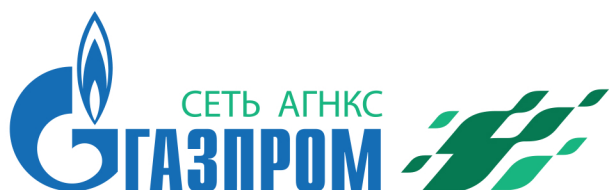




ТРАНСПОРТ НА АЛЬТЕРНАТИВНОМ ТОПЛИВЕ



№ 6 (54) 2016



В 21 регионе России появились
новые АГНКС «Газпром»



Газовый Форум: новые горизонты развития рынка ГМТ
Добавление водорода в топливовоздушную смесь ДВС
Эра беспилотных автомобилей

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

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-30114

Включен в Перечень ВАК

Учредитель и издатель

НП «Национальная газомоторная ассоциация» (НГА),
аффилирована с Международным газовым союзом

Периодичность

6 номеров в год

Главный редактор

П.Г. Цыбульский

зам. генерального директора ООО «Газпром ВНИИГАЗ», к.т.н.

Члены редакционной коллегии

Б.В. Будзуляк

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

С.П. Горбачев

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

В.И. Ерохов

профессор «МАМИ», д.т.н.

Р.З. Кавтарадзе

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

Т.В. Климова

заместитель главного редактора

С.И. Козлов

д.т.н.

С.В. Люгай

директор Центра использования газа
ООО «Газпром ВНИИГАЗ», к.т.н., исполнительный директор НГА

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

член совета НГА

В.Л. Стаивко

ветеран газовой отрасли, к.т.н.

В.Н. Фатеев

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

Редактор

О.А. Ершова

E-mail: transport.1@ngvrus.ru

Тел.: +7 (498) 657 29 76

Отдел подписки и рекламы

E-mail: transport.2@ngvrus.ru

Тел.: +7 (498) 657 29 77

Перевод

А.И. Хлыстова

Компьютерная верстка

И.В. Шерстюк

Адрес редакции:

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

Отпечатано с представленного электронного оригинал-макета

в ООО «Типография «ПАРТНЕР-ПРИНТ»

109202, Москва, Басовская ул., 16, стр. 1

Номер заказа

Сдано на верстку 15.10.2016 г.

Подписано в печать 15.11.2016 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: карта расположения новых АГНКС «Газпром» в 2016 году

В НОМЕРЕ

Поздравление с Новым годом.	3
Газовый Форум: новые горизонты развития рынка газомоторного топлива	4
Семинар «Сжиженный природный газ (СПГ): производство, транспортировка, хранение и использование»	7
Рачевский Б.С. Методы быстрой оценки технико-экономических показателей заводов и проектов производства–потребления СПГ	10
Гусаков С.В., Кульчицкий А.Р. Межцикловая вариабельность поршневых газовых двигателей	17
Лиханов В.А., Лопатин О.П. Применение природного газа в дизеле с охлаждением наддувочного воздуха	22
Овсянников Е.М., Гайтова Т.Б., Клюкин П.Н., Полякова В.Н. Устройство для производства и добавления водорода в топливозодушную смесь двигателей внутреннего сгорания	28
Марков В.А., Девянин С.Н., Зыков С.А., Са Бовэнь Вязкостные характеристики многокомпонентных смесевых биотоплив на основе растительных масел	33
Люгай С.В., Балашов М.Л., Евстифеев А.А. Оценка времени ожидания заправки транспортного средства на АГНКС	50
Развитие рынка газомоторного топлива	55
Подписан инвестиционный контракт по производству в Томской области	56
Топливные присадки 2016: что придет на замену?	57
Новые тенденции рынка СУГ: охранной грамоты нет!	63
GasSuf 2016 представила новое оборудование для перевода техники на газомоторное топливо	68
Пронин Е.Н. Эра беспилотных автомобилей	70
Стимулирование развития альтернативного топлива в США	74
Водородные автобусы Toyota FC Bus выедут на маршрут в Токио в 2017 году	77
Abstracts of articles	78
Авторы статей в журнале № 6 (54) 2016 г.	80



Founder and Publisher

Non-Commercial Partnership National Gas-Vehicle
Association (NGVRUS), is affiliated with IGU

Published

6 issues a year

Editor-in-Chief

Tsybul'sky, P.G.

Deputy General Director 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

Gorbachev, S.P.

Professor, Gazprom VNIIGAZ, Doctor of Engineering

Kavtaradze, R.Z.

Professor of N.E. Bauman's MGTU, Doctor of Engineering

Klimova, T.V.

*acting Head of Public and Mass Media Relations Service
of Gazprom VNIIGAZ, deputy chief editor*

Kozlov, S.I.

Doctor of Engineering

Lyugai, S.V.

PhD, Director of the Centre «Gas Use»,

JSC «Gazprom VNIIGAZ»,

executive director, NGVRUS

Markov, V.A.

Professor of N.E. Bauman's MGTU,

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), PhD

Patrakhaltsev, N.N.

Professor of People's Friendship University of Russia,

Doctor of Engineering

Pronin, E.N.

member of the Council, NGVRUS

Stativko, V.L.

The vet of gas industry, Candidate of Science

Fateev, V.N.

Deputy Director of RNC Kurchatovsky Institute,

Doctor of Chemistry

Editor

Ershova, O.A.

E-mail: transport.1@ngvrus.ru

Phone.: +7 (498) 657 29 76

Subscription and Distribution Department

E-mail: transport.2@ngvrus.ru

Phone.: +7 (498) 657 29 77

Translation by

Khlystova A.I.

Computer imposition

Sherstyuk, I.V.

Editorial office address:

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

Moskovskaya obl, 142717

www.ngvrus.ru

Order number

Passed for press on 15.10.2016

Endorsed to be printed on 15.11.2016

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

Gas Forum: New perspective for NGV fuel market development	4
Seminar «Liquefied natural gas (LNG): production, transportation, storage and usage».	7
Boris Rachevsky Methods for rapid assessment of plants' technical and economic indicators and LNG supply-demand projects.	10
Sergey Gusakov, Alexey Kulchitskiy Intercycle variability of piston gas engines	17
Vitaly Likhanov, Oleg Lopatin The use of natural gas in diesel with charge air cooling.	22
Evgeniy Ovsyannikov, Tamara Gaitova, Pavel Klyukin, Valentina Poliakova Device for producing and addition of hydrogen into fuel-air mixture for internal combustion engine	28
Vladimir Markov, Sergey Devyanin, Sergey Zykov, Sa Bowen' Viscosity Characteristics of Multicomponent Mixed Biofuels Based on Vegetable Oils	33
Stanislav Lyugai, Mikhail Balashov, Andrew Evstifeev Latency evaluation of vehicle refueling at CNG stations.	50
The growth of domestic NGV fuel market	55
The investment contract on import-substituting equipment production in the Tomsk region for Gazprom was signed	56
The fuel additives of 2016: what will be the substitution?	57
Emerging trends of the LPG market with no safe-conduct	63
New equipment for vehicle transition onto NGV fuel was presented at the GasSuf 2016	68
Eugene Pronin Age of self-driving cars	70
Encouragement of the alternative fuel development in the US	74
Toyota FC Bus Hydrogen buses will take the Tokyo roads in 2017	77
Abstracts of articles	78
Contributors to journal issue № 6 (54) 2016.	80

С Новым годом, друзья!

Закончился очередной этап нашей с вами работы по развитию использования природного газа в качестве моторного топлива в нашей стране и мире. Многое удалось сделать. В каждом номере нашего журнала мы рассказывали о достижениях и опыте, научных открытиях и изобретениях в этой области. Открываются новые газозаправочные станции, разрабатываются современные технологии и оборудование, расширяется линейка выпускаемой промышленностью газомоторной техники.

Однако процесс внедрения альтернативных топлив на территории нашей страны идет, к сожалению, недостаточно высокими темпами. В наступающем году предстоит преодолеть и реализовать еще больше задач, при решении которых всем нам понадобится здоровье, настрой на плодотворную работу, энтузиазм и, конечно, удача. Именно этого и хотелось бы пожелать всем нашим партнерам, читателям, авторам.

Уважаемые друзья, с Новым годом! Пусть высокая цель дает вам силы для новых достижений и успехов. Счастья, здоровья, благополучия вам и вашим близким!

Коллектив

НП «Национальная газомоторная ассоциация»



Газовый Форум: новые горизонты развития рынка газомоторного топлива

В начале октября в Санкт-Петербурге состоялся VI Международный Газовый Форум, который является традиционным местом встречи участников рынка газомоторного топлива.



Алексей Миллер и Виктор Зубков во время телемоста

Начало мероприятия ознаменовалось торжественным вводом в эксплуатацию 14 автомобильных газонаполнительных компрессорных станций (АГНКС) федеральной сети «Газпром» в шести федеральных округах России. Старт работе новых газозаправочных объектов в режиме телемоста дали председатель совета директоров ПАО «Газпром» Виктор Зубков и председатель правления ПАО «Газпром» Алексей Миллер. Станции открылись в Барнауле, Борисоглебске, Великом Новгороде, Гатчине, Ипатове, Новокузнецке, Новосибирске, Орске, Семилуках, Санкт-Петербурге, Томске, Уфе, Южно-Сахалинске и Ярославле. Общая производительность объектов составляет около 100 млн кубометров

природного газа в год. Ежедневно на них сможет заправляться 8 тыс. единиц техники.

Новые газозаправочные станции в Алтайском крае, Кемеровской, Новосибирской и Томской областях позволят сформировать газомоторные коридоры между крупными городами и административными центрами Западной Сибири. Станция в Южно-Сахалинске стала первой в Сахалинской области и самой восточной в России. Она положила начало формированию рынка газомоторного топлива в этом регионе.

АГНКС в Ярославле, Семилуках и Борисоглебске – первые объекты по заправке автомобилей метаном, построенные в этих городах. Всего с учетом

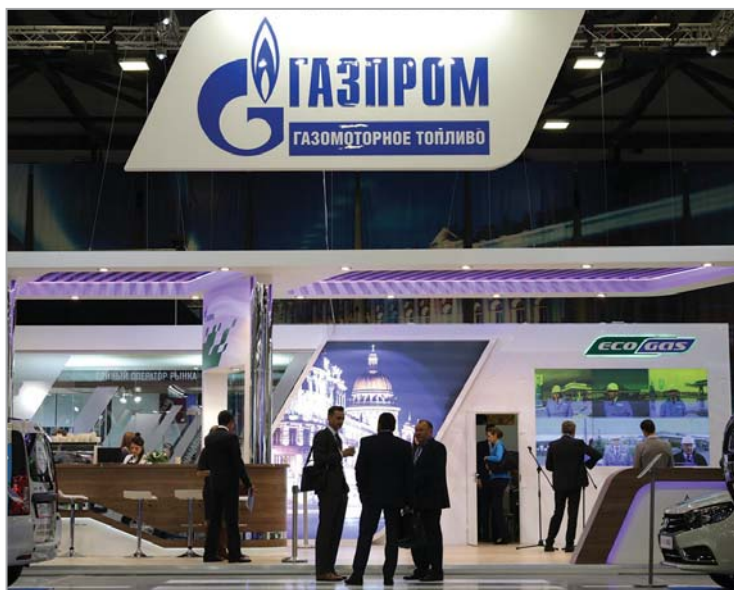
введенных станций до конца года в 21 регионе России будет завершено строительство 35 новых АГНКС и проведена реконструкция четырех действующих.

Для наглядной демонстрации комплексного развития рынка газомоторного топлива участникам Форума представили экспозицию «Газомоторный город», центральной частью которого выступил стилизованный под АГНКС стенд «Газпром газомоторное топливо».

Немаловажной частью мероприятия стала экспозиция образцов техники, работающей на природном газе, представленная ведущими российскими и зарубежными автопроизводителями: Lada Vesta CNG, Lada Largus CNG, Scoda Octavia CNG, УАЗ Патриот, универсальный колесный трактор АГРО-МАШ 60ТК МЕТАН. Часть автомобилей была доступна для тест-драйва.

Деловая программа, подготовленная компанией «Газпром газомоторное топливо», включала две конференции по вопросам использования компримированного (КПГ) и сжиженного (СПГ) природного газа в качестве моторного топлива, а также ряд деловых встреч, в ходе которых состоялось подписание соглашений о сотрудничестве. Ключевыми темами обсуждения стали вопросы развития рынка газомоторного топлива.

На практической конференции «Ключевые аспекты использования компримированного природного газа в качестве моторного топлива» особое внимание было уделено новым правилам технического регламента по регистрации газобаллонного оборудования, снижению разницы в стоимости между жидкотопливными и газовыми модификациями автомобилей, обновлению парков техники.



На стенде «Газпром газомоторное топливо»

Компримированный природный газ перспективно использовать на пассажирском, легком коммерческом, легковом транспорте, коммунальной технике. Расширению потребления КПГ будет способствовать развитие газозаправочной сети и выпуск доступной для потребителей газомоторной техники.

В рамках конференции «Ключевые аспекты использования сжиженного природного газа в качестве моторного топлива» участники обсудили методологию создания производственно-сбытовой инфраструктуры СПГ и пилотные проекты по его внедрению в различных сегментах транспорта. Прогнозируется, что ключевыми потребителями СПГ станут магистральный автомобильный, водный, железнодорожный транспорт, карьерная и сельскохозяйственная техника.

В качестве основных технологий производства малотоннажного СПГ рассматриваются строительство комплексов сжижения природного газа (КСПГ) на ГРС с использованием турбодетандера, КСПГ частичного сжижения

Новости отрасли



Образцы газомоторной техники

на базе ГРС с внешним охлаждением, автономный КСПГ полного сжижения, мобильный КСПГ на АГНКС. К 2032 году потенциальные производственные мощности на 104 КСПГ составят около 5,5 млн т СПГ в год.

Инфраструктура сбыта СПГ будет реализована посредством строительства КриоАЗС, АГНКС с блоками сжиженного газа, с помощью передвижных и мобильных установок, предназначенных для хранения, заправки и транспортировки сжиженного газа

(КриоПАГЗ). К 2032 году сеть КриоАЗС «Газпром» будет насчитывать около 280 объектов.

По мере развития производственно-сбытовой инфраструктуры спрос на сжиженный природный газ будет расти и к 2030 году составит 5,2 млн т в год. При этом ведущим потребителем станет магистральный автотранспорт с годовым потреблением в 1,7 млн т. Также к 2030 году около 15 % дизельного топлива и флотского мазута планируется заменить сжиженным природным газом. Результатом такого масштабного внедрения станет мультиэкономический эффект – топливные издержки сократятся на 440 млрд рублей, а федеральный бюджет получит дополнительные 120 млрд рублей.

В рамках Форума компания «Газпром газомоторное топливо» подписала ряд соглашений о сотрудничестве. К строительству газозаправочной сети планируется привлекать частных инвесторов: «Кировский завод – Газовые технологии», «Газко-Метан Саратов». Расширяется взаимодействие с лизинговыми компаниями – в частности, подписанное с «Нацпромлизинг» соглашение направлено на развитие финансовых инструментов для потребителей газобаллонной техники. Газомоторные проекты планируется развивать и на международном уровне – соответствующие договоренности достигнуты с эстонской «ДжетГаз» и «Газпром трансгаз Беларусь».

Управление внешних коммуникаций
ООО «Газпром газомоторное топливо»

Семинар «Сжиженный природный газ (СПГ): производство, транспортировка, хранение и использование» ⁷

17 ноября Национальная газомоторная ассоциация провела очередной пятый семинар на тему «Сжиженный природный газ (СПГ): производство, транспортировка, хранение и использование». Мероприятие состоялось в ООО «Газпром ВНИИГАЗ».



В президиуме семинара

Открыл семинар директор Центра использования газа ООО «Газпром ВНИИГАЗ», исполнительный директор НП «НГА» С.В. Люгай. В своем вступительном слове Станислав Владимирович подчеркнул, что в настоящее время большой интерес вызывает малотоннажное производство и использование сжиженного природного газа (СПГ). Однако для широкомасштабного развития необходимо решение ряда вопросов, особенно – обеспечение требований пожаробезопасности объектов производства, транспортировки, хранения и использования СПГ в соответствии с Федеральным законом от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».

С вступительным словом к участникам семинара обратился генеральный директор ООО «Газпром трансгаз Екатеринбург», председатель совета НП «НГА» Д.Д. Гайдт. Давид Давидович охарактеризовал круг проблем, связанных с организацией малотоннажного производства СПГ на ГРС и в целом с заправочным бизнесом газомоторного топлива. Большое внимание также было уделено вопросам пожарной безопасности, нормативно-технической документации. В заключение Д.Д. Гайдт пожелал всем участникам конструктивного обмена мнениями.

