего момента при $n=1500 \text{ мин}^{-1}$ часовой расход топлива увеличился от 12,51 до 13,14 кг/ч, а на режиме максимальной мощности при $n=2400 \text{ мин}^{-1}$ – от 19,23 до 20,07 кг/ч. Однако крутящий момент двигателя M_e и коэффициент избытка воздуха α сравнительно слабо зависят от концентрации $C_{\text{МЭМП}}$ во

всем исследованном диапазоне ее изменения.

Характеристики дизеля Д-245.12С (рис. 4б и табл. 3) показывают, что увеличение концентрации МЭМП в смесевом биотопливе $C_{\text{МЭМП}}$ от 0 до 40 % сопровождалось ростом удельного эффективного расхода топлива g_e . На режиме максимального крутящего момента при $n=1500 \text{ мин}^{-1}$ эффективный расход топлива увеличился от 222,1 до 234,5 г/(кВт·ч), а на режиме максимальной мощности при $n=2400 \text{ мин}^{-1}$ – от 246,6 до 257,0 г/(кВт·ч). Но при этом эффективный КПД дизеля η_e изменялся сравнительно слабо. Отмечена сильная зависимость дымности ОГ от состава смесового биотоплива. При росте $C_{\text{МЭМП}}$ от 0 до 40 % на режиме максимального крутящего момента при $n=1500 \text{ мин}^{-1}$ дымность ОГ K_x снизилась от 36 до 25 % по шкале



Хартриджа, а на режиме максимальной мощности при $n=2400 \text{ мин}^{-1}$ – от 15 до 6 % по шкале Хартриджа (в 2,5 раза).

Характеристики и значения удельных массовых выбросов токсичных компонентов e_{NO_x} , e_{CO} , e_{CH} (рис. 5 и табл. 3) подтвердили возможность заметного улучшения показателей токсичности ОГ исследуемого дизеля при использовании смесей дизельного топлива и МЭПМ. При росте содержания МЭПМ в ДТ $C_{\text{МЭПМ}}$ от 0 до 40 % удельные массовые на режимах 13-ступенчатого испытательного цикла выбросы оксидов азота NO_x снизились с 5,948 до 5,742 г/(кВт·ч), то есть на 3,5 %, монооксида углерода CO – с 2,782 до 1,949 г/(кВт·ч), или на 29,9 %, несгоревших углеводородов CH – от 1,006 до 0,784 г/(кВт·ч), или на 22,1 %. Одновременно отмечено незначительное снижение условного эффективного КПД двигателя $\eta_{\text{е усл}}$ на 1,7 % – от 0,351 при $C_{\text{МЭПМ}}=0$ до 0,345 при $C_{\text{МЭПМ}}=40\%$.

В целом, проведенные исследования подтвердили возможность

эффективного использования смесей дизельного топлива с МЭПМ в качестве топлива для отечественных дизелей.

В исследуемом диапазоне изменения содержания МЭПМ в нефтяном ДТ наилучшее сочетание показателей топливной экономичности и токсичности ОГ дизеля Д-245.12С достигнуто при его работе на смеси 60 % ДТ и 40 % МЭПМ (при $C_{\text{МЭПМ}}=40\%$). При таком составе смеси биотоплива достигнуты минимальные удельные

массовые выбросы нормируемых токсичных компонентов ОГ (оксиды азота e_{NO_x} , монооксид углерода e_{CO} , несгоревшие углеводороды e_{CH}) на режимах 13-ступенчатого испытательного цикла, минимальная дымность ОГ K_x на режимах максимальной мощности и максимального крутящего момента, а эффективный КПД дизеля $\eta_{\text{е усл}}$ снизился лишь на 1,7 % по сравнению с работой на нефтяном дизельном топливе.

Литература

1. Работа дизелей на нетрадиционных топливах: Учебное пособие / В.А. Марков и др. – М.: Изд-во «Легион-Автодата», 2008. – 664 с.
2. **Льотко В., Луканин В.Н., Хачиян А.С.** Применение альтернативных топлив в двигателях внутреннего сгорания. – М.: Изд-во МАДИ (ТУ), 2000. – 311 с.
3. Рапсовое масло в смеси с дизельным топливом / С.Н. Девянин и др. // Техника и оборудование для села. – 2010. – № 9. – С. 45-46.
4. Метилловый эфир рапсового масла – новое топливо для отечественных автомобильных дизелей / В.А. Марков и др. // Автомобильная промышленность. – 2008. – № 4. – С. 8-11.
5. **Капралов Д.А., Троицкий А.А.** Электростанция на пальмовом масле работает в Италии // Турбины и дизели. – 2008. – № 4. – С. 2-7.
6. **Девянин С.Н., Марков В.А., Семенов В.Г.** Растительные масла и топлива на их основе для дизельных двигателей. – М.: изд-во МГАУ им. В.П. Горячкина, 2008. – 340 с.
7. **Hamasaki K., Tajima H., Takasaki K. et al.** Utilization of Waste Vegetable Oil Methyl Ester for Diesel Fuel // SAE Technical Paper Series. – 2001. – № 2001-01-2021. – P. 1-6.
8. **Тюкавкина Н.А., Бауков Ю.И.** Биоорганическая химия: Учебник для вузов. – М.: Медицина, 1991. – 528 с.
9. **Гриндберг И.И.** Органическая химия: Учебник для вузов. – М.: Высшая школа, 1987. – 480 с.
10. **Zubik J., Sorenson S.C., Goering C.E.** Diesel Engine Combustion of Sunflower Oil Fuels // Transactions of the ASAE. – 1984. – Vol. 27, № 5. – P. 1252-1256.
11. **Hawkins C.S., Fuls J., Hugo F.J.C.** Sunflower Oil Esters: an Alternative Fuel for Direct Injection Diesel Engines // SAE Technical Paper Series. – 1983. – № 831356. – P. 1-6.
12. **Kaufman K.R., Ziejewski M.** Laboratory Endurance Test of Sunflower Methyl Esters for Direct Injected Diesel Engine Fuel // ASAE Paper. – 1983. – № 83-3557. – 6 p.
13. **Kaufman K.R., Ziejewski M.** Sunflower Methyl Esters for Direct Injected Diesel Engines // Transactions of the ASAE. – 1984. – Vol. 27, № 6. – P. 1626-1633.
14. **Ikilic C., Yucesu H.** Investigation of the Effect of Sunflower Oil Methyl Ester on the Performance of a Diesel Engine // Energy Sources. – 2006. – Vol. 27, № 13. – P. 1225-1234.
15. **Марков В.А., Девянин С.Н., Маркова В.В.** Использование подсолнечного масла в качестве топлива для дизелей // Транспорт на альтернативном топливе. – 2010. – № 5. – С. 42-47.



Рис. 5. Зависимость условного эффективного КПД двигателя $\eta_{\text{е усл}}$ и удельных массовых выбросов с ОГ дизеля Д-245.12С оксидов азота e_{NO_x} , монооксида углерода e_{CO} и несгоревших углеводородов e_{CH} от содержания метилового эфира подсолнечного масла $C_{\text{МЭПМ}}$ в смеси биотопливе на режимах 13-ступенчатого цикла

Экспресс-контроль качества биотоплив при эксплуатации мобильной техники

В.П. Коваленко, профессор ФГБОУ ВПО «МГАУ им. В.П. Горячкина», д.т.н.,

Е.А. Улюкина, доцент ФГБОУ ВПО «МГАУ им. В.П. Горячкина», д.т.н.,

А.С. Новик, аспирант ФГБОУ ВПО «МГАУ им. В.П. Горячкина»

Разработаны новые методы экспресс-контроля качества биотоплива: определение содержания механических загрязнений и воды, кинематической вязкости и максимального размера твердых частиц.

Ключевые слова: качество биотоплива; экспресс-методы; загрязненность; вязкость.

Для надежной эксплуатации мобильной техники большое значение имеет качество используемого топлива. Это в полной мере относится и к технике, работающей на биотопливе. Однако применение продуктов растительного происхождения (масла и сложные эфиры жирных кислот) в качестве топлива для дизелей имеет особенности, связанные с высокой вязкостью растительных масел, гигроскопичностью эфиров и склонностью их к гидролизу при взаимодействии с водой [1].

При эксплуатации мобильной техники важную роль играют показатели, характеризующие степень чистоты топлива, – содержание механических загрязнений и наличие воды, которые могут значительно увеличиваться в процессе транспортно-складских и заправочных операций. Эти показатели оказывают очень большое влияние на работу топливной аппаратуры и в целом двигателя.

Оперативный контроль содержания механических загрязнений и воды в биотопливах непосредственно перед заправкой техники может осуществляться с помощью прибора ПОЗ-Т (рис. 1), состоящего из съемного датчика 2 с калиброванными отверстиями, в который помещается индикаторный элемент 1, а также из механизма открытия датчика 3 с запирающим устройством и шприца-дозатора 4 объемом 50 мл [2].

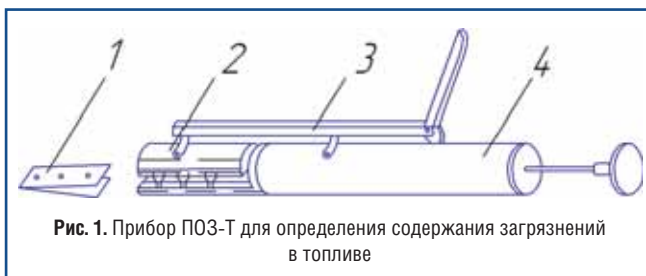
Индикаторный элемент представляет собой двухслойный отрезок аналитической ленты, белый слой которой пропитан солью трехвалентного железа, а желтый – индикаторами (желтая и красная кровяная соль). При

определении содержания в биотопливе механических загрязнений сравнивается отпечаток, полученный на белом слое индикаторной ленты, с эталонным образцом, приложенным к прибору. Содержание воды оценивается изменением окраски индикаторного элемента под воздействием содержащейся в топливе эмульсионной воды, а ее количество – по интенсивности образовавшихся на индикаторном элементе отпечатков, появляющихся при прохождении биотоплива с различной скоростью через калиброванные отверстия разного диаметра.

Наряду с массовым содержанием в биотопливах эмульсионной воды и твердых загрязнений большое влияние на работоспособность мобильной техники оказывают размеры твердых частиц, от которых зависит интенсивность абразивного износа прецизионных пар и забивки калиброванных отверстий. До настоящего времени значение этого показателя не лимитировалось.

Для оценки размеров твердых частиц, загрязняющих биотоплива, разработан прибор ПОЗР [3], в конструкции которого использован эффект обтекания, возникающий в тонком слое жидкости в присутствии указанных частиц, что позволяет существенно повысить эффективность фиксации мелких частиц без применения сложных оптических устройств. Метод контроля размеров частиц в жидкости с использованием эффекта обтекания основан на утолщении тонкослойного потока жидкости и возникновении возмущения ламинарного режима течения в виде завихрений и ряби при оседании твердых частиц на наклонную поверхность. Размер находящихся в жидкости частиц определяют по величине возникающего возмущения, то есть по высоте образующейся волны, которую невозможно определить без сложных приспособлений, поэтому целесообразно увязать размеры частицы с длиной волны.

Для описания явления обтекания жидкостью твердых частиц были использованы законы гидродинамики и теория комплексных чисел. Течение жидкости можно представить как гидравлический прыжок-волну [4]



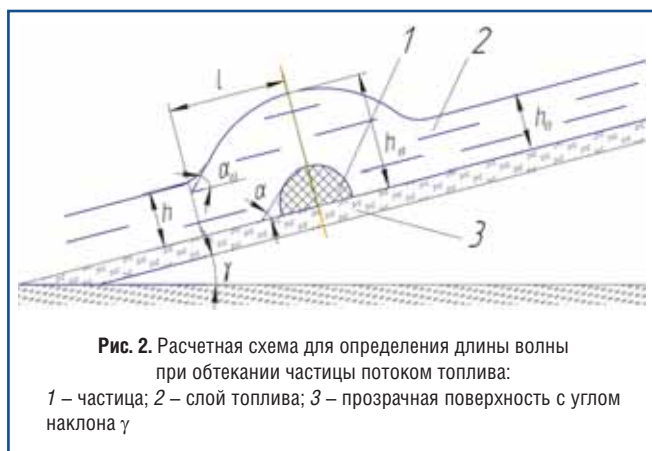


Рис. 2. Расчетная схема для определения длины волны при обтекании частицы потоком топлива:
1 – частица; 2 – слой топлива; 3 – прозрачная поверхность с углом наклона γ

и рассмотреть профиль лба прыжка-волны и высоту ее гребня.

Сделаем допущение, что гребень можно рассматривать в виде уединенной волны. При решении нелинейной задачи об уединенной волне используется метод конформных отображений, в частности, принцип сжатых отображений [5]. В результате получено выражение для определения глубины потока над вершиной гребня прыжка-волны

$$\eta_b = 1 + (h_b - 1)ch^2 \left(\frac{x}{h} \sqrt{\frac{3}{2}} \ln Fr \right),$$

где $\eta_b = h_b/h_0$ – безразмерная глубина под вершиной волны; h_0 и h_b – глубина невозмущенного потока и потока под

вершиной волны соответственно, м; $Fr = \frac{v_0}{\sqrt{gh_0}}$ – критерий

Фруда; v_0 – скорость невозмущенного потока (зависит от угла наклона поверхности), м/с; h – глубина потока на произвольном расстоянии x от вершины волны, м.

Длину лба прыжка-волны l , которая равна расстоянию от вершины волны до точки, где глубина потока h практически не отличается от глубины невозмущенного потока, можно определить по следующей формуле

$$l = \left[\sqrt{\frac{2}{3}} \ln Fr \operatorname{arch} (10\sqrt{\eta_b - 1}) \right] h_0.$$

Угол волнового склона лба прыжка-волны α_0 – максимальный угол наклона поверхности потока в точке перегиба (рис. 2) – определяется из выражения

$$\alpha_0 = \operatorname{arctg} \left[\frac{2}{3} (\eta_b - 1) \sqrt{2 \ln Fr} \right].$$

Зависимость между углом волнового склона лба прыжка-волны и размером частицы устанавливается из предположения, что угол обтекания частицы α равен углу волнового склона α_0 . Из приведенных выражений видно, что чем больше высота волны, зависящая от размера частицы, тем больше угол волнового склона лба прыжка-волны и соответственно больше длина волны. По этому

показателю можно с достаточной степенью точности определить размер частицы, из-за возмущающего действия которой возникла данная волна.

Размер частицы, мкм.....5 10 20 30 40

Длина волны, мкм.....20 40 81,3 126 154

Предложенным методом можно без помощи оптических приспособлений фиксировать в топливе частицы размером более 10 мкм.

Для контроля кинематической вязкости растительных масел и смесевых топлив на их основе можно использовать вискозиметр, позволяющий в условиях комнатной температуры определить значение кинематической вязкости масла при 100 °С [6]. Контроль вязкости масла в этом вискозиметре осуществляется путем сравнения скорости течения проверяемого масла по измерительному каналу и скорости перемещения металлического шарика в трубке с эталонным маслом при определенном угле наклона корпуса вискозиметра. Полученные данные позволяют определить по дополнительной шкале показатель кинематической вязкости масла при 100 °С.

Применение экспресс-методов позволяет определить основные эксплуатационные показатели биотоплива (содержание воды, максимальные размеры механических загрязнений и кинематическую вязкость), которые могут существенно изменяться при транспортно-складских операциях и влиять на работоспособность транспортных средств.

Литература

1. **Коваленко, В.П.** Экспериментальное исследование процесса взаимодействия рапсового метилэфира с водой / В.П. Коваленко, Е.А. Улюкина, А.С. Буряков, С.А. Галко // Международный научный журнал. – 2009. – № 5. – С. 40-43.
2. **Жулдыбин, Е.Н.** Способы и средства обезвоживания нефтепродуктов / Е.Н. Жулдыбин, В.П. Коваленко, В.Е. Турчанинов. – М.: ЦНИИТЭНефтехим, 1985. – 60 с.
3. **Коваленко, В.П.** Контроль чистоты топливо-смазочных материалов при заправке сельскохозяйственной техники в полевых условиях / Коваленко В.П., Улюкина Е.А., Новик А.С. // Сб. науч. тр. Международной научно-технической конференции «Улучшение эксплуатационных показателей автомобилей, тракторов и двигателей», С.-Пб, 2012. – С. 35-40.
4. **Штеренлихт, Д.В.** Гидравлика / Д.В. Штеренлихт. – М.: Энергоиздат, 1991. – 521 с.
5. **Алексиков, Ю.З.** Теория функции комплексного переменного / Ю.З. Алексиков, П.П. Смышляев. – М.: Наука, 1970. – 250 с.
6. **Остриков, В.В.** Топливо, смазочные материалы и технические жидкости / В.В. Остриков, С.А. Нагорнов, О.А. Клейменов и др. – Тамбов: Изд-во ТГТУ, 2008. – 304 с.

Перспективная синтетика

Международная конференция компании CREON Energy «Технологии GTL и CTL 2013» состоялась 27 марта в Москве. Партнером мероприятия выступила компания «Энергокасад». Конференция прошла при поддержке ОАО «ВНИИ НП», Общероссийской общественной организации «Деловая Россия» и Российского газового общества.

Нехватка углеводородного сырья в отдельных частях нашей планеты дала жизнь и развитие технологиям GTL и CTL.

Обзор технологий по производству жидкого синтетического топлива представил Владимир Мордкович, научный директор «ИНФРА Технологии», заведующий отделом новых химических технологий и наноматериалов ФГБНУ «ТИСНУМ». Процесс GTL/CTL основывается на первичном превращении углеводородов или угля в синтез-газ или смесь углекислого газа и водорода, а также на синтезе Фишера–Тропша –

каталитическом процессе с большим экзотермическим эффектом. В результате получается не одно углеводородное соединение, а несколько продуктов реакции: воски, светлые искусственные нефтяные фракции или синтетическая нефть. Создание узконаправленного производства – цель разработчиков четвертого поколения GTL- и CTL-технологий.

Идея создания жидкого топлива из угля или газа возникла в 30-х гг. прошлого столетия в Германии. Страна нуждалась в топливной независимости при отсутствии природных запасов нефти. Вторая волна развития

технологий пришлось на 50-е гг. и проходила в находящейся в послевоенной изоляции ЮАР. Третье поколение было вызвано к жизни нефтяным кризисом 70-х гг., когда к разработкам компании Sasol присоединились нефтяные корпорации Shell, Exxon, Mobil и BP.