С приветственным словом к участникам семинара обратился заместитель генерального директора по науке ООО «Газпром ВНИИГАЗ» А.З. Шайхутдинов. Александр Зайнетдинович отметил актуальность обсуждаемой на семинаре тематики. Рассказал об опыте института в разработке программных документов, технико-технологических решений, нормативно-технической документации в области малотоннажного СПГ.



В.Л. Карпов



С.П. Горбачев



Г.С. Аكوпова

На семинаре рассматривались три основных доклада:

- «Анализ аварийных ситуаций и сценариев развития аварий на объектах малотоннажного производства и потребления СПГ. Требования пожарной безопасности», докладчик – главный научный сотрудник ФГБУ ВНИИПО МЧС России, д.т.н. В.Л. Карпов;
- «Технические решения по обеспечению пожарной безопасности», докладчик – главный научный сотрудник ООО «Газпром ВНИИГАЗ», д.т.н., проф. С.П. Горбачев;
- «Методические подходы по определению нормативов потерь природного газа на объектах малотоннажного производства и потребления СПГ», докладчик – начальник лаборатории охраны окружающей среды и ресурсосбережения ООО «Газпром ВНИИГАЗ», к.т.н. Г.С. Аكوпова.

Вадим Леонидович Карпов в своем докладе рассказал о техническом регулировании в области пожарной безопасности, методах оценки поражающих факторов аварий с пожарами и взрывами СПГ, оценках пожарного риска при авариях на объектах малотоннажного производства, хранения и использования СПГ, проведении анализа пожарной опасности объекта, вычислении опасных факторов пожара для различных сценариев его развития, способах повышения пожарной безопасности объектов хранения и использования СПГ.

Доклад В.Л. Карпова сопровождался фильмами, которые наглядно проиллюстрировали положения доклада.

Станислав Прокофьевич Горбачев в своем докладе проинформировал об основных нормативных документах в области малотоннажного СПГ, возможных авариях и инцидентах на объектах производства и использования малотоннажного СПГ, об опыте специалистов Центра использования газа ООО «Газпром ВНИИГАЗ» по проведению экспериментальных работ, в частности, бездренажной заправке автотранспортных средств, огневым испытаниям теплозащитного покрытия. А самое главное – в докладе С.П. Горбачев подробно рассказал о технических решениях по повышению пожарной безопасности.

Грета Семеновна Аكوпова в своем докладе рассказала о международных и отечественных нормативных и методических документах по нормативам потерь природного газа на объектах малотоннажного производства и потребления СПГ, об объектах исследования и методических подходах к обнаружению потерь природного газа с утечками и измерению их параметров, а также о результатах инструментальных исследований на объектах малотоннажного производства и потребления СПГ, на основе которых разрабатывается СТО «Малотоннажное производство и использование сжиженного природного газа. Нормы технологических потерь».

В ходе обсуждения докладов возникла дискуссия, которая носила конструктивный характер. Участники семинара активно интересовались вопросами обеспечения пожарной безопасности объектов, техническими решениями, зарубежными и отечественными требованиями пожарной безопасности, организацией строительства и эксплуатации и многим другим. Специалисты, принявшие участие в семинаре, получили ответы на многие вопросы, связанные с производством, хранением и использованием сжиженного природного газа.

Преимущества:

- Расширенный температурный диапазон
- Минимальные потери газа
- Безопасность

Характеристика	Значение
Количество постов заправки, шт.	1 или 2
Количество линий давления, шт.	1, 2 или 3
Производительность заправки, кг/мин	1...50 (для автотранспорта) 1...70 (для ПАГЗ)
Рабочее давление, МПа	25
Давление заправки, МПа	19,6 (для автотранспорта) 24.5 (для ПАГЗ)
Рабочая температура воздуха, °С	от - 40 до + 40
Межповерочный интервал, лет	2
Погрешность измерения заправленного количества газа, не более, %	1
Габаритные размеры, мм	1065 x 595 x 2190
Интерфейс связи с системой учета	RS-485



КОМПРЕССОРНЫЕ МОДУЛИ СЕРИИ CLEVER – БЛОКИ АГНКС В ЗАВОДСКОЙ ГОТОВНОСТИ НА БАЗЕ ПОРШНЕВЫХ W-ОБРАЗНЫХ КОМПРЕССОРОВ



Преимущества:

- Сокращение протяженности энергетических коммуникаций
- Уменьшение затрат на строительство и эксплуатацию
- Удобство технического обслуживания и ремонта

Модель	Краткое описание	Входное давление / Производительность	Применение
Clever-M	Компрессор и блок осушки в одном контейнере	1-6 бар: до 2000 Н.м ³ 6-12 бар: до 2500 Н.м ³	Ключевой блок АГНКС любой производительности
Clever-L	АГНКС в одном блоке	1-6 бар: до 1000 Н.м ³ 6-12 бар: до 1300 Н.м ³	АТП и МАЗС средней загрузки, коммерческие АГНКС
Clever-S	Мини-АГНКС в одном блоке	1-5 бар: до 150 Н.м ³	Малые АТП, МАЗС низкой загрузки
Clever-D	Дочерняя АГНКС	5-220 бар: до 3500 Н.м ³	Разгрузка пассивных ПАГЗ

Методы быстрой оценки технико-экономических показателей заводов и проектов производства–потребления СПГ

Б.С. Рачевский, д.т.н., профессор РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, председатель правления ГК «НефтеГазТоп»

В статье показана актуальность развития рынка сжиженного природного газа и прежде всего строительства крупнотоннажных и малотоннажных заводов СПГ. Приведены результаты анализа капитальных вложений и эксплуатационных затрат заводов СПГ. Дан вывод простых аналитических зависимостей, позволяющих быстро оценить технико-экономические показатели заводов СПГ и проектов производства–потребления СПГ.

Ключевые слова:

СПГ – перспективный энергоноситель, крупнотоннажные и малотоннажные заводы СПГ, капитальные вложения, эксплуатационные затраты, технико-экономические показатели, аналитические зависимости.

Спад мировой экономики сократил спрос на энергетические ресурсы. Однако, согласно данным многолетней статистики, вслед за мировым финансово-экономическим кризисом следует период подъема экономики, что сопровождается увеличением спроса на энергоресурсы, в особенности на природный газ, как наиболее перспективный, дешевый, экологичный и ресурсообеспеченный. Это приведет к тому, что к 2030 г. мировое потребление природного газа составит 4,5 трлн м³, что в 1,5 раза превысит его использование в настоящее время. Рост мирового потребления природного газа вызовет увеличение спроса на сжиженный природный газ (СПГ) во многих странах, в особенности в странах Азиатско-Тихоокеанского региона и Европы.

Сжиженный природный газ как перспективный энергоноситель обладает определенными преимуществами перед газообразным сетевым природным газом и предоставляет многие возможности. К их числу относятся:

- доставка практически в любой регион мира и страны без прокладки дорогостоящих магистральных газопроводов;
- более высокая чистота и калорийность продукта;
- автономная газификация объектов;
- перевод транспортных средств на более дешевый и экологичный вид топлива [1].

Развитие рынка сжиженного природного газа требует, прежде всего, строительства крупнотоннажных и малотоннажных заводов СПГ. Возведение крупнотоннажных заводов СПГ, которые достигают производительности СПГ в несколько

десятков миллионов тонн в год, требует соответствующих инвестиций – десятки миллиардов долларов США.

Завод по производству СПГ представляет собой высокотехнологичный комплекс связанных между собой блоков: подготовки природного газа к сжижению, сжижения природного газа, хранения СПГ и отгрузки его потребителям. Кроме этого, в структуру завода СПГ входит вспомогательное оборудование, обеспечивающее его жизнедеятельность и прежде всего энергоснабжение (газовая электростанция).

В настоящее время известно более десяти лицензированных технологий сжижения природного газа, которые различаются по способу захлаживания природного газа, типу применяемого хладагента, числу холодильных циклов. Это в основном следующие лицензированные технологии сжижения природного газа: Statoil-Linde MFC (каскад), PRICO (цикл охлаждения на смешанном хладагенте), APCI SMR, APCIC₃MR, APC-XTM, Shell DMR (Сахалин-2), Shell PMR, Axens Liquefin (Франция) – холодильные циклы с предварительным охлаждением природного газа.

Все применяемые холодильные циклы можно разделить на три типа:

- каскад;
- на смешанном хладагенте (цикл Клименко – PRICO);
- холодильные циклы с предварительным охлаждением природного газа.

В свою очередь 3-й тип разделяется на предварительное охлаждение чистым хладагентом и смешанным хладагентом (СХА). В режиме предварительного охлаждения происходит выделение из природного газа тяжелых фракций углеводородов.

Выбор технологии сжижения природного газа проводится на этапе предпроектной проработки. Этот этап на проектируемых в настоящее время крупнотоннажных заводах СПГ носит обозначение FEED (front-end engineering design) и играет определяющую роль в дальнейшей производственной деятельности завода СПГ.

Капитальные затраты на установку сжижения природного газа на заводе СПГ, как правило, составляют порядка 50 % от стоимости всех инвестиций на строительство завода СПГ (рис. 1) [2].



Рис. 1. Структура капитальных затрат на строительство крупнотоннажного завода СПГ

Провести анализ всех проектных технологий сжижения природного газа при проектировании завода СПГ достаточно сложно. В качестве критерия выбора технологии сжижения природного газа целесообразно использовать величину инвестиций в строительство завода СПГ в зависимости от производительности установки сжижения природного газа. А инвестиции в строительство завода по производству СПГ можно оценить, зная его удельную стоимость, выраженную в руб./т в год или долл./т в год.

Анализ известных проектов крупнотоннажных заводов СПГ, эксплуатируемых, строящихся и проектируемых («Сахалин-2», «Ямал СПГ», «Дальневосточный СПГ», «Владивосток-СПГ», «Печора СПГ», «Балтийский СПГ»), показывает, что удельная стоимость завода СПГ находится в диапазоне 1200...1600 долл./т в зависимости от производительности завода и применяемой технологии сжижения природного газа.

С приобретением опыта строительства происходит снижение удельной стоимости заводов СПГ в основном за счет следующих мер:

- увеличения мощности технологических линий сжижения природного газа;
- накопления опыта в производстве мощных газовых турбин и нагнетателей.

На рис. 2 показана динамика зависимости удельной стоимости (долл./т в год) одной технологической линии сжижения природного газа (первая очередь строительства) от времени ее реализации.

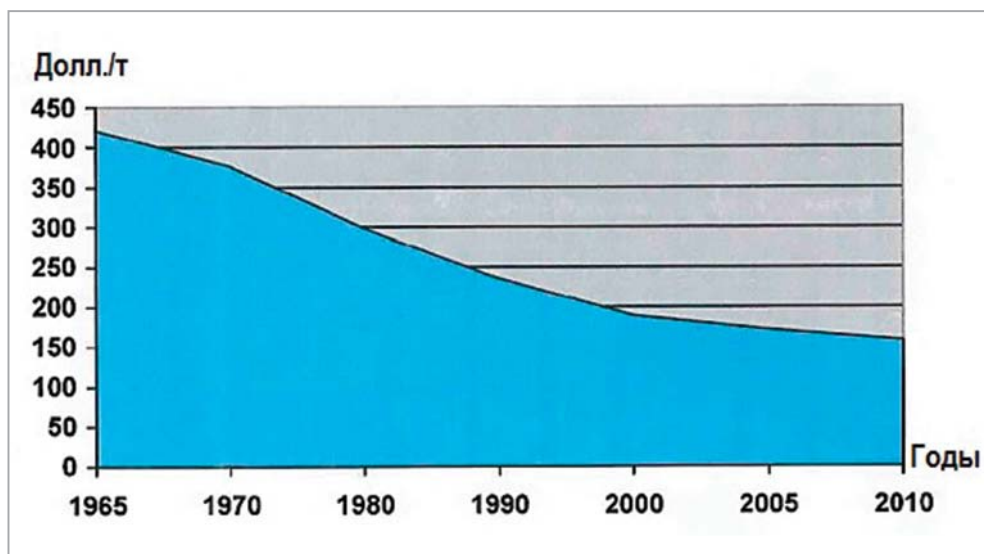


Рис. 2. Зависимость удельной стоимости строительства одной (первая) технологической линии сжижения природного газа завода СПГ от времени ее реализации

При проектировании и эксплуатации заводов по сжижению природного газа – как крупнотоннажных, так и малотоннажных – основными технико-экономическими показателями, которые необходимо определить, являются производительность завода СПГ, капитальные вложения для его строительства, эксплуатационные затраты и стоимость продукции (сжиженный природный газ), которая обеспечит обоснованные сроки окупаемости вложенных инвестиций. Анализ капитальных вложений и эксплуатационных затрат крупнотоннажных и малотоннажных заводов СПГ показывает, что между этими параметрами существует зависимость.

Связь между технико-экономическими показателями можно описать следующим выражением:

$$\frac{Ц - Э}{К} \geq Z, \quad (1)$$

где $Ц$ – стоимость сжиженного природного газа, реализованного с завода СПГ за год, руб./год; $Э$ – эксплуатационные расходы завода СПГ, руб./год; $К$ – капитальные вложения в строительство завода СПГ, руб.; Z – коэффициент эффективности капитальных вложений, год⁻¹.

Для нефтегазовой отрасли значение Z принимается в диапазоне 0,1...0,2 и характеризует обратную величину срока окупаемости вложенных инвестиций.

Дополнив формулу (1)

$$Ц = a Q, \quad (2)$$

где a – удельная стоимость реализации СПГ, руб./т; Q – производительность завода СПГ, т/год, и выразив $Э$ через значение капитальных вложений ($К$), получим:

$$\frac{a Q - b K}{К} \geq Z, \quad (3)$$

где b – коэффициент, определяющий, какую часть в капитальных вложениях составляют годовые эксплуатационные затраты.

Годовые эксплуатационные затраты для крупнотоннажных заводов СПГ состоят в основном из следующих затрат в зависимости от капитальных вложений:

- энергообеспечение завода СПГ – $Э = 0,1 K$ руб./год;
- амортизация оборудования – $Э = 0,05 K$ руб./год;
- зарплата обслуживающего персонала – $Э = 0,04 K$ руб./год;
- сырье для получения СПГ – $Э = 0,1 K$ руб./год;
- налоги – $Э = 0,11 K$ руб./год.

Итого коэффициент b в формуле (3) равен 0,4 1/год, а $Э = 0,4 K$ руб./год.

Подставив значения $b = 0,4$ и $Z = 0,1$ в формулу (3), получим:

$$\frac{a Q - 0,4 K}{К} \geq 0,1. \quad (4)$$

Сделав преобразования в формуле (4), получим зависимость, позволяющую оценить капитальные вложения в строительство завода СПГ при заданных производительности завода СПГ и удельной стоимости реализации СПГ:

$$К \leq 2 a Q. \quad (5)$$

Соответственно определить производительность завода СПГ или удельную стоимость реализации СПГ при заданных других параметрах можно по формулам:

$$Q \geq \frac{К}{2 a}; \quad (6)$$

$$a \geq \frac{К}{2 Q}. \quad (7)$$

Правомерность формулы (5) можно определить, подставив известные значения технико-экономических параметров крупнотоннажного завода СПГ, например, эксплуатируемого крупнотоннажного завода СПГ – «Сахалин-2»:

$12 \cdot 10^9$ долл. = $2 \cdot 600$ долл./т $\cdot 10 \cdot 10^6$ т, или $12 \cdot 10^9$ долл. = $12 \cdot 10^9$ долл.

Аналогичным путем с использованием формулы (4) выведена формула для оценки технико-экономических параметров малотоннажных заводов СПГ при значениях $\Theta = 0,5$ К и $Z = 0,2$:

$$K \leq 1,4 a Q . \quad (8)$$

Правомерность формулы (8) определим, подставив значения технико-экономических параметров малотоннажного завода СПГ, эксплуатируемого в Московской области,

$360 \cdot 10^6$ руб. $\leq 1,4 \cdot 20 \cdot 10^3$ руб./т $\cdot 13 \cdot 10^3$ т, или $360 \cdot 10^6$ руб. $\leq 364 \cdot 10^6$ руб.

В настоящее время годовое производство СПГ в мире составляет около 250 млн т, что равно примерно 10 % от общего объема добычи природного газа. По некоторым прогнозам, в 2020 г. производство СПГ может достичь 400 млн т (примерно 550 млрд м³), что будет эквивалентно 1/10 мирового рынка сырой нефти. К 2030 г. мировой рынок СПГ может достичь рубежа в 500 млн т/год (685 млрд м³).