Современные промышленные производства основываются на разработках этого периода. В 2006 г. Sasol запустил завод в Катаре с удельным выходом 444 кг жидких продуктов на 1000 м³ газа при потреблении более 3 млрд м³ обработанного газа в год. Завод Pearl Shell, запущенный в 2011 г., потребляет более 15 млрд м³ сырого газа в год с удельным выходом 440 кг жидкой продукции на 1000 м³. Преодоление недостатков технологий третьего поколения выливается в крупные капиталовложения, однако рынок уже на пороге появления четвертого поколения технологий, когда строительство GTL- и CTL-установок может быть обусловлено экономической выгодой. В перспективе появление дополнительных производственных возможностей – монетизации ПНГ и газа отдаленных и низконапорных месторождений путем реализации синтетического топлива и нефти, переработки газа в жидкость



Участников конференции приветствует глава группы CREON Фарес Кильзие

непосредственно на морских платформах, корабельных установках GTL и др.

На Ямале в настоящее время ведется активная работа по продвижению проекта строительства завода по производству синтетических жидких топлив из низконапорного природного газа как якорного проекта модернизации экономики моногорода Надым. Об этом рассказал заведующий сектором эффективности муниципального управления администрации МО Надымский район Владимир Яметов. Запасы низконапорного газа данных промысловых объектов оцениваются в 4 трлн м³. По словам докладчика, завод рассчитан на выпуск 6 млн т продукции в год, из которых 1 млн т пойдет на покрытие нужд региона, остальные 5 млн будут направлены на экспорт. Кроме того, В.Яметов отметил полезные потребительские свойства синтетического дизельного топлива, которое в отличие от нефтяного не замерзает при температуре ниже -40 °С. Это важно для освоения высокоширотных газоконденсатных месторождений п-ва Ямал шельфа морей Ледовитого океана, что, в свою очередь,

позволит обеспечить широко-масштабное экономическое присутствие России в Арктике.

Наибольший интерес вызывают GTL-технологии в области использования ПНГ, сжиженного углеводородного и природного газа там, где нет возможности его транспортировки, считает начальник управления департамента добычи и переработки газа и конденсата компании «Новатэк» Станислав Шевкунов. Докладчик особо отметил, что необходимо восстанавливать отечественный инжиниринг, несмотря на наличие богатого международного опыта в области GTL. Одной из основных задач, стоящих перед компанией, он видит создание собственной запатентованной базы технических решений для промысловых объектов. Помимо этого, С.Шевкунов представил вниманию собравшихся технологию совместного получения метанола и синтетического жидкого топлива на базе малотоннажного производства, интегрированного непосредственно в объекты добычи.

В ходе возникшей дискуссии было отмечено, что производство синтетического жидкого топлива в мировом

масштабе демонстрирует устойчивую тенденцию роста. По расчетам старшего менеджера управления координации газоэнергетической деятельности и продаж продуктов нефтехимии и газопереработки компании «Лукойл» Ахмеда Гурбанова, после 2025 г. в связи с падениями темпов нефтедобычи прогнозируется дефицит топлива на основе нефти. Так что производство синтетического топлива достаточно перспективно. На сегодняшний день потенциальная выгода от применений GTL-технологий не покрывает возможных рисков, считает он. В ближайшее время возможным вариантом развития GTL-направления на предприятиях компании представитель Лукойла назвал монетизацию ПНГ, в частности, небольших ресурсов, удаленных объектов и объектов с неразвитой инфраструктурой.

Начальник отдела инжиниринга компании «РН-ЦИР» Сергей Медведев дал краткую информацию о состоянии проекта по строительству опытно-промышленной установки GTL на базе Новокуйбышевского НПЗ. Проект предусматривает отработку технологии по выработке из природного газа широкой линейки продукции GTL – от синтетической нефти до набора топливных компонентов.

Представители ведущих российских и иностранных энергетических компаний и научно-исследовательских организаций рассказали о своих разработках в области GTL- и CTL-технологий. Большое число стран



Участники конференции



Выступает научный сотрудник
ОАО «Газпром промгаз» Е.Крейнин

обладает колоссальными ресурсами угля, поэтому рано или поздно мир придет к широкому использованию CТL-технологий, считает главный научный сотрудник ОАО «Газпром промгаз» Ефим Крейнин.

Он презентовал метод подземной газификации угля (ПГУ) как возможный вариант производства жидкого синтетического топлива. ПГУ представляет собой технологию нового поколения, которая отличается высокой управляемостью и стабильностью, что позволяет говорить о ее применении в масштабах крупных промышленных предприятий.

В поставках оборудования для объектов GTL и CТL готово участвовать большинство отечественных машиностроительных предприятий, полагает заместитель директора департамента продаж шаровых резервуаров ОАО «Уралхиммаш» Валерий Мерзляков. Он представил обзор российской продукции для производства, транспортировки и хранения синтетического жидкого топлива.

Директор по научной работе Института плазмохимических

технологий, главный научный сотрудник Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН рассказал о разработке струйного плазмохимического метода для GTL. Исключение из существующей технологии GTL стадии получения синтез-газа и переход к прямой переработке природного или попутного газа в жидкие товарные продукты станут ключевыми моментами данного метода.

С докладом о применении газовых турбин в мало- и среднетоннажных установках GTL выступил заместитель генерального директора ЗАО «РНТ» Сергей Филипченко. Новая технология позволяет перерабатывать биогаз, газ органических отходов, сланцевый, низконапорный природный и попутный нефтяной газ различного состава при объемах запасов от 280 млн до 7 млрд м³.

По мнению заведующего отделом базовых и товарных масел ОАО «ВНИИ НП» Олега Цветкова, для российского рынка технологии «газ в жидкость» интересны в первую очередь с точки зрения переработки ПНГ, а также получения продуктов вторичной переработки из синтетической нефти, обладающих более интересными свойствами по сравнению с продуктами из природной нефти.

Так, моторные масла на синтетической основе GTL позволяют увеличить интервалы замены масла и понизить расход топлива, увеличив ресурс работы ДВС. О.Цветков рассказал о возможностях GTL для производства базовых масел, подчеркнув, что внедрение

таких технологий в промышленном масштабе возможно только при содействии государства.

Член экспертного совета CREON Energy Михаил Левинбук отметил, что Россия обладает богатыми запасами природного газа и нефти и развитой трубопроводной транспортной инфраструктурой, это позволяет говорить о возможностях строительства крупных GTL-мощностей. Производство синтетического топлива экономически рентабельно при больших объемах выпускаемой продукции. Моторное топливо на основе синтетической нефти может частично обеспечить автомобильный рынок горючим и сохранить запасы природной нефти, цель переработки которой будет направлена на получение сырья для нефтехимии.

Активное участие в диалоге представителей ведущих российских компаний говорит об уже сформировавшемся интересе к жидкому синтетическому топливу.

Вместе с тем нашим иностранным коллегам придется прикладывать значительно больше усилий для внедрения новых технологий в российскую жизнь. Появившийся в отечественных компаниях класс высокопрофессиональных топ-менеджеров будет тщательно анализировать предлагаемые нововведения.

Это ярко продемонстрировали выступления управленцев из «Новатэка» и «Роснефти», заключил глава группы CREON Фарес Кильзие.

Газпром станет эксклюзивным поставщиком газомоторного топлива для Volkswagen Motorsport

В Ганновере (Германия) 08.04.2013 г. в рамках Ганноверской промышленной выставки-ярмарки состоялась рабочая встреча председателя совета директоров ОАО «Газпром» Виктора Зубкова и члена совета директоров компании Volkswagen Ульриха Хакенберга. Участники встречи обсудили сотрудничество в области поставок природного газа для нужд германской команды, участвующей в уникальной серии гонок, проводимой на автомобилях, работающих на природном газе.

Volkswagen Scirocco R-Cup является единственной в мире гонкой автомобилей одинаковых моделей, работающих на природном газе, и таким образом реализующей концепцию экологически чистого автоспорта. Volkswagen Scirocco R-Cup – популярное автомобильное событие в мире. В турнире принимают участие 25 гонщиков, в число

которых вошли молодые таланты, а также легенды автоспорта. В 2013 г. состоится девять гонок в рамках чемпионата.

По итогам переговоров в присутствии Виктора Зубкова главный управляющий директор Gazprom Germania GmbH Вячеслав Крупенков и Ульрих Хакенберг подписали соглашение, в соответствии с которым Группа «Газпром» в лице Gazprom Germania GmbH с мая 2013 г. станет эксклюзивным поставщиком газомоторного топлива для Volkswagen Motorsport.

ОАО «Газпром» рассматривает рынок газомоторного топлива как перспективное направление деятельности компании, основной целью которого

является повышение экономической эффективности реализации российского газа за рубежом, прежде всего, в европейских странах. В настоящее время на европейском рынке газомоторного топлива Группа «Газпром» представлена через свои дочерние компании Gazprom Germania GmbH и Vemex. В 2012 г. Gazprom Germania GmbH увеличила число принадлежащих ей АГНКС, осуществляющих заправку автотранспорта КПГ на территории Германии, с двух до шести. К 2015 г. планируется увеличить число принадлежащих компании станций до 15 за счет сооружения новых АГНКС.

«Мы сердечно приветствуем компанию «Газпром» в качестве нового партнера кубка Scirocco R-Cup. Экологически чистый и энергоэффективный автоспорт всегда являлся основной целью Volkswagen. В рамках этого партнерства два важных



Ульрих Хакенберг и Вячеслав Крупенков

участника на мировом рынке выбрали совместный путь. Компания Volkswagen обладает успешными традициями в сегменте автомобилей, работающих на природном газе. Я рад предстоящему сотрудничеству», – сказал Ульрих Хакенберг.

«Природный газ в качестве моторного топлива обладает высоким потенциалом, который позволит обеспечить экологически чистое и экономичное использование автомобилей. Газпром считает данный вид бизнеса одним из приоритетных направлений развития компании, в том числе на зарубежных рынках. В этой связи соглашение с Volkswagen является логичным продолжением наших усилий по расширению использования газомоторного топлива в Европе. Уверен, что наше сотрудничество будет успешным», – сказал Виктор Зубков.

Volkswagen – один из крупнейших автопроизводителей мира и крупнейший в Европе. В 2012 г. доля концерна на мировом автомобильном рынке составила 12,8 %. В Западной Европе почти четверть всех новых легковых автомобилей (24,4 %) изготовлена концерном Volkswagen. Компания производит шесть серийных моделей различного класса, работающих на природном газе: Caddy 2.0 EcoFuel, Caddy Maxi EcoFuel 2,0, Touran 1.4 TSI EcoFuel, Passat и Passat Variant 1.4 TSI EcoFuel, а также новая модель есо up!. Таким образом, компания располагает одной из самых широких в мире линеек моделей автомобилей, использующих газ в качестве моторного топлива.

Управление информации ОАО «Газпром»



Вячеслав Крупенков, Ульрих Хакенберг и Виктор Зубков



Режимы нагружения двигателя городского автобуса, работающего на природном газе

И.Ф. Гаттаров, аспирант филиала ФГАО ВПО «Казанский (Приволжский) федеральный университет» (Набережные Челны),
А.М. Фролов, доцент филиала ФГАО ВПО «Казанский (Приволжский) федеральный университет» (Набережные Челны), к.т.н.

Представлены результаты режимометрических испытаний городского автобуса, использующего природный газ в качестве моторного топлива при работе на линии. Выявлены области характерных режимов работы газового двигателя по нагрузке и частоте вращения коленчатого вала.

Ключевые слова: газовый двигатель, частота вращения коленчатого вала, давление во впускном коллекторе, компримированный природный газ, выбросы вредных веществ, электронный блок управления двигателем.

На сегодняшний день одним из крупнейших загрязнителей атмосферы крупных городов является автомобильный транспорт. В суммарных выбросах вредных веществ в атмосферу его доля достигает 70...80 % [1].



Рис.1. Городской автобус с газовым двигателем V8ЧН12/13

В крупных городах России основную работу по перевозке пассажиров выполняют городские автобусы категории М₃. Важнейшими задачами при проектировании узлов и агрегатов городских автобусов являются обеспечение достаточных тягово-скоростных свойств и улучшение экологических показателей двигателя автобуса. Так как основная доля пассажирских автобусов России имеет дизельные или бензиновые двигатели, эксплуатационные свойства двигателей, работающих на природном газе, недостаточно изучены.

В этой связи наметилась необходимость проведения режимометрических испытаний городского автобуса для выявления основных режимов нагружения газового двигателя во время его работы на линии. Испытания проводились в городах с населением около 525 тыс. и 746 тыс. человек (Рязань и Краснодар соответственно).

Для испытаний выбран городской автобус (рис. 1) с двигателем V8ЧН12/13, работающим на компримированном природном газе (КПГ), мощностью 191 кВт, отвечающим экологическим требованиям Евро-4 (Правила ЕЭК ООН № 49-04), с трехступенчатой автоматической коробкой передач (передаточное число первой, второй

и третьей передач соответственно $i_1=6,0$; $i_{II}=1,43$; $i_{III}=1,0$).

Практика показывает, что режимы движения городского автобуса существенно отличаются от режимов движения обычного автомобиля. У автобуса больше число торможений, приходящихся на 1 км пути, в 1,35 раза, выключений сцепления – в 2,48 раза, вынужденных остановок в 1,54 раза [2].

Для каждого цикла движения (рис. 2) характерны индивидуальные скоростные и нагрузочные режимы. На режиме холостого хода двигатель проработал 56 % затраченного на маршрут времени, средняя скорость движения на линии была 23,4, а максимальная – 56,6 км/ч.

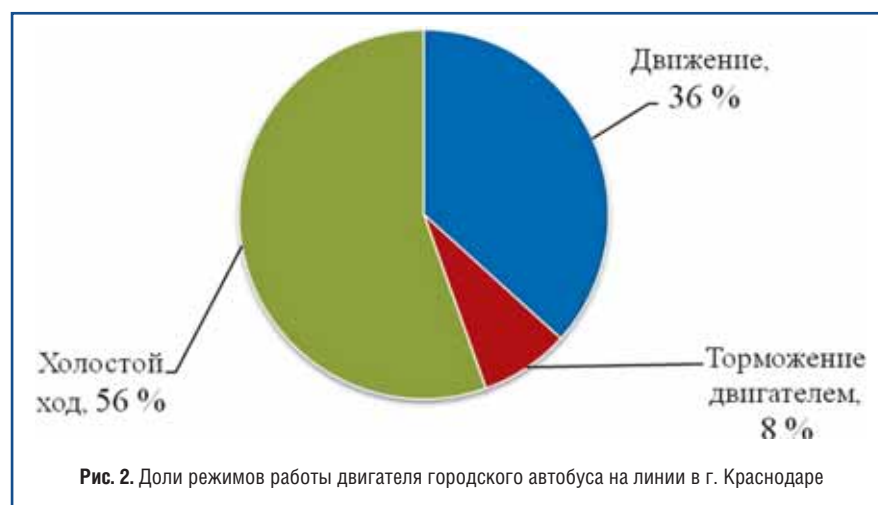


Рис. 2. Доли режимов работы двигателя городского автобуса на линии в г. Краснодаре

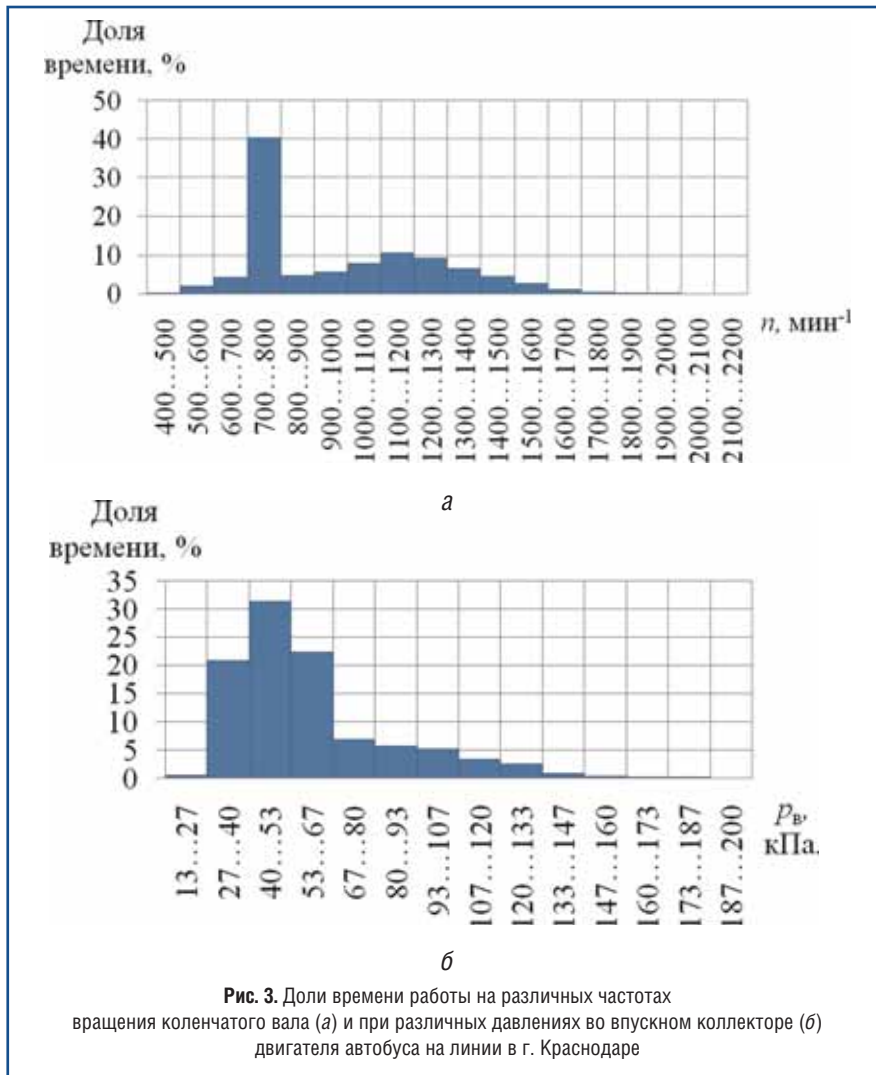


Рис. 3. Доли времени работы на различных частотах вращения коленчатого вала (а) и при различных давлениях во впускном коллекторе (б) двигателя автобуса на линии в г. Краснодаре

Электронная система управления двигателем (ЭСУД), в частности электронный блок управления (ЭБУ) газового двигателя V8ЧН12/13, рассчитывает подачу газа в соответствии с базовой поверхностью топливопо-

дачи, которая представляет собой зависимость

$$G_T = f(p_b, n),$$

где p_b – давление во впускном коллекторе, кПа; n – частота вращения коленчатого вала двигателя, мин⁻¹.