Мировой рынок крупнотоннажного производства и потребления СПГ развивается с целью доставки природного газа из стран с избыточными ресурсами этого вида топлива в страны, испытывающие дефицит в этом энергоносителе.

Малотоннажное производство и потребление СПГ развивается на внутреннем рынке в условиях использования природного газа в качестве моторного топлива и для автономного газоснабжения населенных пунктов и промышленных объектов. В основном в мировой практике СПГ используется в качестве топлива в промышленности, при производстве электроэнергии, в сельском хозяйстве, коммунально-бытовом секторе и на транспортных средствах.

Анализ соотношения капитальных вложений в цепочке «крупнотоннажное производство – потребление СПГ» показывает следующее: обустройство месторождения для добычи природного газа оценивается в несколько сотен миллионов долл. США; крупнотоннажный завод СПГ – в несколько тысяч миллионов долл.; морские танкеры по доставке СПГ – около 330 млн долл.; приемный терминал СПГ – около 500 млн долл.; распределение и потребление СПГ – около 1000 млн долл. Таким образом, из всей цепочки производство – потребление СПГ наиболее затратным является завод СПГ. Вообще СПГ-проекты являются одними из самых дорогих энергетических проектов. На рис. 3 показан внешний вид оборудования цепочки производство – потребление СПГ.

Точные данные по расходам на СПГ-проекты выявить достаточно сложно, так как эти расходы могут значительно различаться в зависимости от места их нахождения и объемов производства и применения СПГ. Тем не менее можно выделить и оценить в процентном отношении четыре основных компонента стоимости проекта СПГ в цепочке производство – потребление СПГ [1, 3].

1. Добыча природного газа и подача его по трубопроводам к заводу СПГ – ≈ 15 % затрат.

2. Подготовка газа к сжижению (очистка, осушка) на заводе СПГ, сжижение природного газа, хранение и отгрузка СПГ в танкеры для отправки потребителям – ≈ 40 % затрат.



a



б



в



з



д

Рис. 3. Технологическая цепочка производство – потребление СПГ:

а – добыча; *б* – сжижение; *в* – хранение и отгрузка в порту отправки; *г* – транспортировка; *д* – хранение и регазификация в приемном терминале

3. Транспортировка СПГ танкерами от завода СПГ к приемному терминалу – $\approx 20\%$ затрат.

4. Разгрузка СПГ на приемном терминале, хранение и распределение СПГ – $\approx 25\%$ затрат.

Полученные зависимости позволяют оценить технико-экономические показатели крупнотоннажных и малотоннажных заводов СПГ, а также применить их для выбора технологии сжижения природного газа при проектировании заводов СПГ. Кроме этого, определив величину капитальных вложений в строительство завода СПГ и зная долю этой величины в общей цепочке производства – потребления СПГ, можно оценить стоимость проекта всей цепочки.

Литература

1. Рачевский Б.С. Сжиженные углеводородные газы: LPG, LNG, GTL. – М.: Нефть и газ, 2009 г. – 640 с.
2. Терегулов Р.К. Совершенствование технологий производства и хранения сжиженного природного газа. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, Уфа, 2009 г. – 198 с.
3. Что такое СПГ // GasWorld. – 2013. – Выпуск № 12. – С. 14-16.

Межцикловая переменность поршневых газовых двигателей

С.В. Гусаков,

А.Р. Кульчицкий, главный специалист завода инновационных продуктов «КТЗ»,
г. Владимир, д.т.н.

Улучшение экологических характеристик и снижение расхода топлива поршневых двигателей с искровым воспламенением во многом определяется стохастичностью газодинамических, термодинамических и химических процессов, протекающих в условиях периодичности рабочих циклов и высоких давлений, что определяет появление межцикловой неустойчивости. Основным фактором, влияющим на указанную переменность, является поле скоростей в зоне, непосредственно прилегающей к электродам свечи зажигания – области возникновения первичного очага воспламенения.

Ключевые слова:

двигатель, искровое зажигание, метан, стохастичность.

Организация рабочего процесса газовых двигателей возможна двумя способами:

- первый – обеспечением стехиометрического состава топливовоздушной смеси (ТВС);
- второй – обеспечением обедненно-го состава ТВС.

В первом случае существует возможность применения каталитических двух- и трехступенчатых нейтрализаторов для снижения эмиссии вредных веществ (ВВ) с отработавшими газами (ОГ). Во втором случае результатом является лучшая топливная экономичность и пониженная тепловая напряженность деталей, образующих камеру сгорания (КС) двигателя. Основным недостатком стехиометрического сгорания – повышенная тепловая напряженность в связи с максимальной (по сравнению с другими составами ТВС) скоростью распространения фронта пламени и, соответственно, тепловыделения. При обедненном сгорании увеличивается

вероятность пропусков воспламенения рабочей смеси из-за медленного развития этого процесса и повышенных тепловых потерь, приводящих к ухудшению мощностно-экономических показателей двигателя, возрастанию неравномерности частоты вращения коленчатого вала (до $\pm 10\%$ при средней постоянной частоте [1]), взрывному догоранию ТВС в выпускном трубопроводе.

Но существует фактор, общий для обоих способов организации рабочего процесса, повышающий вероятность отрицательных явлений, – это межцикловая переменность (в иностранной литературе CCV – cycle-by-cycle variations) протекания рабочего процесса, выражающаяся в изменении характера давления в цилиндре двигателя по углу поворота коленчатого вала. Этот феномен обнаружен достаточно давно [2], он получил свое отражение в фундаментальной литературе по сгоранию топлива в двигателях с искровым зажиганием [3, 4] (рис. 1) и продолжает интенсивно

исследоваться современными расчетно-экспериментальными методами [5-7]. Причина подобной нестабильности заключается в стохастичности газодинамических, термодинамических и химических процессов, протекающих в КС. И главную роль в протекании рабочего процесса играет эта переменность в зоне, непосредственно прилегающей к электродам электрической свечи зажигания, то есть в области, где возникает, формируется и развивается первичный очаг воспламенения. Все это обуславливает вариации локального коэффициента избытка воздуха в объеме сжатия (и особенно в области электродов свечи зажигания), количества остаточных газов в цилиндре в каждом цикле, изменения конвективного теплоотода от первичного очага горения к электродам свечи зажигания и т.д.

Вариабельность газодинамических процессов приводит, в частности, к тому, что при увеличении скорости газового потока в области электродов первоначально наблюдается снижение энергии искры, необходимой

для успешного зажигания смеси. Из-за малого смещения первичный очаг развивается в непосредственной близости от электродов, их охлаждающее действие приводит к угасанию первичного очага горения, если энергия искры невелика. По мере возрастания скорости газовой смеси первичный очаг достаточно быстро покидает область электродов, охлаждающий эффект снижается, и потребная энергия искры уменьшается. При скорости около 5 м/с в рассматриваемых условиях происходит переход от ламинарного течения к турбулентному. При дальнейшем увеличении скорости потока требуемая энергия искры возрастает в связи с интенсификацией теплоотода из зоны воспламенения – турбулентные пульсации размывают первичный очаг воспламенения, увеличивая поверхность теплообмена, что может служить причиной прекращения его развития. Этим объясняется требуемое увеличение энергии искры для успешного воспламенения турбулентного газового потока с ростом его средней скорости [3].

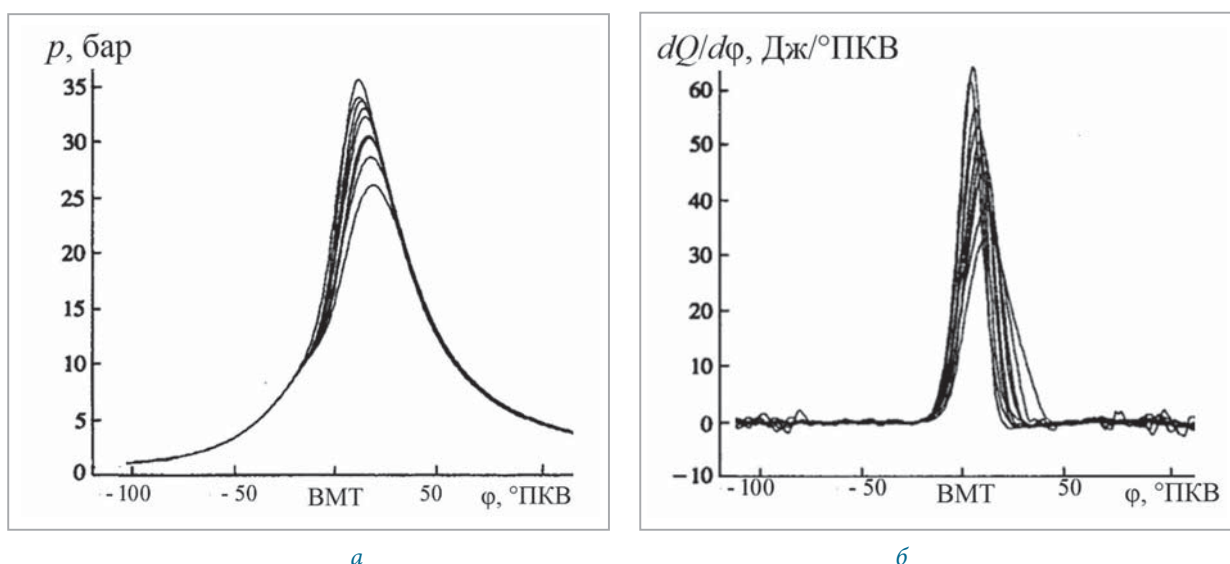


Рис. 1. Влияние межцикловой вариабельности на давление (а) и скорость тепловыделения (б) в одноцилиндровом двигателе с искровым воспламенением, работающем на стехиометрической бензовоздушной смеси, при частоте вращения коленчатого вала 1500 мин⁻¹ [4]

Исследование межциклового неустойчивости важно вследствие того, что момент опережения зажигания выбирается с учетом среднего для данного рабочего процесса периода задержки воспламенения ТВС. Более короткий или, особенно, более длительный периоды задержки воспламенения приводят к неоптимальному с термодинамической точки зрения тепловыделению по углу поворота коленчатого вала и, как следствие, к снижению мощности двигателя и коэффициента полезного действия цикла (соответственно, к увеличению удельного эффективного расхода топлива), а при значительных изменениях периода задержки воспламенения – к увеличению выбросов ВВ (в первую очередь продуктов неполного сгорания топлива) с ОГ. Современные расчетные исследования показали, что решающим в развитии пламени в рабочей точке при зажигании является поле скоростей [8].

Цикловая неустойчивость, вызывающая раннее развитие реакций горения, может вызвать нарушение нормального горения ТВС, то есть возникновение детонации. Таким образом, подобные циклы хотя и не являются доминирующими, но могут потребовать уменьшения степени сжатия двигателя, что приведет к снижению эффективных показателей процесса, необходимости применения топлива с завышенным октановым числом (для бензиновых двигателей) или выбору неоптимального (по критериям топливной экономичности и эмиссии ВВ) угла опережения зажигания. Например, температура сжатия стехиометрической метановоздушной смеси (МВС) в цилиндре двигателя при температуре смеси на впуске в двигатель $t_a = 20$ °С и степени сжатия $\varepsilon = 14$ (характерная для дизелей с наддувом) за счет хода поршня теоретически составляет около $t_c = 530$ °С. Этой температуры недостаточно для самовоспламенения МВС, поскольку

требуется около $t_{cb} = 620...700$ °С. Однако фактически, если на холодном двигателе воспламенение МВС обеспечивалось от свечи зажигания, то по мере прогрева двигателя наступал момент, когда происходило неконтролируемое самовоспламенение смеси. В результате смещался характер тепловыделения относительно верхней мертвой точки, способствуя перегреву деталей КС и в итоге – заклиниванию поршней.

Таким образом, с учетом межциклового вариабельности при работе двигателя в его конструкцию необходимо закладывать запас по степени сжатия, снижая ее до значений $\varepsilon = 11...12$, при которых температура сжатия не превышает $t_c = 460...490$ °С. Но снижение степени сжатия – это ухудшение топливной экономичности.

Циклы, отличающиеся ненормальным протеканием процессов воспламенения и развития горения, ограничивают возможность работы двигателя на обедненных смесях вплоть до пропусков воспламенения, в результате чего существенно увеличиваются выбросы продуктов неполного сгорания с ОГ. Причем, пропуск воспламенения, как правило, возникает вследствие «вялого» протекания сгорания в нескольких последовательных циклах. Медленное и неполное сгорание топлива постепенно приводит к увеличению коэффициента остаточных газов, которые в еще большей степени негативно воздействуют на горение в следующем цикле. Увеличение количества остаточных газов за несколько циклов в конечном итоге приводит к пропуску воспламенения, что, однако, улучшает очистку цилиндра от этих газов и способствует восстановлению его работоспособности. Двигатель будет продолжать работу, но при этом снизится итоговый коэффициент полезного действия, увеличатся суммарные выбросы углеводородов, снизится крутящий момент и увеличится неравномерность частоты

вращения коленчатого вала.

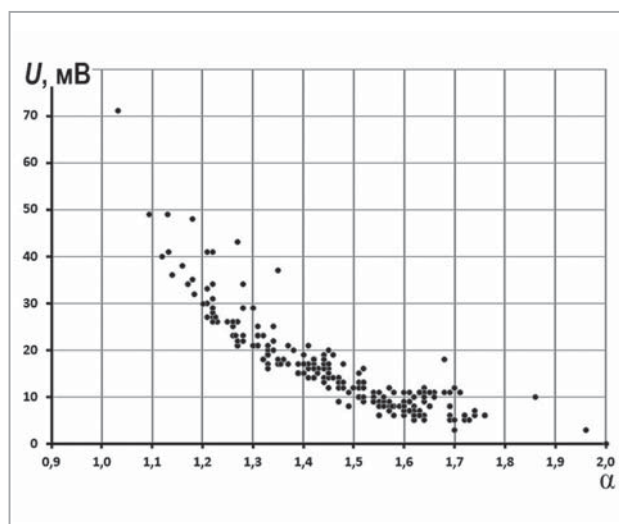
Экспериментальные данные показывают, что максимальная скорость и продолжительность тепловыделения могут вырасти в два раза в течение нескольких последовательных циклов при средних нагрузке и частоте вращения коленчатого вала, однако возможны и более значительные флуктуации. Если циклическую изменчивость устранить, то это привело бы к увеличению мощности двигателя приблизительно на 10 % при том же расходе топлива или соответственно к снижению расхода топлива на эти же 10 % при сохранении мощности двигателя [8].

Одним из показателей межциклового вариабельности протекания рабочего процесса двигателя является состав ОГ. И, в частности, концентрация кислорода O_2 в потоке ОГ (измерение данного параметра проще и дешевле, чем индцирование рабочего процесса).

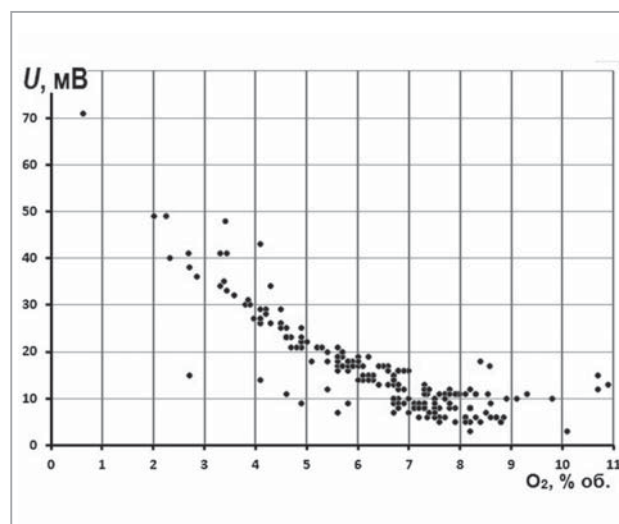
Исследования двигателя, работающего на природном газе, который всегда находится в газообразном состоянии в отличие от бензина и пропан-бутановой

смеси, позволяют снизить неопределенность, обусловленную неравномерностью испарения жидкого топлива, а также отложением жидкой пленки на стенках впускного трубопровода и периодическим ее сносом в цилиндр двигателя. Испытания, проведенные на четырехцилиндровом газовом двигателе размерностью $D/S = 105/120$ мм (номинальные мощность и скоростной режим соответственно 63,0 кВт при 2000 мин⁻¹), работающем на природном газе, показали наличие нестабильности, выразившейся в зависимости напряжения на датчике кислорода (лямбда-зонд) от коэффициента избытка воздуха α и концентрации кислорода O_2 в потоке ОГ (рис. 2).