Рис. 4. Нагрузочная характеристика газового двигателя V8ЧН12/13 при частоте вращения коленчатого вала $n = 1400 \text{ мин}^{-1}$

Следовательно, эти два параметра можно считать измерителями степени нагрузки на двигатель (рис. 3).

Регистрируя в стендовых условиях частоту вращения коленчатого вала, крутящий момент, давление во впускном коллекторе двигателя при разных режимах можно рассчитать нагрузку и мощность двигателя (рис. 4). Регистрация основных параметров работы автобуса проводилась с помощью портативного компьютера, подключенного к диагностической колодке ЭБУ двигателя.

В результате проведенных исследований можно сделать следующие выводы.

- Двигатель автобуса более половины времени маршрута работал на режиме холостого хода (см. рис. 2), что говорит о частых и длительных остановках. Для минимального воздействия токсичных компонентов отработавших газов на здоровье пассажиров на остановках необходимо улучшать экологические показатели газовых двигателей при работе на холостом ходу.
- Во время работы на линии нагрузка на двигатель более 70 % и частота вращения коленчатого вала более 1600 мин⁻¹ практически не были реализованы (см. рис. 3, 4). Мероприятия по оптимизации тягово-скоростных свойств, топливной экономичности и экологических показателей автобусов с газовыми двигателями должны проводиться с учетом режимов нагружения двигателя и времени работы на определенных режимах.

Литература

1. Рябчинский А.И., Трофименко Ю.В., Шелмаков С.В. Экологическая безопасность автомобиля; под ред. член-корр. РАН Луканина В.Н. – М.: изд-во МАДИ, 2000. – 95 с.
2. Нефедов А.Ф., Высочин Л.Н. Планирование эксперимента и моделирование при исследовании эксплуатационных свойств автомобилей. – Львов: Вища школа, 1976. – С. 160.

ХМАО – Югра: перевод транспорта на газовое топливо

И.М. Макуха, начальник отдела департамента по недропользованию ХМАО – Югры

Правовой основой регулирования отношений при использовании природного газа в качестве моторного топлива на сегодня являются Федеральные законы «Об энергосбережении» и «Об охране атмосферного воздуха».

В Ханты-Мансийском автономном округе – Югра существуют предпосылки для развития газификации автотранспорта: имеется разветв-

Помимо этого, для дальнейшего перевода заказаны 65 комплектов газового оборудования и 27 машин с газовым двигателем.

компрессорных станций и парка техники, работающей на природном газе, на 2007-2015 годы», которая направлена на развитие инфраструктуры АГНКС и увеличение числа автомобильной техники, работающей на компримированном природном газе (КПГ).

С учетом взаимного интереса к проблеме использования природного газа в качестве моторного топлива 10 июня 2012 г. состоялось совещание по вопросу развития применения природного газа в качестве моторного топлива в автономном округе под председательством первого заместителя губернатора Ханты-Мансийского автономного округа – Югры А.М. Кима и генерального директора ООО «Газпром трансгаз Югорск» П.М. Созонова.



АГНКС Комсомольского ЛПУ МГ в Югорске

ленная сеть газопроводов высокого, среднего и низкого давления. Между тем число автотранспортных средств, использующих газ в качестве моторного топлива, незначительно.

Лидером по реализации практических мероприятий, направленных на применение автомобильного транспорта, работающего на газовом топливе, является дочернее предприятие ОАО «Газпром» – ООО «Газпром трансгаз Югорск». Из восьми автомобильных газонаполнительных компрессорных станций, осуществляющих деятельность на территории автономного округа, семь принадлежат ООО «Газпром трансгаз Югорск». В компании в настоящее время 352 ед. техники, в том числе 106 автобусов, уже переоборудованы на газомоторное топливо.

Предприятием разработана целевая комплексная программа «Развитие газозаправочной сети автомобильных газонаполнительных



Газодизельный автомобиль специального назначения

В совещании приняли участие руководители муниципальных образований и предприятий ООО «Газпром трансгаз Югорск», ОАО «Газпромнефть-Тюмень», ООО «НГТ-Холдинг» и ОАО «Северавтотранс». Участникам совещания была представлена выставка автотранспортных средств, работающих на КПГ. Выступающие отмечали положительные аспекты использования газа в качестве моторного топлива. Вместе с тем были отмечены основные причины, сдерживающие увеличение парка транспортных средств, работающих на компримированном природном газе:

- отсутствие на федеральном уровне законодательных и нормативных документов, стимулирующих

использование компримированного природного газа в качестве моторного топлива;

- высокая стоимость переоборудования транспортных средств и отсутствие механизма рассрочки и кредитования при покупке газобаллонного оборудования;

- дополнительные финансовые затраты на переоборудование производственных баз транспортных предприятий, обучение водителей и обслуживающего персонала.

Основными результатами совещания стали рекомендации по разработке окружной нормативно-правовой базы стимулирования применения природного газа в качестве моторного топлива на территории автономного округа, а

также схемы размещения АГНКС и многотопливных автозаправочных станций на территории ХМАО – Югра.

В связи с тем, что природный газ является одним из перспективных видов моторного топлива, для проведения работы по его внедрению постановлением правительства автономного округа от 14.12.2012 г. № 504 создан Координационный совет, основными задачами которого являются разработка экономического механизма стимулирования перевода автомобильного транспорта юридических и физических лиц на использование газомоторного топлива, а также развитие инфраструктуры для перевода автомобильного транспорта на использование КПГ в качестве моторного топлива.

«Газэнергосеть-Нижний Новгород» приняла в опытную эксплуатацию автомобили на метане

В Нижнем Новгороде в феврале на площадке Горьковского автомобильного завода руководство компании «Газэнергосеть – Нижний Новгород» приняло в эксплуатацию от «Группы ГАЗ» первые десять серийных автомобилей «ГАЗель БИЗНЕС CNG» с битопливными двигателями УМЗ, работающими на бензине и КПГ.

Шесть бортовых и четыре грузопассажирских автомобилей будут

проходить опытную эксплуатацию в течение года. Все автомобили планируется использовать для нужд ООО «ГЭС-НН», в частности бортовые «ГАЗель БИЗНЕС CNG» будут доставлять потребителям бытовой газ в баллонах. Заправлять машины КПГ будут на АГНКС ООО «Газпром трансгаз Нижний Новгород». В ближайшей перспективе ООО «ГЭС-НН» планирует открытие собственной АГНКС на базе Кстовской газонаполнительной станции.

В ходе опытной эксплуатации автомобилей специалисты «Группы ГАЗ» регулярно будут проводить их диагностику. Информация, полученная от специалистов «Газэнергосети – Нижний Новгород», также будет использоваться для дальнейшего совершенствования и доработки автомобилей.

В конце 2012 г. автомобиль «ГАЗель БИЗНЕС CNG» сертифицирован

и получил Одобрение типа транспортного средства. Все узлы и компоненты газовой системы автомобиля также сертифицированы в соответствии с правилами Европейской экономи-



«ГАЗель БИЗНЕС CNG»

ческой комиссии ООН № 110. Автомобиль оснащен единым блоком управления двигателем (бензин + газ), который обеспечивает плавность переключения с одного вида топлива на другой и поддерживает оптимальное соотношение в горючей смеси воздуха и газа. В составе автомобиля – четыре газовых баллона объемом 53,4 л с максимальным рабочим давлением 20 МПа, запас хода на газовом топливе составляет 300 км.

**По материалам сайта
ОАО «Газпром газэнергосеть»**



Президент «Группы ГАЗ» Бу Андерссон (слева) вручает сертификат начальнику управления отраслевых инициатив ОАО «Газпром газэнергосеть» Анатолию Киму

Спрос на метан в Ставрополье растет

Филиал «Кавказавтогаз» ООО «Газпром трансгаз Ставрополь» в 2012 г. поставил более 52 млн м³ газа для заправки автотранспортных средств, обеспечив замещение 805 тыс. л бензина и 61 тыс. л



АГНКС Ессентуки-1

дизельного топлива. Совместно с правительством Ставропольского края Общество реализует комплексную программу по созданию сети автомобильных газонаполнительных станций и пунктов по переводу автотранспорта на природный газ.

В настоящее время Кавказавтогаз эксплуатирует 13 автомобильных газонаполнительных компрессорных станций, четыре пункта переоборудования и технического обслуживания автомобилей и два пункта переосвидетельствования баллонов. В текущем году в Ставропольском крае планируются строительство и

ввод в эксплуатацию еще четырех АГНКС.

Кавказавтогаз – лучшее предприятие в ОАО «Газпром» по уровню загрузки АГНКС. В 2012 г. АГНКС в Ессентуках стала лидером отрасли по темпам роста реализации КПГ. Этот показатель вырос на 25,8 % по сравнению с 2011 г. Кавказавтогаз перевел на природный газ в общей сложности более 4400 ед. автотранспорта, из них 276 автомобилей – в минувшем году. За счет использования природного газа в качестве газомоторного топлива потребители ООО «Газпром трансгаз Ставрополь» только в 2012 г. сэкономили более 13 млн рубл.