Логично предположить, что при сохранении постоянства α будет постоянным концентрация O_2 и соответственно постоянным напряжение U на датчике кислорода. Но это не наблюдается, хотя, конечно, некоторое влияние оказывает и межцилиндровая неравномерность. Однако тот факт, что поле рассеяния значения U при $\alpha < 1,3$



а



б

Рис. 2. Влияние межциклового вариабельности на электрическое напряжение датчика кислорода в зависимости от коэффициента избытка воздуха α (а) и концентрации кислорода O_2 в отработавших газах (б) в четырехцилиндровом газовом двигателе с искровым воспламенением, работающем на природном газе (метан), при частоте вращения коленчатого вала 2000 мин⁻¹

сужается, может свидетельствовать о влиянии именно межциклового неустойчивости, поскольку повышается стабильность протекания рабочего процесса в КС при составе ТВС, приближающемся к стехиометрическому, что приводит к увеличению напряжения U . И то, что при $\alpha < 1,3$ наблюдается «расслоение» значений U на две области, также может свидетельствовать о влиянии именно межциклового неустойчивости. Эти обстоятельства подтверждаются зависимостью напряжения U от содержания кислорода в ОГ: при концентрации O_2 менее 5,5 % поле рассеяния также разделяется на две области.

Введение электронного регулирования системами зажигания и системой подачи газа в двигатель позволяет заложить в программу управления необходимые запасы прочности по регулировкам для предотвращения нежелательных явлений, в первую очередь детонации. Однако это не позволит повысить коэффициент полезного действия двигателя, который зависит от первопричины – межциклового вариабельности. Основная задача – это выявление причин газодинамических, термодинамических и химических флуктуаций, имеющих место в двигателе, и устранение этих причин [9].

Литература

1. Патрахальцев Н.Н. Неустойчивые режимы работы двигателей внутреннего сгорания / М.: РУДН, 2009. – 380 с.
2. Rounds F.G., Bennett P.A., Nebel G.I. Some effects of engine fuel variables on exhaust gas Hydrocarbon content// SAE Trans. – 1955. – V. 63. – 91 p.
3. Воинов А.Н. Сгорание в быстроходных поршневых двигателях. – М.: Машиностроение, 1977. – 277 с.
4. Heywood J.B. Internal Combustion Engine Fundamentals, McGraw and Hill Series in Mechanical Engineering, McGraw-Hill, New-York, 1988.
5. Asok K. Sen, Sudhir K. Ash, Bin Huang, Zuohua Huang Richard G. Effect of exhaust gas recirculation on the cycle-to-cycle variations in a natural gas spark ignition engine // Applied Thermal Engineering. – 2011. – 31. – P. 2247-2253.
6. Granet V., Vermorel O., Lacour C., Enaux B., Dugué V., Poinsoot. Thierry Large-Eddy Simulation and experimental study of cycle-to-cycle variations of stable and unstable operating points in a spark ignition engine // Combustion and Flame. – 2012. – Vol. 159. – P. 1562-1575.
7. Zakia Benjelloun-Touimi, Mongi Ben Gaid, Julien Bohbot, Alain Dutoya, Hassan Hadj-Amor, Philippe Moulin, Houssem Saafi, Nicolas Pernet. From Physical Modeling to Real-Time Simulation: Feed back on the use of Modelica in the engine control development toolchain / 8th International Modelica Conference (2011) Technical University, Dresden, Germany.
8. Ozdor N., Dulger M., Sher E. Cyclic variability in spark ignition engines: a literature survey // SAE. – 1994. – P. No. 940987.
9. Гусаков С.В., Патрахальцев Н.Н. Планирование, проведение и обработка данных экспериментальных исследований двигателей внутреннего сгорания: Учеб. пособие. – М.: Изд-во РУДН, 2004. – 168 с.: ил.

Применение природного газа в дизеле с охлаждением наддувочного воздуха

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

В работе представлены результаты экспериментальных исследований, проведенных на базе научно-исследовательской лаборатории кафедры тепловых двигателей, автомобилей и тракторов Вятской государственной сельскохозяйственной академии, по улучшению эффективных и экологических показателей дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с охлаждением наддувочного воздуха (ОНВ) путем применения компримированного природного газа (КПГ, ПГ).

Ключевые слова:

дизель, газодизель, природный газ, турбонаддув, эффективные показатели, токсичность, отработавшие газы.

Исследование рабочих процессов и показателей токсичности отработавших газов (ОГ) дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с ОНВ (Д-245.7) при его работе на ПГ предусматривало, в первую очередь, сохранение мощностных и экономических показателей серийного дизеля, определение и оптимизацию основных параметров (см. таблицу) и снижение содержания оксидов азота в ОГ.

Технические характеристики газодизеля 4ЧН 11,0/12,5 с ОНВ

Показатель	Величина
Рабочий объем двигателя, л	4,75
Число цилиндров	4
Степень сжатия	16
Диаметр поршня, мм	110
Ход поршня, мм	125
Тип системы охлаждения	Жидкостная
Турбокомпрессор	ТКР-6
Охладитель наддувочного воздуха	250-1172010
Номинальная мощность, кВт	90
Номинальная частота вращения, мин ⁻¹	2400
Частота вращения при максимальном крутящем моменте, мин ⁻¹	1700
Расход на номинальном режиме, кг/ч	
природного газа	15,0
дизельного топлива	3,8

На дизеле 4ЧН 11,0/12,5 с ОНВ были сняты регулировочные характеристики в зависимости от изменения установочного угла опережения впрыскивания топлива (УОВТ) по дизельному и газодизельному процессам с одновременным индицированием рабочего процесса [1] и определением токсичности и дымности ОГ. Характеристики снимались для определения оптимального значения установочного УОВТ по дизельному и газодизельному процессам при равных значениях средних эффективных давлений, а также для оптимизации процесса сгорания дизеля, его экологических и эффективных показателей [2].

Регулировочные характеристики дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с ОНВ представлены на рис. 1.

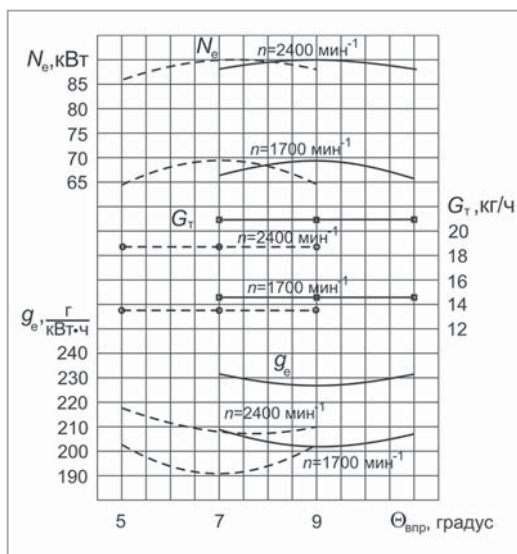


Рис. 1. Влияние применения ПГ на эффективные показатели дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с ОНВ в зависимости от изменения установочного УОВТ при $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$, $p_e = 0,947 \text{ МПа}$ и $n = 1700 \text{ мин}^{-1}$, $p_e = 1,036 \text{ МПа}$:
 ————— — дизельный процесс;
 ————— — газодизельный процесс

Рассматривая графики N_e , G_t , и g_e , можно отметить, что при работе дизеля на ДТ установочный УОВТ при частоте вращения $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$ по условию

наилучшей экономичности равен 9° до ВМТ. Этот установочный УОВТ рекомендован заводом-изготовителем для обеспечения лучших мощностных, экономических и экологических показателей автомобильного двигателя 4ЧН 11,0/12,5 с ОНВ в качестве оптимального.

Рассматривая показатели работы дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с ОНВ при его работе на ПГ на номинальной частоте вращения ($n = 2400 \text{ мин}^{-1}$, $p_e = 0,947 \text{ МПа}$), можно отметить, что при работе дизеля на установочном УОВТ $\Theta_{впр} = 5^\circ$ до ВМТ с постоянным суммарным часовым расходом топлива $G_t = 18,8 \text{ кг/ч}$ эффективная мощность N_e составляет 86,0 кВт, а суммарный удельный эффективный расход топлива g_e — 218 г/(кВт·ч). При увеличении установочного УОВТ до 7° до ВМТ эффективная мощность N_e увеличивается до 90 кВт, при этом суммарный удельный эффективный расход топлива g_e снижается до 208 г/(кВт·ч), то есть на 4,6 %. При дальнейшем увеличении установочного УОВТ до $\Theta_{впр} = 9^\circ$ до ВМТ происходит снижение эффективной мощности N_e до 88 кВт, при этом суммарный удельный эффективный расход топлива g_e увеличивается до 210 г/(кВт·ч), то есть на 1,0 %. Снижение суммарных значений часового расхода G_t и удельного расхода g_e топлива при работе дизеля на всех установочных УОВТ на ПГ по сравнению с работой на ДТ объясняется высокой теплотой сгорания ПГ [3].

Рассматривая показатели работы дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с ОНВ на частоте вращения максимального крутящего момента ($n = 1700 \text{ мин}^{-1}$, $p_e = 1,036 \text{ МПа}$) при его работе на ПГ, можно отметить, что при установочном УОВТ $\Theta_{впр} = 5^\circ$ до ВМТ и постоянном суммарном часовом расходе топлива $G_t = 13,4 \text{ кг/ч}$ эффективная мощность N_e составляет 64,5 кВт. Суммарный удельный эффективный расход топлива g_e при данной мощности составляет

203 г/(кВт·ч). При увеличении установочного УОВТ до $\Theta_{впр} = 7^\circ$ до ВМТ эффективная мощность N_e увеличивается до 69,5 кВт, а суммарный удельный эффективный расход топлива g_e снижается и достигает 191 г/(кВт·ч). Уменьшение значения g_e составляет 5,9 %. При дальнейшем увеличении установочного УОВТ до $\Theta_{впр} = 9^\circ$ до ВМТ эффективная мощность N_e снижается до 64,5 кВт, а суммарный удельный эффективный расход топлива g_e увеличивается до 203 г/(кВт·ч), или на 6,3 %. При частоте вращения, соответствующей максимальному крутящему моменту ($n = 1700 \text{ мин}^{-1}$, $p_e = 1,036 \text{ МПа}$), сохраняется характер изменения кривых эффективной мощности и удельного эффективного расхода топлива, установленный для номинальной частоты вращения двигателя.

Из анализа кривых регулировочной характеристики по установочному УОВТ (см. рис. 1) следует, что для всех режимов работы дизеля, с учетом минимального удельного расхода топлива g_e , при работе дизеля на ДТ оптимальным является установочный УОВТ $\Theta_{впр} = 9^\circ$ до ВМТ, а при работе дизеля на ПГ $\Theta_{впр} = 7^\circ$ до ВМТ. При работе дизеля на ПГ с более ранними УОВТ на режимах, близких к номинальным нагрузкам, значение «жесткости» работы двигателя превышает норму, установленную заводом-изготовителем, то есть $(dp/d\varphi)_{\max}$ составляет более 1,0 МПа/град [4]. При работе дизеля на более поздних установочных УОВТ на режимах номинальной нагрузки происходит интенсивное повышение температуры охлаждающей жидкости, следствием чего является перегрев двигателя.

Проведенные исследования показали, что дизель устойчиво работает на ПГ при соотношении топлив на номинальном режиме: газа – 80...85 %, запальной порции дизельного топлива – 15...20 %. Все исследования рабочих процессов

проводились при таком соотношении ПГ и ДТ.

Содержание токсичных компонентов в ОГ дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с ОНВ в зависимости от изменения установочного УОВТ представлено на рис. 2.

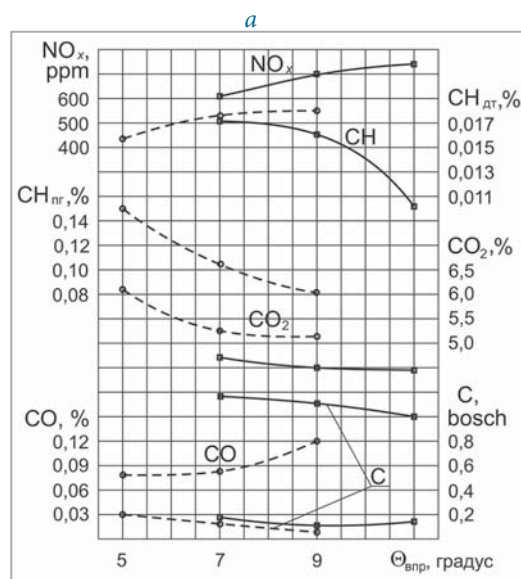
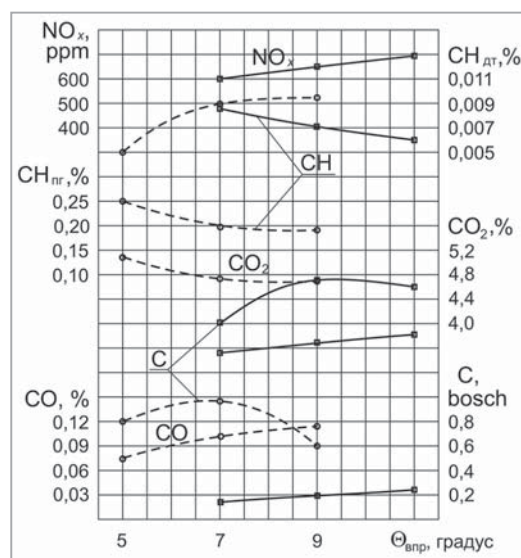


Рис. 2. Влияние применения ПГ на содержание токсичных компонентов ОГ дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с ОНВ в зависимости от изменения установочного УОВТ:
 а – $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$, $p_e = 0,947 \text{ МПа}$;
 б – $n = 1700 \text{ мин}^{-1}$, $p_e = 1,036 \text{ МПа}$;
 ————— дизельный процесс;
 - - - - - газодизельный процесс

Как видно из графиков, при всех значениях установочных УОВТ при работе дизеля на ПГ в ОГ происходит снижение содержания оксидов азота, сажи и увеличение содержания суммарных углеводородов, оксида и диоксида углерода. Эта тенденция наблюдается как при номинальной частоте вращения ($n = 2400 \text{ мин}^{-1}$), так и при частоте вращения, соответствующей максимальному крутящему моменту ($n = 1700 \text{ мин}^{-1}$). В целом можно отметить, что закономерности изменения содержания токсичных компонентов с увеличением установочного УОВТ на режиме максимального крутящего момента (рис. 2б) аналогичны закономерностям при номинальной частоте вращения [5].

С увеличением установочного УОВТ происходит рост оксидов азота NO_x и снижение суммарных углеводородов СН как по дизельному, так и по газодизельному процессам. Но здесь необходимо отметить, что если оксиды азота в результате применения ПГ в дизеле снижаются, то суммарные углеводороды увеличиваются в 10-20 раз по отношению к дизельному процессу. Дымность ОГ при работе дизеля на ДТ с увеличением установочного УОВТ снижается. При работе же по газодизельному процессу дымность ОГ практически не зависит от установочного УОВТ и в несколько раз ниже, чем в дизельном процессе. Это объясняется высокой турбулизацией заряда, приводящей к интенсификации процессов выгорания сажевых частиц в цилиндре при работе дизеля на ПГ [6]. Содержание СО в ОГ с увеличением установочного УОВТ возрастает при работе дизеля как на ДТ, так и на ПГ.

По результатам проведенных исследований процесса сгорания и тепловыделения дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с ОНВ [7] установочный УОВТ $\Theta_{\text{впр}} = 5^\circ$ до ВМТ характеризуется неустойчивой работой, нестабильностью рабочего процесса и довольно быстрым перегревом

двигателя. Для установочного УОВТ $\Theta_{\text{впр}} = 7^\circ$ до ВМТ характерна уже устойчивая работа, «жесткость» рабочего процесса $(dp/d\varphi)_{\text{max}}$ находится в пределах допустимых значений и составляет менее 1,0 МПа/град [8]. Так, при $\Theta_{\text{впр}} = 7^\circ$ до ВМТ и $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$ при переходе на газодизельный режим происходит снижение содержания NO_x в ОГ на 16,8 %, сажи на 40,6 %, но при этом возрастает концентрация оксида углерода СО с 0,02 до 0,10 %, диоксида углерода CO_2 с 3,60 до 4,72 % и суммарных углеводородов с 0,01 до 0,20 %.

При $\Theta_{\text{впр}} = 7^\circ$ до ВМТ и $n = 1700 \text{ мин}^{-1}$ при переходе на газодизельный режим происходит снижение содержания NO_x в ОГ на 14,6 %, сажи в 11,7 раза, но при этом возрастает концентрация оксида углерода СО с 0,02 до 0,08 %, диоксида углерода CO_2 с 4,70 до 5,25 % и суммарных углеводородов с 0,02 до 0,11 %.