По материалам ООО «Газпром трансгаз Ставрополь»

Новая газобаллонная техника КАМАЗ

Очередные новинки пополнили модельный ряд газобаллонной спецтехники на шасси КАМАЗ.

Грузопассажирский автомобиль 3938P1 на полноприводном газомоторном шасси КАМАЗ-43114-3861-30 предназначен для перевозки вахтовой бригады до 6 чел. в кабине кузова, специализированного технологического оборудования и материалов, а также для выполнения ремонтных и настроечных работ. Специализированный кузов разделен на утеплен-

ную кабину с технологическим оборудованием и грузовую платформу.

Основное назначение бортового полноприводного автомобиля КАМАЗ-43118-34 – перевозка грузов весом до 10 т в условиях бездорожья. Автомобиль хорошо зарекомендовал себя в трудных условиях. На автомобиле установлен газовый двигатель КАМАЗ-820.74-300 с турбонаддувом, охлаждением наддувочного воздуха, электромагнитным дозатором, распыленным впрыском и искровым

зажиганием. Степень сжатия 1,2 МПа. Топливо – компримированный природный газ (ГОСТ 27577).

Топливная система обоих автомобилей оснащена баллонами общей вместимостью 1042 л или 284 м³ КПГ при давлении 20 МПа.

Данные модели – результат совместного труда специалистов ООО «РаритЭК» и ОАО «Азнакаевский завод НЕФТЕМАШ», который является одним из крупнейших изготовителей спецтехники для нужд нефтяной и газовой промышленности. Ежегодно завод выпускает более 800 ед. спецтехники и вагонов-домов.



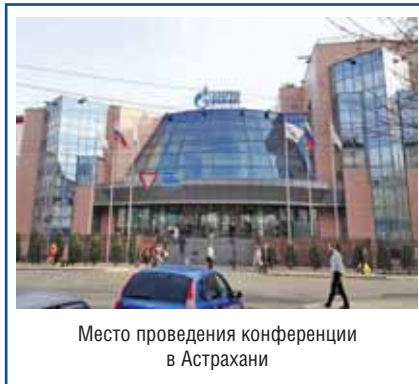
Грузопассажирский автомобиль 3938P1 на шасси КАМАЗ-43114-3861-30 (слева); бортовой полноприводный КАМАЗ-43118-34 (справа)

Саратов и Астрахань заботятся об экологии

В рамках сотрудничества с корпоративными клиентами ОАО «Газпром» компания «РариТЭК» провела технические конференции с руководителями подразделений и представителями транспортных служб ООО «Газпром добыча Астрахань» и ООО «Газпром трансгаз Саратов». На конференциях выступили ведущий специалист Сергей Белов с презентацией конструктивных нововведений автомобилей КАМАЗ, а также и.о. начальника отдела продаж ГБА Марат Баширов с презентацией модельного ряда и опыта эксплуатации газобаллонных автомобилей КАМАЗ.

На сегодняшний день в Саратове эксплуатируется 45 газобаллонных автомобилей КАМАЗ, и администрация города активно прорабатывается

вопрос дополнительного приобретения коммунальной техники, отвечающей современным экологическим и техническим стандартам. Увеличение числа газобаллонной автотехни-



Место проведения конференции в Астрахани

ки серийного производства в ООО «Газпром трансгаз Саратов» очень актуально и должно привести к строительству новых АГНКС.

Презентация в ООО «Газпром добыча Астрахань» была проведена в рамках совещания в ООО «Газэнерго-сеть Поволжье», в котором приняли участие главный инженер ОАО «Газпром газэнергосеть» Рамиль Садыков, генеральный директор ООО «Газэнерго-сеть Поволжье» Николай Потапов, министр промышленности, транспорта и природопользования Астраханской обл. Сергей Кржановский, а также представители администрации Астрахани и частные перевозчики.

Стороны отметили заинтересованность в сотрудничестве по использованию природного газа в качестве моторного топлива. Было отмечено, что уже в июле 2013 г. ООО «Газэнерго-сеть Поволжье» планирует ввести в эксплуатацию первую многотопливную заправку в Астраханской обл., а в 2014 г. будет запущена еще одна заправка компримированным природным газом.



Требования по подготовке статей к опубликованию в журнале

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

1. Все научно-технические статьи должны иметь **на русском и английском языках** следующие составляющие: **заголовок, ФИО авторов полностью, их должности, ученая степень (при наличии), контакты (e-mail, телефоны), аннотации, ключевые слова.**
2. Все английские тексты следует набирать только строчными буквами, сохраняя начальные прописные буквы в именах собственных.
3. Авторы остальных публикаций (информационных, рекламных и т.д.) представляют на русском и английском языках: **заголовок, ФИО авторов полностью, их должности, адрес и контакты (e-mail, телефоны).**

Материалы статей должны быть представлены по электронной почте в программе WinWord. Объем статьи – не более 14 400 знаков с пробелами.

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

ГОСТов. Текст, таблицы и графические рисунки должны быть выполнены в программе Word в формате doc, rtf. Фотографии (не менее 300 dpi, СМУК) – в формате jpg, jpeg, tiff, pdf. Отдельно необходимо представить список подрисуночных подписей. Не следует форматировать текст самостоятельно.

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

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

Abstracts of articles

C. 7

Estimation of Economic Efficiency of Electronic Control System of Gas Fuel Delivery «Blue-Pover Diesel»

Nikolay Mitkovsky, Gennady Shnitkov, Artyom Safonov

The article estimates economic efficiency of three operational modes was examined in the autotractor diesel engine: diesel mode, diesel-gas mode on the propane-butane technical mixture and diesel-gas mode on methane involving the electronic system of gas fuel delivery Blue-power Diesel.

Keywords: diesel engine, diesel cycle, diesel-gas cycle, propane-butane technical mixture, methane, electronic control system, economic efficiency.

C. 10

The basic principles of the automobile gas filling stations network

Yakov Mkrtychian

The paper presents the basic principles of the automobile gas supply system in the big cities. Special attention is paid to the creation of a dense network of small stations for natural gas fueling numerous city transport: cars, small- and medium-duty trucks and vans.

Keywords: compressed natural gas (CNG), liquefied natural gas (LNG), liquefied petroleum gas (LPG), CNG filling stations, automobile gas filling station, gas station.

C. 15

Fueling Station Based on Renewable Energy Sources for Hydrogen and Electric Vehicles

Ostap Losev, Irina Maruseva, Artem Pushkarev, Sergey Grigor`ev, Alexander Grigor`ev

The article describes the concept of a stationary filling station for hydrogen and electric vehicles on the basis of power plant with hydrogen accumulator on renewable energy sources and electrochemical systems with solid polymer electrolyte.

Keywords: fueling station, renewable energy source, electrochemical system, hydrogen accumulator, hydrogen car, electric car.

C. 19

Manufacturing Metal-Composite Cylinders

Sergey Semenishchev, Vadim Glukhov, Pavel Merzlyakov, Olga Kilina, Vladimir Popov

Is considered the first stage of manufacturing technology of metal-high pressure cylinders to three types of aluminum alloy liners - making liners. Are some features of the technology and equipment operation. The material may be useful for professionals engaged in the production of high pressure cylinders, as well as potential investors wishing to set up a new production of these cylinders.

Keywords: metal-composite cylinder liner, technology, tube cutting, trimming, calibration blanks rolling, seaming heads, heat treatment liners, processing throat cutting tools, hydraulic pressure test.

C. 26

Electrohydrodynamic engine

Vjacheslav Sokovikov, Pavel Stokov, Andrey Bekaev

The article is dedicated to electrohydrodynamic engine working without hydrocarbon fuel. Engine work is based on the electric discharge in the nonfreezing liquid located under piston volume of the cylinder. The engine efficiency can reach 75 %.

Keywords: Engine, piston, pressure, electrode, hydraulic.

C. 31

Comparative Analysis of Heat Transfer in Traditional and Hydrogen Diesel Engines

Revaz Kavtaradze, Andrey Zelentsov, Vladimir Krasnov, Yevgeniya Klimova

In paper there are presented the results of 3D simulation of local heat transfer in combustion chambers of traditional and hydrogen diesel engine with direct injection of gaseous hydrogen. Verification of the mod-

el was carried on basis of experimental data. Heat loss estimation was realized and heat fluxes of combustion chamber details (piston, cylinder head, cylinder) were obtained. Comparative analysis of working processes of engines under consideration was also made. Evaluation of local and summary (averaged over combustion chamber faces) heat fluxes was carried out with using of 3D-CRFD code FIRE in traditional and hydrogen diesel engines.

Keywords: alternative fuels, hydrogen diesel engine, local heat transfer.

C. 37

Experimental verification of the technology onboard cryogenic fuel filling system

Stanislav Gorbachev, Kristyna Kirienko

The results of experimental studies of refueling of cryogenic onboard fuel systems with liquid nitrogen and liquefied natural gas are represented. A number of fueling technologies are worked out and obtained results are compared with the calculated models of the processes.

Keywords: cryogenic onboard fuel system, liquefied natural gas, tubeless filling, technology fueling.

C. 43

Volume forecast model of gas motor fuel consumption in settlement

Andrey Evstifeev

Correctly to determine organization expediency and forms of gas motor fuel supply in concrete district or settlement is labor-intensive and poorly formalized process. The article offers the forecast assessment mathematical model of changing real need for gas motor fuel.

Keywords: Gas motor fuel, consumer supply, forecast mathematical model, liquefied natural gas, comprehensive natural gas.

C. 48

Experimental Comparison of Combustion Process of Petrol and Lpg Fuels in Automobile Engines

Stanislav Tikhomirov

The paper presents the results of experimental research of automobile engine with the fourth genera-

tion of LPG supply. A comparison of the combustion velocity and exhaust gas temperature of petrol and gas mixtures of different composition is presented.

Keywords: LPG, combustion velocity, spark advance, air-fuel ratio.

C. 56

Operation of Vehicle Diesel Engine on Mixtures of Diesel Fuel and Sunflower Oil Methyl Ester

Vladimir Markov, Sergey Devyanin, Stanislav Nagornov

Results of experimental research of a vehicle diesel engine of the type D-245.12S of the small tonnage car ZIL 5301 «Bychok» running on mixtures diesel fuel and sunflower oil methyl ester have been shown. The possibility of the substantial improvement of toxicity factors of exhaust gases of the investigated diesel engine is confirmed in its operation on mixed biofuels.

Keywords: diesel engine, diesel fuel, sunflower oil methyl ester, mixed biofuel, exhaust gas toxicity.

C. 63

Express quality control of biofuels at operation of mobile transport

Vsevolod Kovalenko, Elena Ulyukina, Alexey Novik

Methods of the quality of biofuels express-control were developed: determination of content of mechanical impurities, water, kinematic viscosity and the maximum size of solid particles.

Keywords: the quality of the biofuel; express-methods; pollution; viscosity.

C. 70

Loading modes of the bus engine running on natural gas

Ilmir Gattarov, Aleksey Frolov

This article presents the results of operational tests city buses running on natural gas, during work on the line. Identify areas characteristic modes of operation of the gas engine on the line.

Keywords: gas engine, engine speed, manifold pressure, compressed natural gas, emissions, the electronic engine control unit.

Авторы статей в журнале № 3 (33) 2013 г.

Бекаев Андрей Анатольевич,
доцент Университета машиностроения,
кафедра «АССИ», к.т.н.,
р.т. (495) 223-05-32, доб. 1151

Гаттаров Ильмир Фаритович,
аспирант филиала ФГАО ВПО «Казанский
(Приволжский) федеральный университет»
(г. Набережные Челны),
тел.: +7 904 767 10 25, e-mail: gilm86@mail.ru

Глухов Вадим Павлович,
к.т.н., главный технолог ООО «Научно-
производственное предприятие «Высокие
технологии для Газпрома»,
426008, г. Ижевск, ул. К.Маркса, д. 264а,
тел.+7 3412 911-067,
e-mail: hi-tec11@mail.ru

Горбачев Станислав Прокофьевич,
профессор, главный научный сотрудник, д.т.н.,
ООО «Газпром ВНИИГАЗ», а/я 130, Москва,
115583, Россия, тел.: +7 (498) 657 4205,
e-mail: S_Gorbachev@vniigaz.gazprom.ru

Григорьев Александр Сергеевич,
начальник отдела НИЦ «Курчатовский
институт», к.т.н.,
e-mail: grig@dserver.dhpt.kiae.ru

Григорьев Сергей Александрович,
начальник отдела НИЦ «Курчатовский
институт», д.т.н. / профессор Национального
исследовательского университета «МЭИ»,
e-mail: sergei_grigoriev@yahoo.com

Деяннин Сергей Николаевич,
д.т.н., профессор, заведующий кафедрой
«Тракторы и автомобили» Московского
государственного агроинженерного
университета им. В.П. Горячкина
(МГАУ им. В.П. Горячкина),
тел. 8-917-519-63-94

Евстифеев Андрей Александрович,
начальник лаборатории ООО «Газпром
ВНИИГАЗ», 115583, Москва, а/я 130,
тел.: (910) 460-78-86,
e-mail: A_Evstifeev@vniigaz.gazprom.ru

Зеленцов Андрей Александрович,
к.т.н., доцент кафедры «Поршневые
двигатели» (32) МГТУ им. Н.Э. Баумана,
тел. 8 916 973-41-92,
e-mail: zelentsov.aa@gmail.com

Кавтарадзе Реваз Зурабович,
профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана, д.т.н.,
м.т. 8 910 469-00-12, р.т. (499) 265-78-92,
e-mail: kavtaradzer@mail.ru

Килина Ольга Владиславовна,
директор по качеству ООО «Научно-
производственное предприятие «Высокие
технологии для Газпрома»,
тел. (3412) 911-067, e-mail: hi-tec11@mail.ru

Кириенко Кристина Игоревна,
младший научный сотрудник ООО «Газпром
ВНИИГАЗ», а/я 130, Москва, 115583, Россия,

тел.: (498) 657 4310,
e-mail: K_Kirienko@vniigaz.gazprom.ru

Климова Евгения Викторовна,
аспирант кафедры «Поршневые двигатели»
(32) МГТУ им. Н.Э. Баумана,
тел. 8 929 606-54-07

Коваленко Всеволод Павлович,
д.т.н., профессор кафедры Автомобильный
транспорт ФГБОУ ВПО Московский
государственный агроинженерный
университет им. В.П. Горячкина,
р.т. (499) 976 38 37, доб. 271

Краснов Владимир Михайлович,
аспирант кафедры «Поршневые двигатели»
(32) МГТУ им. Н.Э. Баумана,
тел. 8 963 979-25-53,
e-mail: vikrasnov@gmail.com

Лосев Остап Геннадьевич,
инженер-исследователь НИЦ «Курчатовский
институт» / аспирант Национального
исследовательского университета «МЭИ»,
e-mail: shtuzzer@mail.ru

Макуха Ирина Михайловна,
начальник отдела департамента по
недропользованию ХМАО – Югры,
тел.: (3467) 35-30-15, MakuhaIM@admhmao.ru

Марков Владимир Анатольевич,
д.т.н., профессор кафедры «Теплофизика»
МГТУ им. Н.Э. Баумана, м.т. 8 917 584-49-54,
р.т. (499) 263-69-18,
e-mail: markov@power.bmstu.ru

Марусева Ирина Викторовна,
инженер-исследователь НИЦ «Курчатовский
институт» / студентка Национального
исследовательского университета «МЭИ»,
e-mail: irina_maruseva@mail.ru

Мерзляков Павел Павлович,
главный конструктор ООО «Научно-
производственное предприятие «Высокие
технологии для Газпрома»,
тел. (3412) 911-067, e-mail: hi-tec11@mail.ru

Митьковский Николай Михайлович,
генеральный директор ООО
«Автогазопаратура» (Новосибирск),
тел. 8 913 387-37-11, e-mail: mitnik@ngs.ru

Мкртычан Яков Сергеевич,
профессор, д.т.н., м.т. 8 916 860-22-13

Нагорнов Станислав Александрович,
д.т.н., заместитель директора по науке
Всероссийского научно-исследовательского
института использования техники и
нефтепродуктов Россельхозакадемии
(ГНУ «ВИИТиН», г. Тамбов), профессор
Тамбовского государственного технического
университета (ТГТУ), м.т. 8 915 670-58-29

Новик Алексей Сергеевич,
аспирант каф. Автомобильный транспорт
ФГБОУ ВПО Московский государственный

агроинженерный университет
им. В.П. Горячкина,
моб. тел. 8 (926) 106 21 27

Попов Владимир Кимович,
директор по производству ООО «Научно-
производственное предприятие «Высокие
технологии для Газпрома»,
тел. (3412) 911-067, e-mail: hi-tec11@mail.ru

Пронин Евгений Николаевич,
руководитель исследовательской группы
5.3 Международного газового союза,
исполнительный директор НГА,
e-mail: e.pronin@mail.ru

Пушкарёв Артём Сергеевич,
инженер-исследователь НИЦ «Курчатовский
институт» / студент Национального
исследовательского университета «МЭИ»,
e-mail: artem555551@mail.ru

Сафонов Артём Владимирович,
старший преподаватель ФГБОУ ВПО
Новосибирский государственный аграрный
университет (НГАУ),
тел. 8 913 739-19-42,
e-mail: www.mtz@mail.ru

Семенцев Сергей Петрович,
к.т.н., генеральный директор ООО «Научно-
производственное предприятие «Высокие
технологии для Газпрома»,
426008, г. Ижевск, ул. К.Маркса, д. 264а,
тел.+7 3412 911-067,
м.т. 8 912 767-81-14, e-mail: hi-tec11@mail.ru

Сокоиков Вячеслав Капитонович,
профессор МАМИ, кафедра
«Гидравлика и ГПП», д.т.н.,
тел. (495) 223-05-23, доб. 1444

Строков Павел Игоревич,
аспирант Университета машиностроения,
тел: (926) 274-25-08

Тихомиров Станислав Александрович,
генеральный директор ООО «Финанс-эксперт»,
аспирант кафедры «Энергетические установки
и тепловые двигатели» Нижегородского
государственного технического университета
им. Р.Е. Алексеева по специальности 05.04.02
Тепловые двигатели,
тел. 8 950 620 9296,
e-mail: adolfsax@yandex.ru