Для $\Theta_{\text{впр}} = 9^\circ$ до ВМТ характерна устойчивая работа, но «жесткость» рабочего процесса $(dp/d\varphi)_{\text{max}}$ при газодизельном процессе превышает 1 МПа/град. Так, при $\Theta_{\text{впр}} = 9^\circ$ до ВМТ и $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$ при переходе на газодизельный режим происходит снижение содержания NO_x в ОГ на 19,2 %, сажи в 3,3 раза, но при этом возрастает концентрация оксида углерода СО с 0,03 до 0,12 %, диоксида углерода CO_2 с 3,75 до 4,70 % и суммарных углеводородов с 0,01 до 0,19 %. При $\Theta_{\text{впр}} = 9^\circ$ до ВМТ и $n = 1700 \text{ мин}^{-1}$ при переходе на газодизельный режим происходит снижение содержания NO_x в ОГ на 21,4 %, сажи в 22,0 раза, но при этом возрастает концентрация оксида углерода СО с 0,02 до 0,12 %, диоксида углерода CO_2 с 4,50 до 5,15 % и суммарных углеводородов с 0,02 до 0,08 %. Для УОВТ $\Theta_{\text{впр}} = 11^\circ$ до ВМТ характерна устойчивая работа, повышенная «жесткость» рабочего процесса $(dp/d\varphi)_{\text{max}}$ и довольно высокий удельный расход топлива [7, 8].

Таким образом, по показателям токсичности ОГ, характеристикам процесса



сгорания и тепловыделения с учетом эффективных показателей необходимо принять оптимальный установочный УОВТ $\Theta_{впр} = 7^\circ$ до ВМТ для работы на ПГ и $\Theta_{впр} = 9^\circ$ до ВМТ для работы на ДТ.

Сравнивая оптимальные установочные УОВТ ($\Theta_{впр} = 9^\circ$ до ВМТ для работы на ДТ и $\Theta_{впр} = 7^\circ$ до ВМТ для работы на ПГ), следует отметить, что при $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$ при переходе на газодизельный процесс происходит снижение содержания NO_x в ОГ на 23,2 %, сажи в 2,1 раза, но при этом растет концентрация оксида углерода CO с 0,03 до 0,10 %, диоксида углерода CO_2 с 3,75 до 4,72 % и суммарных углеводородов с 0,01 до 0,20 % [9, 10].

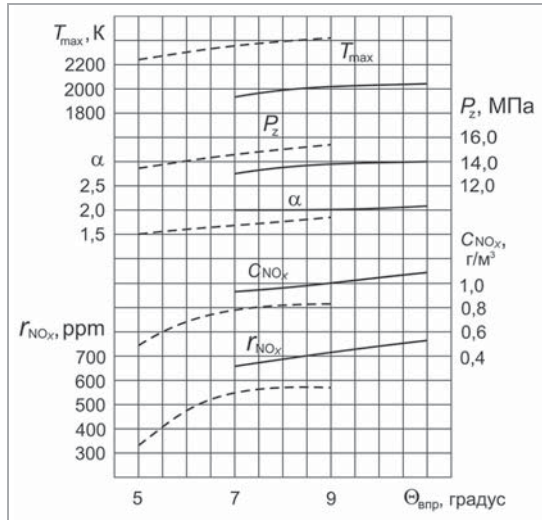
При работе дизеля на ПГ скорость выгорания сажи в цилиндре значительно выше, соответственно и ее концентрация в цилиндре к моменту открытия выпускного клапана становится существенно ниже, чем при работе дизеля на ДТ [11].

Таким образом, установочный УОВТ оказывает значительное влияние на содержание токсичных компонентов в ОГ дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с ОНВ как при работе дизеля на ДТ, так и при работе дизеля на ПГ.

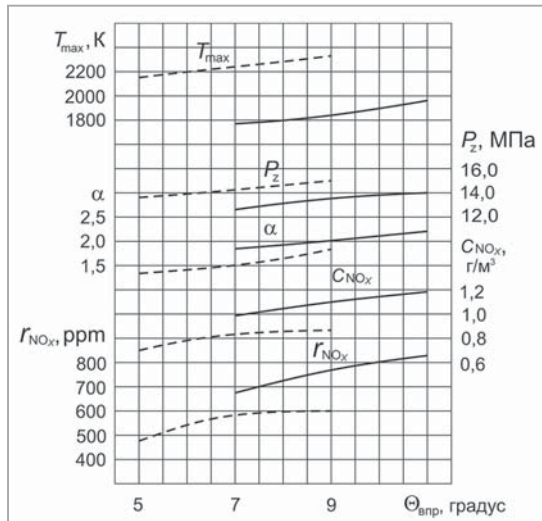
На рис. 3. представлены графики влияния применения ПГ на объемное содержание r_{NO_x} и массовую концентрацию C_{NO_x} оксидов азота в ОГ и показатели процесса сгорания в цилиндре дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с ОНВ в зависимости от изменения установочного УОВТ.

Как видно из графиков, с увеличением установочного УОВТ при работе дизеля на ДТ и ПГ возрастают максимальные давление газов и температура в цилиндре двигателя, а также объемное содержание r_{NO_x} и массовая концентрация C_{NO_x} оксидов азота.

При всех значениях установочных УОВТ при переходе на ПГ происходит снижение расчетных и опытных значений объемного содержания r_{NO_x} и массовой концентрации C_{NO_x} оксидов азота, увеличение максимальных давления газов и температуры в цилиндре двигателя. Также при работе дизеля на ПГ уменьшается коэффициент избытка воздуха α . Это можно объяснить



а



б

Рис. 3. Влияние применения ПГ на объемное содержание r_{NO_x} и массовую концентрацию C_{NO_x} оксидов азота в ОГ и показатели процесса сгорания в цилиндре дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с ОНВ в зависимости от изменения установочного УОВТ:

а – $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$, $p_c = 0,947 \text{ МПа}$;

б – $n = 1700 \text{ мин}^{-1}$, $p_c = 1,036 \text{ МПа}$;

————— – дизельный процесс;

----- – газодизельный процесс

тем, что часть воздуха, поступающего в цилиндр, замещается топливовоздушной смесью ПГ [12]. Эта тенденция наблюдается как при номинальной частоте вращения ($n = 2400 \text{ мин}^{-1}$), так и при частоте вращения, соответствующей максимальному крутящему моменту ($n = 1700 \text{ мин}^{-1}$).

Подводя итоги проведенных исследований, можно наглядно оценить влияние применения ПГ в качестве моторного топлива в дизеле 4ЧН 11,0/12,5

с ОНВ на мощностные и экономические показатели, параметры сгорания и содержания оксидов азота, токсичность и дымность ОГ. Необходимо отметить, что совместное использование ПГ и турбонаддува с ОНВ позволяет снизить содержание оксидов азота в ОГ и дымность ОГ. Так, на номинальном режиме работы применение ПГ позволяет снизить в ОГ дизеля содержание сажи в 2,1 раза и оксидов азота на 23,2 %.

Литература

1. Гребнев А.В. Улучшение эффективных показателей дизеля с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха 4ЧН 11,0/12,5 при работе на природном газе путем совершенствования процессов сгорания и тепловыделения. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Санкт-Петербургский государственный аграрный университет. Санкт-Петербург, 2009.
2. Лиханов В.А., Лопатин О.П. Исследование мощностных и экономических показателей дизеля 4Ч 11,0/12,5 при работе на природном газе, метанолю- и этанолю-топливных эмульсиях // Транспорт на альтернативном топливе. – 2016. – № 2 (50). – С. 43-49.
3. Лиханов В.А., Лопатин О.П. Исследование содержания оксидов азота в цилиндре тракторного дизеля с турбонаддувом при работе на природном газе // Тракторы и сельхозмашины. – 2016. – № 5. – С. 3-8.
4. Скрыбин М.Л. Улучшение экологических показателей дизеля 4ЧН 11,0/12,5 с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха при работе на природном газе путем снижения содержания оксидов азота в отработавших газах. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Санкт-Петербургский государственный аграрный университет. Санкт-Петербург, 2009.
5. Лиханов В.А., Лопатин О.П. Улучшение экологических показателей дизеля при работе на природном газе с рециркуляцией // Инженерный журнал: наука и инновации. – 2016. – № 4 (52). – С. 9.
6. Лиханов В.А., Лопатин О.П. Моделирование эмиссии оксидов азота в цилиндре тракторного газодизеля // Тракторы и сельхозмашины. – 2016. – № 7. – С. 3-8.
7. Лиханов В.А., Лопатин О.П. Применение природного газа в дизеле с турбонаддувом // Транспорт на альтернативном топливе. – 2016. – № 4 (52). – С. 35-43.
8. Лопатин О.П. Результаты индцирования рабочего процесса газодизеля на режиме максимального крутящего момента // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения. – 2015. – № 5 (18). – С. 8-9.
9. Лиханов В.А., Лопатин О.П. Модель расчета содержания оксидов азота в цилиндре газодизеля. В сборнике: Общество, наука, инновации (НПК – 2014) Всероссийская ежегодная научно-практическая конференция: общеуниверситетская секция, БФ, ГФ, ФЭМ, ФАВТ, ФАМ, ФПМТ, ФСА, ХФ, ЭТФ. Вятский государственный университет. – 2014. – С. 2001-2004.
10. Лиханов В.А., Лопатин О.П. Снижение содержания оксидов азота в отработавших газах дизелей путем применения альтернативных видов топлива: Монография. – Киров: Вятская ГСХА, 2009. – 500 с.
11. Лопатин О.П. Моделирование процесса образования оксидов азота в цилиндре газодизеля // Молодой ученый. – 2015. – № 11. – С. 370-372.
12. Лопатин О.П. Влияние применения природного газа на показатели процесса сгорания и содержание оксидов азота в цилиндре дизеля с турбонаддувом // Молодой ученый. – 2015. – № 13. – С. 139-141.

Устройство для производства и добавления водорода в топливовоздушную смесь двигателей внутреннего сгорания

Е.М. Овсянников, профессор Московского политехнического университета, д.т.н.,

Т.Б. Гайтова, профессор Московского политехнического университета, д.т.н.,

П.Н. Ключин, доцент Московского политехнического университета,
директор по развитию ООО «Инжиниринговый центр «СМАРТ», к.т.н.,

В.Н. Полякова, доцент Московского политехнического университета

В данной работе рассмотрены научные исследования и проведенные эксперименты по применению водорода на транспорте с целью повышения энергоэффективности двигателей внутреннего сгорания. Предлагаются модель установки электрохимического генератора водорода на борту транспортного средства и технические меры для коррекции алгоритма системы управления двигателем.

Ключевые слова:

системы регенерации энергии, электролизер, гидроксигаз.

Потребность в увеличении мощности двигателей внутреннего сгорания (ДВС) и снижении выбросов токсичных веществ в составе отработавших газов (ОГ) предопределила развитие систем рекуперации энергии на транспорте. В настоящее время практически все системы рекуперации энергии на транспорте вырабатывают электрическую энергию, которую используют для повышения энергоэффективности силовых агрегатов транспортных средств. Наиболее эффективными и экономически оправданными системами регенерации энергии на транспорте являются следующие [1]:

- система рекуперации энергии торможения (KERS);
- система регенерации тепловой энергии в системе выпуска отработавших газов по циклу Ранкина (Rankine cycle);

- система регенерации кинетической энергии (турбоэлектрогенератор) в системе выпуска отработавших газов;
- термоэлектрический генератор на эффекте Зеебека (Seebeck Effect).

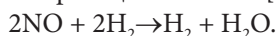
В условиях рыночной экономики и высокой конкуренции среди автопроизводителей необходимы новые технические решения и предложения по применению электрической энергии, получаемой вследствие рекуперации энергии на транспорте. Они должны соответствовать высоким стандартам качества технического исполнения и безопасности эксплуатации, а также рентабельности применения на транспорте.

Одним из наиболее перспективных направлений является производство на борту транспортного средства и применение водорода, а также химических газовых соединений на его основе

в качестве топлива или добавки к топливно-воздушной смеси, подаваемой в камеры сгорания ДВС.

Ожидаемая эффективность от применения водорода объясняется его высокой удельной теплотой сгорания (120 МДж/кг) среди веществ, используемых в качестве энергоносителей и применяющихся в настоящее время. Для сравнения, удельная теплота сгорания бензина и дизельного топлива составляет 42...44 МДж/кг, а метана – 50 МДж/кг, то есть более чем в два раза меньше чем у водорода. Такой показатель, как удельная теплота сгорания, влияет на удельный расход топлива и тем самым дает возможность увеличить коэффициент полезного действия двигателя внутреннего сгорания.

Помимо этого, водород является активатором снижения выбросов NO_x в составе отработавших газов, что немаловажно при современном ужесточении экологических стандартов, регулирующих содержание вредных веществ в составе ОГ. Так, например, было установлено положительное влияние водорода на процессы окисления и выделение сажи в дизельных двигателях. Наличие водорода в зоне реакции и горения топливовоздушной смеси сопровождается окислительно-восстановительными реакциями азота [2]:



Необходимо также отметить, что по результатам проведенных исследований [3] наряду со снижением выбросов NO_x при порционной добавке продуктов конверсии метанола ~10 % (с содержанием водорода ~1,25 %) в топливно-воздушную смесь дизельного двигателя наблюдалось снижение содержания сажи в составе отработавших газов на 45 % во всем диапазоне нагрузочных режимов.

В связи с вышеизложенным водород по праву можно считать одним из наиболее перспективных энергоносителей для масштабного использования на

транспортных средствах. Однако существует ряд проблем, к числу которых относятся следующие:

- отсутствие развитой инфраструктуры для хранения водорода с целью дозаправки транспортных средств, использующих его в качестве топлива;
- относительно высокая стоимость производства чистого водорода;
- неблагоприятное воздействие на окружающую среду производственных мощностей при получении чистого водорода ввиду использования технологии паровой конверсии природного газа или нефтяных фракций;
- высокие требования по безопасности к техническому исполнению оборудования для перевозки, хранения и подачи водорода в камеры сгорания ДВС.

Одной из первых в области применения водородной энергетики на транспорте была и остается компания BMW со своей разработкой битопливного автомобиля BMW Hydrogen (рис. 1). Именно компания BMW наглядно показала своим проектом Clean Energy, что современных технологических возможностей более чем достаточно для реализации таких перспективных задач по замещению углеводородного топлива. К сожалению, проект оказался весьма дорогостоящим ввиду перечисленных выше проблем и в серийное производство не был запущен. Однако он дал старт новым инженерным решениям, которыми занялись по всему миру, что подтверждает большое количество патентной документации по этой тематике.

После изучения опыта западных автопроизводителей и научных центров можно привести перечень первоочередных мер, необходимых для реализации задачи использования водорода на транспорте:

- замещение газобаллонного оборудования для хранения и перевозки водородного топлива на оборудование, способное производить водород на борту транспортного средства;

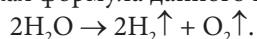
- прямая подача водорода во впускной коллектор или камеру сгорания ДВС, исключая наличие емкостей для его хранения, но с фильтрами тонкой очистки.

Этим требованиям удовлетворяет метод производства водородной смеси

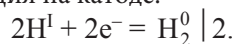


Рис. 1. Автомобиль BMW Hydrogen

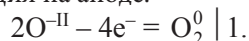
посредством электрохимического преобразования воды, то есть электролиза воды. Суть данного метода заключается в протекании окислительно-восстановительных реакций на электродах, погруженных в электролит (вода или химический раствор), при прохождении через них постоянного электрического тока. При этом данный электрохимический процесс сопровождается выделением кислорода O_2 на аноде и водорода H_2 на катоде. Таким образом, на выходе мы имеем смесь газов в соотношении 2:1, то есть два атома водорода к одному атому кислорода. Ниже приведена химическая формула данного процесса:



Реакция на катоде:



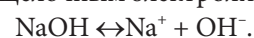
Реакция на аноде:



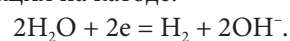
В целях обеспечения необходимой производительности (газовыделение) пластины разной полярности собираются в отдельные кассеты и соединяются последовательно, при этом учитываются их полярность, покрытие и габаритные размеры. Такое устройство в сборе

и является электролизером. Электролит для него представляет собой разбавленную высококонцентрированную щелочь (как правило, гидроксид натрия NaOH) в водном растворе. Для большей производительности электролизера и работы в различных температурных диапазонах с учетом специфических особенностей местности концентрация щелочи в электролите поддерживается в определенном соотношении, установленном эмпирическим путем.