Улюкина Елена Анатольевна,
к.х.н., доцент, заведующая кафедрой химии
ФГБОУ ВПО Московский государственный
агроинженерный университет
им. В.П. Горячкина, р.т. (499) 976 38 37, доб. 234

Фролов Алексей Маркович,
к.т.н., доцент филиала ФГАО ВПО
«Казанский (Приволжский) федеральный
университет» в г. Набережные Челны,
e-mail: froloff_alex@mail.ru

Шнитков Геннадий Владимирович,
старший преподаватель ФГБОУ ВПО
Новосибирский государственный аграрный
университет (НГАУ),
тел. 8 952 939-03-70,
e-mail: mr_shnit@rambler.ru

Contributors to journal issue No. 3 (33) 2013

Bekaev Andrey,

docent of University of mechanical engineering, Ph.D.,
phone: +7 (495) 223-05-32, + 1151

Devyanin Sergey,

D. Sc. (Eng.), professor, head of «Tractors and Automobiles» department of the Moscow State University for Agriculture and Engineering n.a. V.P. Goryachkin,
m.t. + 7 917 519-63-94

Evstifeev Andrey,

JSC «Gazprom VNIIGAZ», p/o 130, Moscow, Russia, 115583,
email: A_Evstifeev@vniigaz.gazprom.ru

Frolov Aleksey,

Ph.D., of branch «Kazan federal university» in Naberezhnye Chelny,
e-mail: froloff_alex@mail.ru

Gattarov Ilmir,

postgraduate student of branch «Kazan federal university» (Naberezhnye Chelny),
phone: +7 904 767 10 25,
e-mail: gilm86@mail.ru

Glukhov Vadim P.,

Ph.D., chief Technology Officer of «Research and Production Enterprise «High technology for Gazprom», t.+7 3412 911-067,
e-mail: hi-tec11@mail.ru

Gorbachev Stanislav,

Chief Research Associate, Doctor of technical sciences, professor,
e-mail: S_Gorbachev@vniigaz.gazprom.ru

Grigor'ev Alexander,

department head National Research Center «Kurchatov Institute»,
e-mail: grig@dserver.dhtp.kiae.ru

Grigor'ev Sergey,

department head National Research Center «Kurchatov Institute» doctor of engineering (sciences),
e-mail: sergei_grigoriev@yahoo.com

Kavtaradze Revaz,

Professor of N.E. Bauman's MG TU, Doctor of Engineering,
mobile phone: + 7 910 469-00-12,
office phone: + 7 (499) 265-78-92,
e-mail: kavtaradzerz@mail.ru

Kilina Olga,

Quality Director of «Research and Production Enterprise «High technology for Gazprom»,
phone: + 7 (3412) 911-067,
e-mail: hi-tec11@mail.ru

Kirienko Irina,

JSC «Gazprom VNIIGAZ»,
p/o 130, Moscow, Russia, 115583,

phone: +7 (498) 657 4310,
e-mail: K_Kirienko@vniigaz.gazprom.ru

Klimova Yevgeniya,

graduate student of Bauman Moscow State Technical University,
phone: + 7 929 6065407

Kovalenko Vsevolod,

D. Sc. (Eng.), professor department of the Moscow State University for Agriculture and Engineering n.a. V.P. Goryachkin,
phone: + 7 (499) 976-38-37, extension 271

Krasnov Vladimir,

graduate student of Bauman Moscow State Technical University,
phone: + 7 963 9792553,
e-mail: vikrasnov@gmail.com

Losev Ostop,

research engineer National Research Center «Kurchatov Institute»/ PhD student Moscow Power Engineering Institute,
e-mail: shtuzzer@mail.ru

Makukha Irina,

Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug – Ugra, Department of Mineral Resources, Head of Unit, phone: +7 (3467) 35-30-15,
e-mail: MakuhaIM@admhmao.ru

Markov Vladimir A.,

PhD, Engng, professor of «Heat Physics» department of the Bauman Moscow State Technical University,
phone: + 7 917 584-49-54

Maruseva Irina,

research engineer National Research Center «Kurchatov Institute»/ student Moscow Power Engineering Institute,
e-mail: irina_maruseva@mail.ru

Merzlyakov Pavel,

Chief Designer of «Research and Production Enterprise «High technology for Gazprom»,
phone: + 7 (3412) 911-067,
e-mail: hi-tec11@mail.ru

Mitkovsky Nikolay,

general director of JSC Adjusting Center Sibavtogazapparatura,
phone: + 7 913 387-37-11,
e-mail: mitnik@ngs.ru

Mkrtychian Yakov,

PhD, professor, phone: + 7 916 860-22-13

Nagornov Stanislav A.,

Dr. Sci. Tech., Deputy Director for Science of the Russian Research Institute for the use of technology and products Rosselkhosakademia (Tambov), Prof., Tambov State Technical University,
m.t. + 7 915 670-58-29

Novik Alexey,

PhD student, Moscow State University for Agriculture and Engineering n.a. V.P. Goryachkin, phone: + 7 (926) 106 21 27

Popov Vladimir,

Production Director of «Research and Production Enterprise «High technology for Gazprom»,
phone: + 7 (3412) 911-067,
e-mail: hi-tec11@mail.ru

Pronin Evgeny,

Executive Director of the National Gas Vehicle Association,
e-mail: e.pronin@mail.ru

Pushkarev Artem,

research engineer National Research Center «Kurchatov Institute»/student Moscow Power Engineering Institute,
e-mail: artem555551@mail.ru

Safonov Artem,

senior teacher of Novosibirsk state agrarian university,
phone: + 7 913 739-19-42,
e-mail: www.mtz@mail.ru

Semenishchev Sergey P.,

Ph.D., General Director of «Research and Production Enterprise «High technology for Gazprom», m.t. + 7 912 767-81-14,
e-mail: hi-tec11@mail.ru

Shnitkov Gennady,

senior teacher of Novosibirsk state agrarian university,
phone: + 7 952 939-03-70,
e-mail: mr_shnit@rambler.ru

Sokovikov Vjacheslav,

professor of University of mechanical engineering, PhD,
phone: + 7 (495) 223-05-23 +1444

Strokov Pavel,

postgraduate of University of mechanical engineering,
phone: + 7 (926) 274-25-08

Tikhomirov Stanislav,

post graduate student of the «Power plants and heat engines» department, Nizhniy Novgorod state technical university named after R.E. Alekseev,
e-mail: adolfsax@yandex.ru

Ulyukina Elena,

candidate of science, head of department of the Moscow State University for Agriculture and Engineering n.a. V.P. Goryachkin,
phone: + 7 (499) 976 38 37, extension 234

Zelentsov Andrey,

Dr., Associate Professor of Bauman Moscow State Technical University,
phone: + 7 916 973-41-92,
e-mail: zelentsov.aa@gmail.com

Подписка – 2013

Международный научно-технический журнал «Транспорт на альтернативном топливе»

Россия, 115304, Москва, ул. Луганская, д. 11.

Тел.: 321-50-44, 321-62-81, e-mail: transport.1@ngvrus.ru, transport.2@ngvrus.ru • www.ngvrus.ru

Уважаемые читатели!
Продолжается подписка на 2013 г.

Подписчики	Годовая, 6 номеров	I полугодие, 3 номера
Россия	3630 руб. (включая 10 % НДС)	1815 руб. (включая 10 % НДС)
Страны СНГ	3630 руб. (включая 10 % НДС)	1815 руб. (включая 10 % НДС)
Страны дальнего зарубежья	190 евро / 250 долл.	120 евро / 170 долл.

Отдельные экземпляры журнала (550 руб. + 10% НДС = 605 руб.) можно приобрести в редакции.

Электронная версия журнала (формат PDF, 6 номеров):

– для РФ и стран СНГ – 1700 руб., включая НДС 18 %.

– для стран дальнего зарубежья – 100 евро / 140 долл. США.

Подписку на 2013 г. можно оформить по факсу, электронной почте или непосредственно в редакции; также через агентства «Роспечать» (подписной индекс **72149**), «Межрегиональное агентство подписки» (Каталог Российская пресса – Почта России, подписной индекс **12718**).

Стоимость размещения рекламных полноцветных материалов в журнале:

В текстовом блоке	В рублях	В долларах США	В евро
1 страница (210×290 мм)	20 тыс. + 18 % НДС	850	625
½ страницы (125×176 мм)	12 тыс. + 18 % НДС	500	350
¼ страницы (70×176 мм)	7 тыс. + 18 % НДС	290	200
Презентация (1 стр.)	10 тыс. + 18 % НДС	300	170
Специальный раздел (1 стр.)	1,5 тыс. + 18 % НДС	–	–
На обложке			
1-я страница (150×210 мм)	20 тыс. + 18 % НДС	850	625
2-я или 3-я страницы (290×210 мм)	25 тыс. + 18 % НДС	1350	1000
4-я страница (290×210 мм)	30 тыс. + 18 % НДС	1450	1100

Технические требования к рекламным модулям:

Макет должен быть представлен в электронном виде: форматы eps, tiff, jpeg, pdf.

Требуемые разрешения: полноцветные и монохромные материалы не менее 300 dpi.