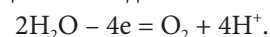
Вырабатываемый таким образом газ называется гидроксигазом (англ. ННО Gas, или Оxyhydrogen), в научной литературе для данного газа используется термин «газ Брауна», названный в честь болгарского ученого Юлла Брауна, который одним из первых запатентовал свою модель электролизера, способного вырабатывать этот газ. Ниже приведена формула образования газа для электролизера с щелочным электролитом:



Реакция на катоде:



Реакция на аноде:



На рис. 2 изображена схема установки электролизера, где вырабатываемый газ из электролизера 5 отводится через соединительную магистраль к резервуару с электролитом 4 и далее подается на фильтр тонкой очистки 3 (мембрана, поглощающая аэрозольную взвесь электролита). После этого газ поступает во впускной коллектор камеры сгорания ДВС через штуцер подачи газа 2.

В данном случае гидроксигаз выступает в качестве добавки к топливно-воздушной смеси. Газовая смесь, подаваемая во впускной коллектор за счет создаваемого разрежения, затягивается в камеры сгорания и сгорает с топливно-воздушной смесью. За счет высокой удельной теплоты сгорания водорода процесс сгорания ускоряется после воспламенения топливно-воздушной смеси.

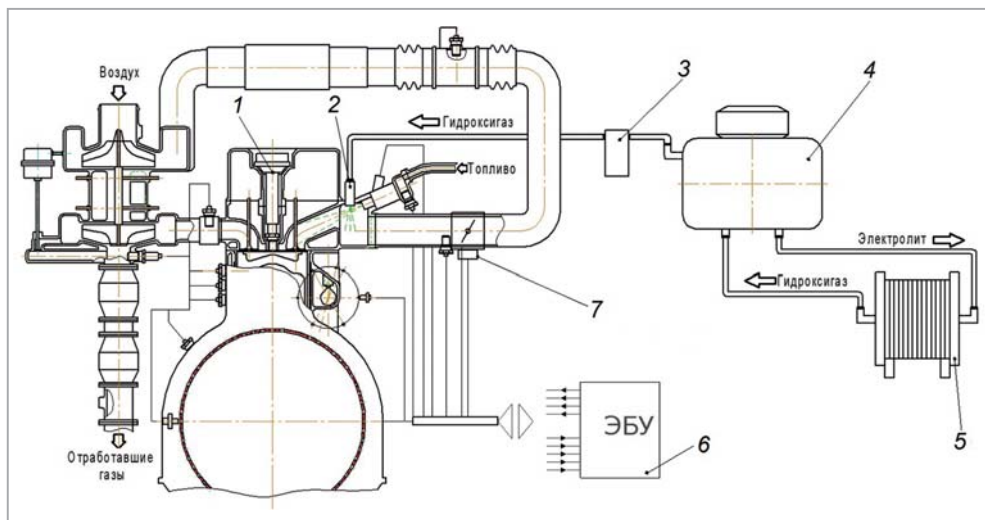


Рис. 2. Схема установки электролизера и его компонентов совместно с двигателем внутреннего сгорания:

1 – модуль зажигания; 2 – штуцер подачи газа во впускной коллектор; 3 – фильтр тонкой очистки газа; 4 – резервуар с электролитом; 5 – электролизер; 6 – электронный блок управления; 7 – дроссельная заслонка

В ходе проведенных исследований в Московском государственном техническом университете МГТУ «МАМИ» при оценке влияния добавки водорода к бензовоздушной смеси сжиженных углеводородных газов было выявлено, что добавка 5 % водорода к топливно-воздушной смеси увеличивает скорость распространения фронта пламени в камере на 60...70 %. Также было отмечено, что при наличии добавки водорода в составе топливно-воздушной смеси повышалась стабильность ее воспламенения [4].

Детонация, вызванная таким образом, может привести к быстрому выходу из строя механических элементов и узлов двигателя. Поэтому в бензиновых двигателях необходимо выполнить коррекцию углов опережения зажигания (УОЗ) на соответствующих режимах работы ДВС, а на дизельных двигателях – углов впрыска топлива.

Как указывалось ранее, электролизеры для транспортных средств имеют различную производительность. Для двигателей различного объема и вида применяемого топлива необходимо

подобрать электролизер соответствующей производительности. По данной тематике было проведено множество экспериментов и опытов. Например, согласно экспериментальным исследованиям турецких ученых [5], использование электролизера с производительностью от 20 л/ч для двигателей с рабочим объемом 1,5...3,0 л при работе в городском цикле дало значительное снижение расхода топлива испытываемыми автомобилями от 25 % и более.

В связи с вышеизложенным посредством использования предложенной схемы и электролизера можно однозначно сделать следующие выводы:

- не внося существенных изменений в конструкцию системы топливоподачи ДВС, можно добиться оптимальных компоновки и установки электролизера и его компонентов (см. рис. 2);
- в случае применения предложенной схемы на транспортных средствах с электронным блоком управления двигателем необходима коррекция углов опережения зажигания и впрыска для различных режимов работы ДВС;

- отсутствие больших емкостей для хранения гидроксигаса существенно увеличивает безопасность использования электролизера на борту транспортного средства.

Выработка водорода при помощи электролизера на борту транспортного средства – это энергозатратный процесс. Например, для максимальной производительности электролизера (2...2,5 л/мин) на борту легкового автомобиля с рабочим объемом двигателя 1,5...2,5 л потребляемая мощность должна составить около 400 Вт электрической энергии (сила тока составит около 30 А). Однако иностранные разработчики подобных систем фиксируют уменьшение расхода топлива на транспортных средствах, где электролизер получает питание от штатной системы энергоснабжения без вмешательства в ее конструкцию.

В этой связи предлагается подавать питание на электролизер от установленной на борту транспортного средства системы рекуперации энергии. В одном из вариантов – это турбоэлектрогенератор, устанавливаемый в системе выпуска отработавших газов, мощность которого в режиме «генератора» составляет до 10 % от мощности двигателя на повышенных оборотах ДВС [2]. Благодаря этому можно обеспечить электролизер электрической энергией, не отбирая мощности у ДВС, и таким образом преобразовать тепловую энергию отработавших газов в электрическую, вырабатывая гидроксигаз с высоким содержанием водорода.

В настоящее время группой авторов ведется работа по созданию и проверке алгоритма управления турбоэлектрогенератором и электролизером, а также управления вышеописанным процессом.

Литература

1. Власов В.М., Клюкин П.Н., Полякова В.Н. Регенерация энергии для повышения эффективности силовой установки гибридных автомобилей // Автотранспортное предприятие. – 2013. – № 3. – С. 49-50.
2. Каменев В.Ф., Фомин В.М., Хрипач Н.А. Теоретические и экспериментальные исследования работы двигателя на дизельно-водородных топливных композициях // Альтернативная энергетика и экология. – 2005. – № 7 (27). – С. 28-31.
3. Фомин В.М., Хакимов Р.Р., Шевченко Д.М. Водород как химический реагент в кинетическом механизме образования углерода в дизеле // Транспорт на альтернативном топливе. – 2011. – № 3 (21). – С. 10-13.
4. Улучшение процесса сгорания сжиженного углеводородного газа добавками водорода / Е.А. Федянов [и др.] // Молодой ученый. – 2013. – № 3. – С. 111-114.
5. Смоленский В.В., Смоленская Н.М., Шайкин А.Г. Влияние добавки водорода на процесс горения в бензиновых двигателях с искровым зажиганием / Прогресс транспортных средств и систем – 2009: Материалы Международной научно-практической конференции.

Вязкостные характеристики многокомпонентных смесевых биотоплив на основе растительных масел

В.А. Марков, профессор, заведующий кафедрой МГТУ им. Н.Э. Баумана, д.т.н.,
С.Н. Девянин, профессор, заведующий кафедрой Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К.А. Тимирязева, д.т.н.,
С.А. Зыков, доцент Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К.А. Тимирязева, к.т.н.
Са Бовэнь, магистрант кафедры «Теплофизика» МГТУ им. Н.Э. Баумана

Показаны преимущества использования в дизельных двигателях многокомпонентных смесевых биотоплив. Одной из проблем использования топлив на основе растительных масел является их повышенная вязкость. Исследованы вязкостные характеристики многокомпонентных смесевых биотоплив – смесей нефтяного дизельного топлива с рапсовым маслом, метиловым эфиром рапсового масла и автомобильным бензином. Приведены показатели дизеля Д-245.12С, работающего на многокомпонентных смесевых биотопливах.

Ключевые слова:

дизельный двигатель, нефтяное дизельное топливо, бензин, альтернативное топливо, растительное масло, рапсовое масло, метиловый эфир рапсового масла, многокомпонентное смесевое биотопливо, вязкость.

В настоящее время основными энергоносителями для транспорта являются нефтяное дизельное топливо и бензин. Доля альтернативных топлив в общем балансе потребления моторных топлив незначительна и составляет лишь несколько процентов, однако в связи с обостряющимся энергетическим кризисом, нарастающим дефицитом нефтяных энергоносителей и необходимостью решения острых экологических проблем уже в ближайшей перспективе следует ожидать расширения использования альтернативных моторных топлив [1, 2]. Среди них наиболее привлекательны биотоплива, поскольку сырьевые ресурсы для их получения являются практически неисчерпаемыми, а при их применении возможно решение ряда экологических проблем, в частности, проблемы снижения выброса в атмосферу основного парникового газа – диоксида углерода (углекислый газ).

В дизельных двигателях силовых установок автомобилей все шире используются биотоплива, получаемые из растительных масел [3, 4]. Альтернативные моторные топлива вырабатывают из различных растительных масел, но для условий средней полосы России наиболее привлекательны топлива, производимые с использованием рапсового масла (РМ) [4]. К топливам, получаемым из растительных масел, относятся чистые растительные масла, их эфиры (например, метиловый эфир

рапсового масла – МЭРМ), смеси масел и их эфиров с нефтяными и альтернативными топливами, микроэмульсии на основе растительных масел, воды, спиртов или других альтернативных топлив [3, 4].

Возможность использования указанных биотоплив в дизелях во многом предопределяется близостью их физико-химических свойств к аналогичным свойствам нефтяного дизельного топлива (ДТ). Важнейшими характеристиками альтернативных топлив являются их плотность, вязкость, сжимаемость [4, 5, 6]. Указанные физические свойства биотоплив на основе растительных масел оказывают заметное влияние на параметры процессов топливоподачи, впрыскивания и распыливания, смесеобразования и сгорания [4, 6]. Как правило, они имеют высокие плотность и вязкость, поэтому при их подаче в камеру сгорания (КС) штатной системой топливоподачи наблюдается увеличение цикловой подачи и часового расхода. Повышенная плотность растительных масел и топлив на их основе приводит к увеличению дальности струи распыливаемого топлива. Увеличение длины струи распыливаемых биотоплив усугубляется их худшей самовоспламеняемостью (увеличение периода задержки воспламенения). В результате за период задержки воспламенения струи распыливаемого биотоплива достигают стенок КС, часть топлива, попадающая на стенки, не сгорает полностью, уменьшается доля объемного смесеобразования, могут наблюдаться потеря подвижности поршневых колец и загрязнение моторного масла.

Для устранения указанных недостатков желательно использовать биотоплива, имеющие свойства, близкие к свойствам штатных нефтяных дизельных топлив. Приближение указанных свойств биотоплив к свойствам штатного ДТ достигается при использовании смесей растительных масел с нефтяными дизельными и другими топливами, что обеспечивает необходимое качество рабочих процессов дизелей и их требуемые эксплуатационные показатели. Причем, наибольшее приближение к свойствам штатного ДТ может быть достигнуто путем применения многокомпонентных смесевых биотоплив. В настоящей работе рассматриваются смеси нефтяного дизельного топлива с рапсовым маслом, метиловым эфиром рапсового масла и автомобильным бензином.

В связи с целесообразностью использования в транспортных дизельных двигателях именно таких смесевых биотоплив определенный интерес представляет исследование зависимости вязкости указанных смесей от их состава. Известны работы, посвященные экспериментальному определению вязкости биотоплив [7-12]. Вместе с тем, в связи с указанной выше целесообразностью использования многокомпонентных смесевых биотоплив и необходимостью получения простых и достоверных эмпирических формул, описывающих вязкость таких биотоплив, требуется проведение дополнительных исследований, направленных на получение их аппроксимационных вязкостных характеристик.

В уже проведенных исследованиях вязкостных характеристик смесевых жидкостей использованы различные теоретические подходы, основанные на описании взаимодействия компонентов смеси [13-15]. Но получение полностью теоретических формул, описывающих вязкостные характеристики смесевых биотоплив (смеси нефтяного ДТ, растительных масел, их эфиров и др.), практически невозможно в связи со сложным составом рассматриваемых смешиваемых компонентов. Поэтому для описания вязкостных характеристик смесевых биотоплив используют полуэмпирические формулы [15].

В представленной работе для описания вязкостных характеристик многокомпонентных смесевых биотоплив использованы известный логарифмический

и предложенный авторами алгебраический аппроксимационные подходы. К первому подходу относится метод Ниссана и Грюнберга [15], позволяющий определить кинематическую вязкость смеси в виде

$$\ln v = \sum_i^n x_i \ln v_i + \sum_i^n \sum_{j>i}^n x_i x_j D_{ij} + \sum_i^n \sum_{j>i}^n \sum_{k>j}^n x_i x_j x_k D_{ijk} + \dots + D_{ij\dots n} \prod_i^n x_i, \quad (1)$$

где D_{ij} , D_{ijk} , ... , $D_{ij\dots n}$ – коэффициенты, зависящие от температуры и концентрации компонентов в смеси.

Значения коэффициентов D_{ij} , D_{ijk} , ... , $D_{ij\dots n}$ рассчитываются по следующим формулам:

$$\begin{aligned} D_{ij} &= \frac{A_{ij}}{t} + B_{ij}; \\ D_{ijk} &= \frac{A_{ijk}}{t^2} + B_{ijk}; \\ &\vdots \\ D_{ij\dots n} &= \frac{A_{ij\dots n}}{t^n} + A_{ij\dots n}. \end{aligned} \quad (2)$$

Коэффициенты A_{ij} , A_{ijk} , ... , $A_{ij\dots n}$ и B_{ij} , B_{ijk} , ... , $B_{ij\dots n}$, входящие в выражения (2), определяются методом наименьших квадратов. Они могут быть заданы либо постоянными, либо зависящими от концентрации компонентов в смеси. В этом случае описание зависимости вязкости смеси от температуры может быть задано в виде нелинейной суммы вида

$$\ln v = A_{ДТ1} + \frac{B_{ДТ1}}{t} + C_{ДТ1} t, \quad (3)$$

где коэффициенты A , B и C также могут быть заданы либо постоянными, либо зависящими от концентрации компонентов в смеси.

Второй эмпирический подход, разработанный авторами статьи, предполагает описание нелинейной зависимости кинематической вязкости смесевых топлив от их состава и температуры в виде алгебраического соотношения

$$v = \sum_i^n \left[x_i \left(A_i + \frac{B_i}{t} + C_i \right) + \frac{x_i}{2-x_i} \left(D_i + \frac{E_i}{t} \right) \right], \quad (4)$$

где A_i , B_i , C_i , D_i , E_i – постоянные коэффициенты, относящиеся к i -му компоненту и определяемые методом наименьших квадратов.

В этом подходе кинематическая вязкость чистого ДТ определяется следующей формулой:

$$v = A_{ДТ2} + \frac{B_{ДТ2}}{t} + C_{ДТ2} t. \quad (5)$$

Два указанных метода использованы для получения аппроксимационных зависимостей для вязкости различных многокомпонентных смесевых биотоплив. При проведении расчетных исследований использованы экспериментальные данные работ [4, 16-18] по кинематической вязкости рассматриваемых смесей при температурах 20, 40 и 60 °С (табл. 1 и 2).

Таблица 1

Кинематическая вязкость ДТ, РМ, МЭРМ и их смесей

Температура, °С	Кинематическая вязкость различных топлив, мм ² /с					
	ДТ	РМ	МЭРМ	90% ДТ, 5% РМ, 5% МЭРМ	80% ДТ, 10% РМ, 10% МЭРМ	60% ДТ, 20% РМ, 20% МЭРМ
20	2,370	75,000	8,000	4,661	5,421	5,477
40	1,770	34,601	4,498	2,364	2,398	3,503
60	1,293	19,305	4,097	1,625	1,730	2,399

Таблица 2

Кинематическая вязкость ДТ, РМ, бензина АИ-80 и их смесей

Температура, °С	Кинематическая вязкость различных топлив, мм ² /с					
	ДТ	РМ	АИ-80	85% ДТ, 5% РМ, 10% АИ-80	80% ДТ, 10% РМ, 10% АИ-80	70% ДТ, 20% РМ, 10% АИ-80
20	2,370	75,000	0,730	2,127	2,771	3,599
40	1,770	34,601	0,582	1,665	2,007	2,503
60	1,293	19,305	0,523	1,222	1,625	1,856

При аппроксимации кинематической вязкости многокомпонентных смесей (соответственно ДТ+РМ+МЭРМ и ДТ+РМ+АИ-80) при разных температурах формулу (1), соответствующую логарифмическому подходу, можно представить в виде

$$\ln v = x_1 \ln v_1 + x_2 \ln v_2 + x_3 \ln v_3 + x_1 x_2 D_{12} + x_2 x_3 D_{23} + x_1 x_3 D_{13} + x_1 x_2 x_3 D_{123}, \quad (6)$$

или

$$v = v_1^{x_1} v_2^{x_2} v_3^{x_3} e^{x_1 x_2 D_{12}} e^{x_2 x_3 D_{23}} e^{x_1 x_3 D_{13}} e^{x_1 x_2 x_3 D_{123}}. \quad (7)$$

Аналогично формула (4) для описания характеристик кинематической вязкости многокомпонентных смесей алгебраическим соотношением приобретает следующий вид:

$$v = x_1 \left(A_1 + \frac{B_1}{t} + C_1 \right) + \frac{x_1}{2 - x_1} \left(D_1 + \frac{E_1}{t} \right) + x_2 \left(A_2 + \frac{B_2}{t} + C_2 \right) + \frac{x_2}{2 - x_2} \left(D_2 + \frac{E_2}{t} \right) + x_3 \left(A_3 + \frac{B_3}{t} + C_3 \right) + \frac{x_3}{2 - x_3} \left(D_3 + \frac{E_3}{t} \right). \quad (8)$$

При аппроксимации характеристик кинематической вязкости логарифмическим соотношением массовые концентрации РМ, МЭРМ и ДТ обозначены соответственно x_1 , x_2 и x_3 , а кинематическая вязкость смеси и чистых РМ, МЭРМ, ДТ – соответственно v , v_1 , v_2 и v_3 . В связи со структурной особенностью этих смесей (в табл. 1 содержание в смесях РМ и МЭРМ равны, то есть x_1 всегда равен x_2) формулы (6) и (8) имеют соответственно следующие виды:

$$\ln v = x_1 \ln v_1 + x_2 \ln v_2 + x_3 \ln v_3 + x_1 x_2 D_{12} + x_1 x_3 D_{13}^* + x_1 x_2 x_3 D_{123} \quad (9)$$

и

$$v = x_1 \left(A_1^* + \frac{B_1^*}{t} + C_1^* \right) + \frac{x_1}{2-x_1} \left(D_1^* + \frac{E_1^*}{t} \right) + x_3 \left(A_3 + \frac{B_3}{t} + C_3 \right) + \frac{x_3}{2-x_3} \left(D_3 + \frac{E_3}{t} \right), \quad (10)$$

где

$$D_{12} = \frac{A_{12}}{t} + B_{12}; \quad D_{13}^* = D_{13} + D_{12} = \frac{A_{13} + A_{12}}{t} + B_{13} + B_{12} = \frac{A_{13}^*}{t} + B_{13}^*;$$

$$D_{123} = \frac{A_{123}}{t^2} + B_{123}; \quad A_1^* = A_1 + A_2; \quad B_1^* = B_1 + B_2;$$

$$C_1^* = C_1 + C_2; \quad D_1^* = D_1 + D_2; \quad E_1^* = E_1 + E_2.$$

При этом формулу (9) можно также представить в виде:

$$\begin{aligned} \ln v = & x_1 \ln v_1 + x_2 \ln v_2 + x_3 \ln v_3 + x_1 x_2 \left(\frac{A_{12}}{t} + B_{12} \right) + \\ & + x_1 x_3 \left(\frac{A_{13}^*}{t} + B_{13}^* \right) + x_1 x_2 x_3 \left(\frac{A_{123}}{t^2} + B_{123} \right). \end{aligned} \quad (11)$$

При использовании формулы (11) для описания характеристик кинематической вязкости исследуемых смесей сначала необходимо получить формулы вида (3), представляющие собой вязкостно-температурные характеристики чистых ДТ, РМ и МЭРМ. Эти формулы получены с использованием метода наименьших квадратов. Для описания вязкостно-температурной характеристики РМ эта формула имеет вид

$$\ln v_1 = 4,2457 + 11,4052/t - 0,0244t. \quad (12)$$

Для МЭРМ и ДТ эти соотношения описаны в виде:

для МЭРМ

$$\ln v_2 = -1,0982 + 66,9528/t + 0,0232t. \quad (13)$$

для ДТ

$$\ln v_3 = 1,2543 - 11,3262/t - 0,0163t. \quad (14)$$

С использованием метода наименьших квадратов, исходных данных по вязкости исследуемых смесей и полученных формул для вязкостно-температурных характеристик их компонентов определены коэффициенты A_{12} , B_{12} , A_{13}^* , B_{13}^* , A_{123} и B_{123} формулы (11), приведенные в табл. 3. При этом формула (11) приобретает следующий вид:

$$\begin{aligned} \ln v = & x_1 \ln v_1 + x_2 \ln v_2 + x_3 \ln v_3 + x_1 x_2 \left(\frac{-290,9761}{t} + 108,2789 \right) + \\ & + x_1 x_3 \left(\frac{260,4718}{t} + 96,765 \right) - x_1 x_2 x_3 \left(\frac{13804}{t^2} + 203,9022 \right). \end{aligned} \quad (15)$$

Таблица 3

Коэффициенты формулы (11) для определения вязкости исследуемых смесей логарифмическим методом

Коэффициенты	A_{12}	B_{12}	A_{13}^*	B_{13}^*	A_{123}	B_{123}
Величина	-290,9761	-108,2789	260,4718	1,5045	-13804	-203,9022

На рис. 1 показаны зависимости кинематической вязкости смесей ДТ, РМ и МЭРМ от состава смесей при различных температурах, построенные с использованием экспериментальных данных табл. 1 (концентрации РМ и МЭРМ равны). Вязкостно-температурные характеристики исследуемых смесей ДТ, РМ и МЭРМ, полученные с использованием формулы (15), представлены на рис. 2.

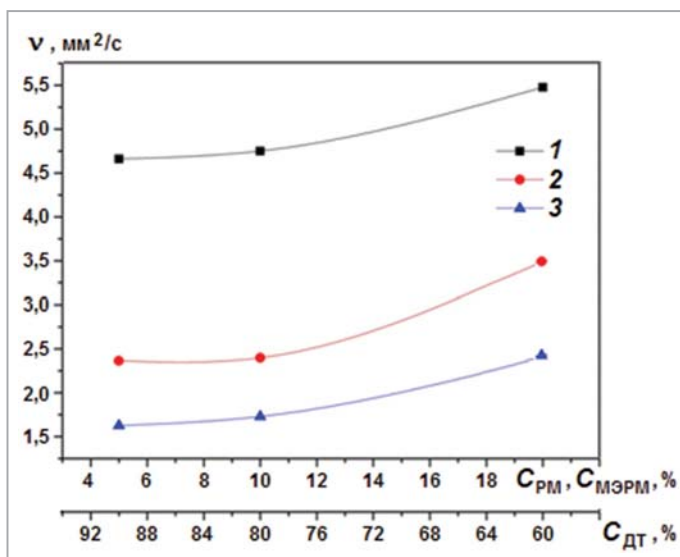


Рис. 1. Зависимость вязкости смесей ДТ, РМ и МЭРМ от концентрации компонентов при различных температурах: 1 – 20 °C; 2 – 40 °C; 3 – 60 °C

Отметим, что во всем исследуемом температурном диапазоне наилучшее совпадение расчетных характеристик, полученных с использованием формулы (15), с экспериментальными данными получено для смеси с массовыми концентрациями РМ и МЭРМ, равными 20 %. Но и для двух других смесей различия между расчетными характеристиками и экспериментальными точками невелики. В табл. 4 приведена максимальная относительная погрешность между экспериментальными и рассчитанными по формуле (15) данными. Там же даны средняя погрешность и среднеквадратичная ошибка аппроксимации. При этом максимальная относительная погрешность аппроксимации не превышает 7 %, а среднеквадратичная ошибка – 0,12 мм²/с. Таким образом, полученные расчетные результаты аппроксимации хорошо согласуются с исходными экспериментальными данными.

Таблица 4

Оценка точности аппроксимации вязкостных характеристик смесей ДТ, РМ и МЭРМ логарифмическим методом

Виды погрешностей	Максимальная относительная, %	Средняя, мм ² /с	Среднеквадратичная ошибка, мм ² /с
Значение	6,5330	0,0861	0,1168

Представленные в табл. 1 экспериментальные данные по кинематической вязкости смесей ДТ, РМ и МЭРМ также аппроксимированы с использованием предложенного алгебраического метода. При этом использован метод наименьших квадратов и определены коэффициенты A_1^* , B_1^* , C_1^* , D_1^* , E_1^* , A_3 , B_3 , C_3 , D_3 и E_3 формулы (10)

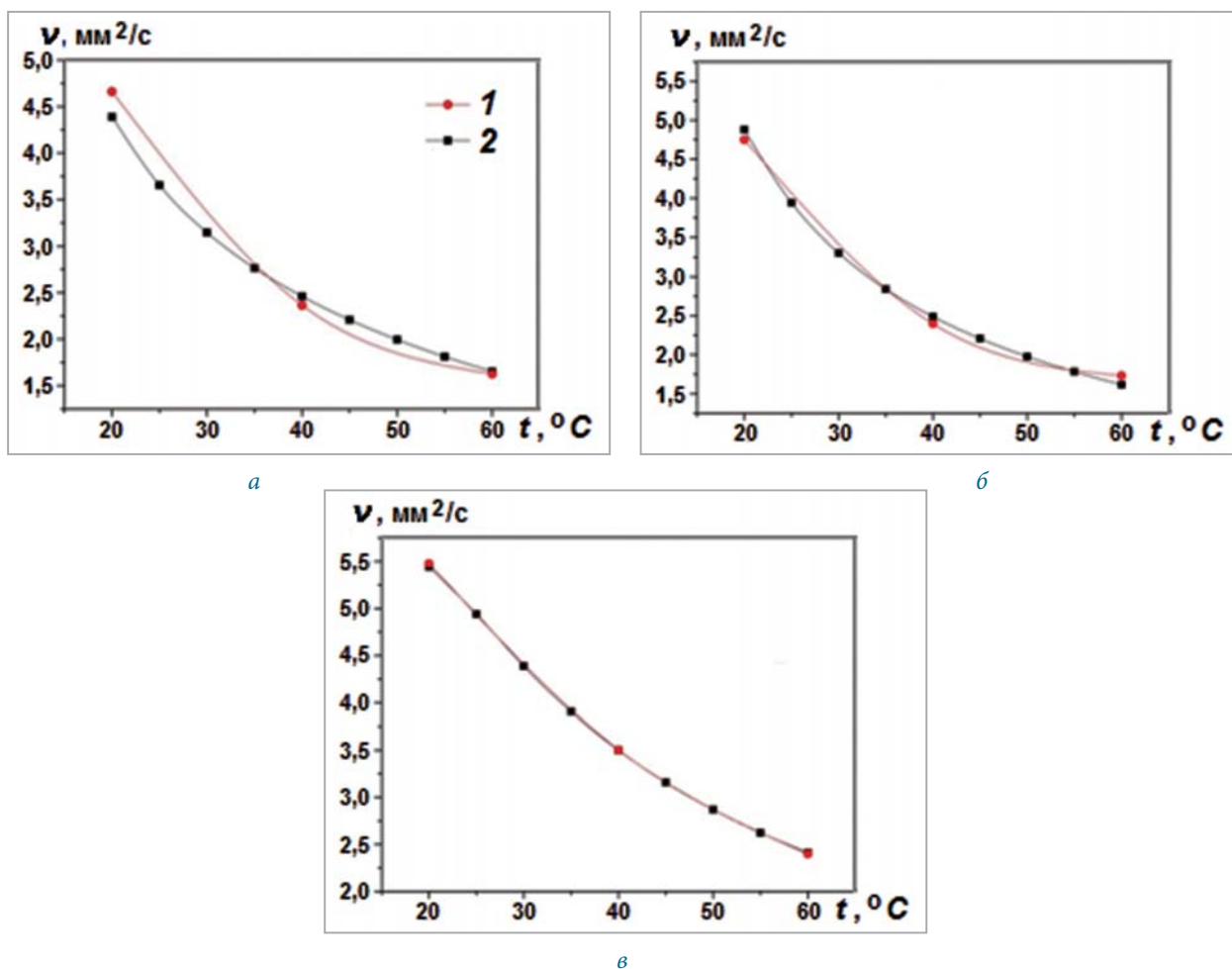


Рис. 2. Зависимость вязкости смесей ДТ, РМ и МЭРМ от температуры при различных концентрациях компонентов в смеси:

а – $C_{\text{ДТ}} = 90\%$, $C_{\text{РМ}} = 5\%$, $C_{\text{МЭРМ}} = 5\%$; б – $C_{\text{ДТ}} = 80\%$, $C_{\text{РМ}} = 10\%$, $C_{\text{МЭРМ}} = 10\%$;

в – $C_{\text{ДТ}} = 60\%$, $C_{\text{РМ}} = 20\%$, $C_{\text{МЭРМ}} = 20\%$;

1 – экспериментальные данные; 2 – расчетные характеристики, полученные по формуле (15) с использованием логарифмического подхода

для рассматриваемых смесевых биотоплив, содержащих ДТ, РМ и МЭРМ, причем содержание РМ и МЭРМ в этих смесях одинаково ($x_1 = x_2$). Полученные значения коэффициентов приведены в табл. 5.

Таблица 5

**Коэффициенты формулы (10) для определения вязкости
исследуемых смесей алгебраическим методом**

Коэффициент	A_1^*	B_1^*	C_1^*	D_1^*	E_1^*	A_3	B_3	C_3	D_3	E_3
Величина	63,6716	-3684	-0,107	-60,7941	5195,5	-20,0192	1202,9	-0,208	22,4357	-1195,52

С учетом полученных значений коэффициентов формула (10) для аппроксимации кинематической вязкости исследуемых смесей ДТ, РМ и МЭРМ алгебраическим методом имеет вид

$$v = x_1 \left(63,6716 - \frac{3684}{t} - 0,107t \right) + \frac{x_1}{2 - x_1} \left(-60,7941 + \frac{5195,5}{t} \right) + x_3 \left(-20,0192 + \frac{1202,9}{t} - 0,208t \right) + \frac{x_3}{2 - x_3} \left(22,4357 - \frac{1195,52}{t} \right). \quad (16)$$

С использованием формулы (16) построены характеристики кинематической вязкости указанных смесей при различных концентрациях в них ДТ, РМ и МЭРМ в диапазоне температур от 20 до 60 °С (рис. 3).

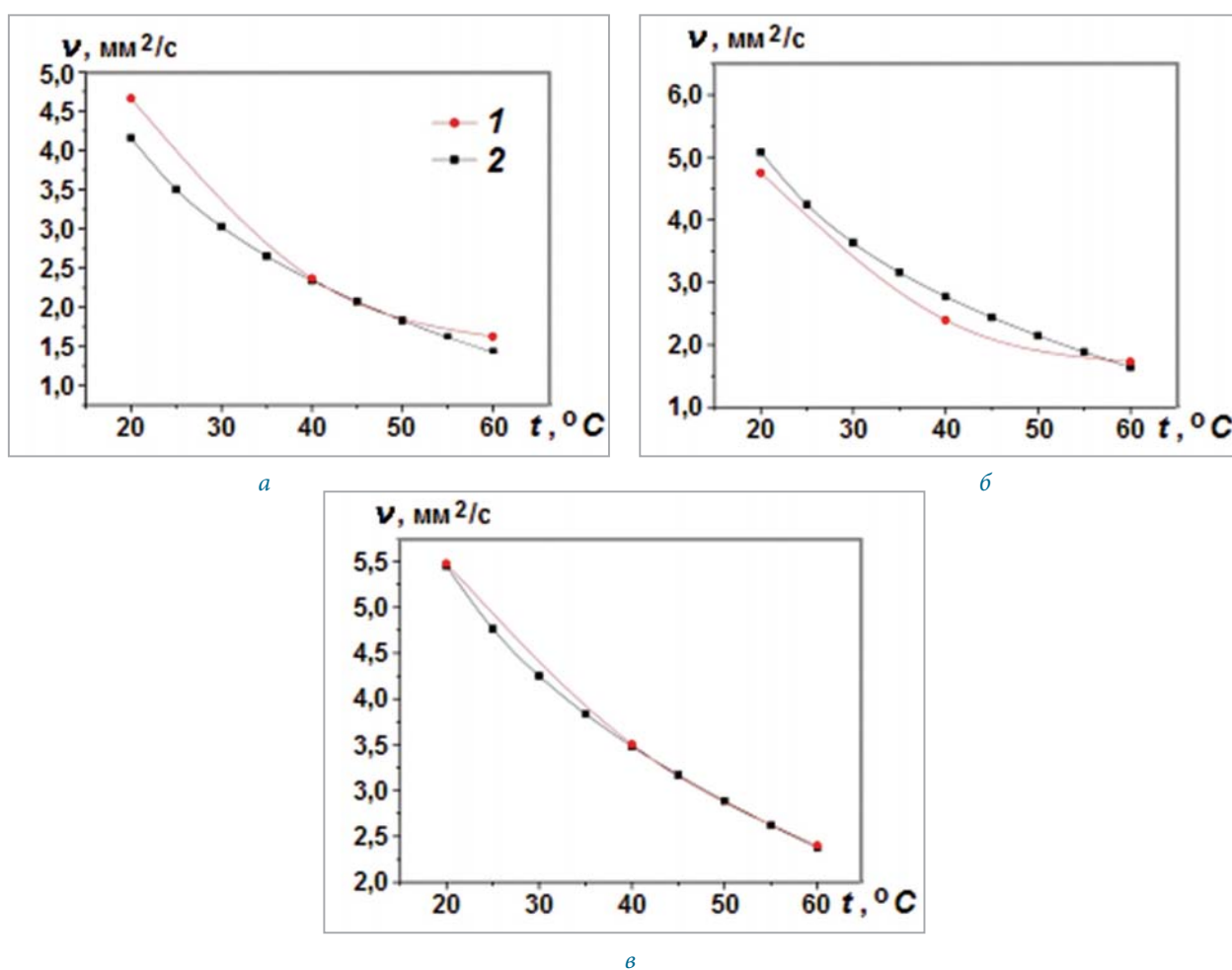


Рис. 3. Зависимость вязкости смесей ДТ, РМ и МЭРМ от температуры при различных концентрациях компонентов в смеси:

a – $C_{\text{ДТ}} = 90\%$, $C_{\text{РМ}} = 5\%$, $C_{\text{МЭРМ}} = 5\%$; *б* – $C_{\text{ДТ}} = 80\%$, $C_{\text{РМ}} = 10\%$, $C_{\text{МЭРМ}} = 10\%$;

в – $C_{\text{ДТ}} = 60\%$, $C_{\text{РМ}} = 20\%$, $C_{\text{МЭРМ}} = 20\%$;

1 – экспериментальные данные; 2 – расчетные характеристики, полученные по формуле (16) с использованием алгебраического подхода

Данные рис. 3 свидетельствуют о том, что различия между экспериментальными точками и полученными по формуле (16) вязкостными характеристиками сравнительно невелики. Это подтверждается представленными в табл. 6 результатами анализа погрешности аппроксимации кинематической вязкости алгебраическим методом. Так, среднеквадратичная ошибка не превышает 0,26 mm^2/s .

Вместе с тем необходимо отметить, что погрешность аппроксимации исходных экспериментальных данных по вязкости смесей ДТ, РМ и МЭРМ с использованием алгебраического метода превышает погрешность аналогичной аппроксимации с использованием логарифмического метода. Но при этом и полученные расчетные результаты аппроксимации с использованием алгебраического метода можно считать вполне приемлемыми.

Таблица 6

Оценка точности аппроксимации вязкостных характеристик смесей ДТ, РМ и МЭРМ алгебраическим методом

Виды погрешностей	Максимальная относительная, %	Средняя, мм ² /с	Среднеквадратичная ошибка, мм ² /с
Значение	15,7004	0,1850	0,2510

Полученные результаты по вязкостным характеристикам смесей ДТ, РМ и МЭРМ имеют не только теоретическое, но и практическое значение, поскольку при заправках транспортных средств каждым из этих топлив в топливных баках могут оказаться смеси указанных компонентов. Поэтому должна быть обеспечена работа двигателей не только на чистых ДТ, РМ и МЭРМ, но и на их смесях. В этом случае необходимо обладать информацией по вязкостным характеристикам этих смесей.

Следует отметить, что поскольку вязкость РМ и МЭРМ выше вязкости нефтяного ДТ (см. табл. 1), то при смешивании указанных компонентов вязкость смеси будет заведомо выше вязкости чистого ДТ (в соответствии с ГОСТ 305–82 вязкость дизельного топлива марки «Л» при температуре 20 °С должна составлять от 3 до 6 мм²/с). В связи с этим определенный интерес представляют смеси ДТ и РМ с компонентами, имеющими малую вязкость, например, с бензинами. Поэтому далее рассмотрены смеси нефтяного ДТ, РМ и автомобильного бензина марки АИ-80, вязкость которого составляла 0,73 мм²/с (см. табл. 2).

При аппроксимации характеристик кинематической вязкости таких смесей массовые концентрации РМ, АИ-80 и ДТ были обозначены соответственно x_1 , x_2 и x_3 , а кинематические вязкости смеси этих компонентов (чистые РМ, АИ-80, ДТ) – соответственно ν , ν_1 , ν_2 и ν_3 . В этом случае формулу (6) для описания характеристик кинематической вязкости этих смесей с использованием логарифмического метода и формулу (8) для алгебраического метода можно представить в виде

$$\ln \nu = x_1 \ln \nu_1 + x_2 \ln \nu_2 + x_3 \ln \nu_3 + x_1 x_2 D_{12} + x_1 x_3 D_{13} + x_2 x_3 D_{23} + x_1 x_2 x_3 D_{123} \quad (17)$$

и

$$\begin{aligned} \nu = & x_1 \left(A_1 + \frac{B_1}{t} + C_1 \right) + \frac{x_1}{2 - x_1} \left(D_1 + \frac{E_1}{t} \right) + x_2 \left(A_2 + \frac{B_2}{t} + C_2 \right) + \\ & + \frac{x_2}{2 - x_2} \left(D_2 + \frac{E_2}{t} \right) + x_3 \left(A_3 + \frac{B_3}{t} + C_3 \right) + \frac{x_3}{2 - x_3} \left(D_3 + \frac{E_3}{t} \right), \quad (18) \end{aligned}$$

где

$$D_{12} = \frac{A_{12}}{t} + B_{12}; \quad D_{13} = \frac{A_{13}}{t} + B_{13}; \quad D_{23} = \frac{A_{23}}{t} + B_{23}; \quad D_{123} = \frac{A_{123}}{t^2} + B_{123}.$$

С учетом приведенных выражений для коэффициентов формулу (17) запишем в виде

$$\begin{aligned} \ln v = & x_1 \ln v_1 + x_2 \ln v_2 + x_3 \ln v_3 + x_1 x_2 \left(\frac{A_{12}}{t} + B_{12} \right) + x_1 x_3 \left(\frac{A_{13}}{t} + B_{13} \right) + \\ & + x_2 x_3 \left(\frac{A_{23}}{t} + B_{23} \right) + x_1 x_2 x_3 \left(\frac{A_{123}}{t^2} + B_{123} \right). \end{aligned} \quad (19)$$

При аппроксимации кинематической вязкости логарифмическим методом сначала определена вязкостно-температурная характеристика бензина АИ-80. При этом с использованием метода наименьших квадратов и исходных данных табл. 2 получена следующая формула для кинематической вязкости чистого бензина АИ-80:

$$\ln v_2 = -0,6267 + 7,1811/t + 0,0024t. \quad (20)$$

Рассчитанные по экспериментальным данным табл. 2 значения коэффициентов A_{12} , B_{12} , A_{13} , B_{13} , A_{23} , B_{23} , A_{123} и B_{123} формулы (19), приведенные в табл. 7, а также полученная формула (20) для вязкостно-температурной характеристики бензина АИ-80 позволили представить формулу (19) в виде

$$\begin{aligned} \ln v = & x_1 \ln v_1 + x_2 \ln v_2 + x_3 \ln v_3 + x_1 x_2 \left(\frac{1255,32}{t} - 166,05 \right) - x_1 x_3 \left(\frac{308,255}{t} + 7,50 \right) + \\ & + x_2 x_3 \left(\frac{-2,5576}{t} + 3,3606 \right) + x_1 x_2 x_3 \left(\frac{17201,818}{t^2} + 352 \right). \end{aligned} \quad (21)$$

Таблица 7

Коэффициенты формулы (19) для определения вязкости исследуемых смесей логарифмическим методом

Коэффициент	A_{12}	B_{12}	A_{13}	B_{13}	A_{23}	B_{23}	A_{123}	B_{123}
Величина	1255,32	-166,05	-308,255	-7,50	-2,5576	3,3606	17201,818	352

Рассчитанные по формуле (21) вязкостно-температурные характеристики смесей ДТ, РМ и АИ-80 с различными концентрациями компонентов приведены на рис. 4. Следует отметить имеющиеся различия между полученными логарифмическим методом аппроксимирующими кривыми и экспериментальными точками. Оценка погрешности такой аппроксимации приведена в табл. 8. Как следует из этой таблицы, максимальная относительная погрешность аппроксимации вязкостно-температурных характеристик исследуемых смесей формулой (21) составляет примерно 18,7 %, средняя погрешность – не более 0,26 мм²/с, среднеквадратичная ошибка – не более 0,32 мм²/с.

Таблица 8

Оценка точности аппроксимации вязкостных характеристик смесей ДТ, РМ и АИ-80 логарифмическим методом

Виды погрешностей	Максимальная относительная, %	Средняя, мм ² /с	Среднеквадратичная ошибка, мм ² /с
Значение	18,7193	0,2540	0,3137

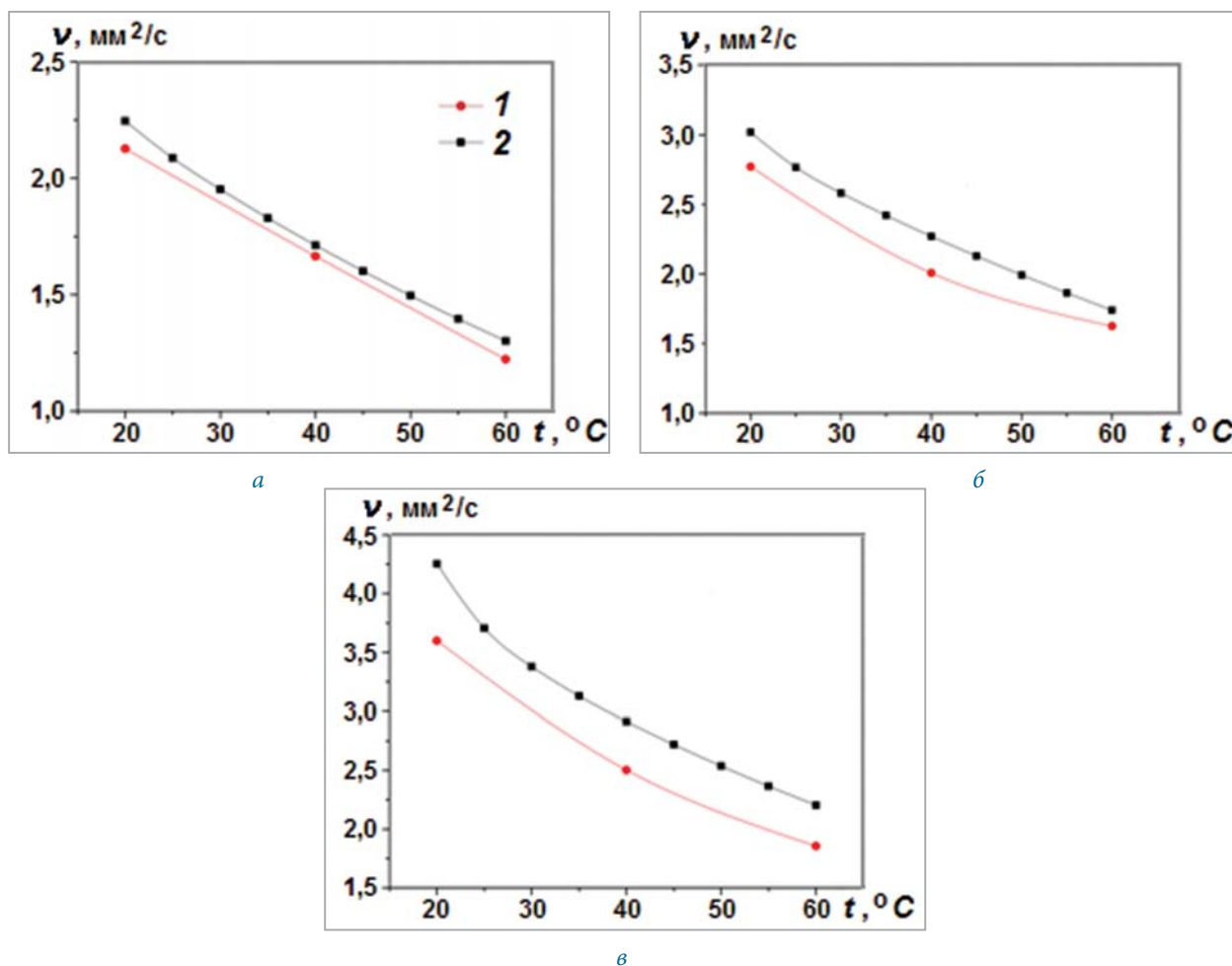


Рис. 4. Зависимость вязкости смесей ДТ, РМ и АИ-80 от температуры при различных концентрациях компонентов в смеси:

а – $C_{\text{ДТ}} = 85\%$, $C_{\text{РМ}} = 5\%$, $C_{\text{АИ-80}} = 10\%$; *б* – $C_{\text{ДТ}} = 80\%$, $C_{\text{РМ}} = 10\%$, $C_{\text{АИ-80}} = 10\%$;

в – $C_{\text{ДТ}} = 70\%$, $C_{\text{РМ}} = 20\%$, $C_{\text{АИ-80}} = 10\%$;

1 – экспериментальные данные; *2* – расчетные характеристики, полученные по формуле (21) с использованием логарифмического подхода

Вязкостно-температурные характеристики смесей ДТ, РМ и АИ-80 исследованы и с использованием предложенного алгебраического метода. При этом на основе исходных данных табл. 2 с помощью метода наименьших квадратов определены коэффициенты $A_1, B_1, C_1, D_1, E_1, A_2, B_2, C_2, D_2, E_2, A_3, B_3, C_3, D_3$ и E_3 формулы (18). Полученные результаты расчета приведены в табл. 9. С учетом полученных значений коэффициентов формула (18) приобретает следующий вид:

$$\begin{aligned} \nu = & -x_1 \left(0,0007 + \frac{2,6659}{t} + 0,1t \right) + \frac{x_1}{2 - x_1} \left(2,4007 + \frac{1508,8659}{t} \right) - \\ & -x_2 \left(+0,0499 + \frac{2,1907}{t} + 0,0007t \right) + \frac{x_2}{2 - x_2} \left(0,5269 + \frac{7,5307}{t} \right) + \\ & + x_3 \left(0,0279 + \frac{1,1211}{t} - 0,02t \right) + \frac{x_3}{2 - x_3} \left(2,3731 - \frac{6,2589}{t} \right). \quad (22) \end{aligned}$$

Таблица 9

Коэффициенты формулы (18) для определения вязкости исследуемых смесей алгебраическим методом

Коэффициент	A_1	B_1	C_1	D_1	E_1	A_2	B_2	C_2
Величина	- 0,0007	-2,6659	- 0,1	2,4007	1508,8659	-0,0499	-2,1907	-0,0007

Таблица 9 (продолжение)

Коэффициент	D_2	E_2	A_3	B_3	C_3	D_3	E_3
Величина	0,5269	7,5307	0,0279	1,1211	-0,02	2,3731	7,5307

Формула (22) описывает вязкостно-температурные характеристики смесей ДТ, РМ и АИ-80, представленные на рис. 5. Следует отметить хорошее совпадение полученных с использованием алгебраического метода аппроксимационных кривых с экспериментальными точками, которое существенно лучше, чем при использовании логарифмического метода (см. рис. 4). Это подтверждается приведенным в табл. 10 анализом погрешности аппроксимации кинематической вязкости исследуемых смесей формулой (22). Так, среднеквадратичная ошибка аппроксимации не превышает 0,0572 мм²/с. Максимальная относительная погрешность аппроксимации, полученной алгебраическим методом, примерно в 3 раза меньше аналогичной погрешности, полученной логарифмическим методом (5,2616 % против 18,7193 %), а средняя погрешность в 6 раз меньше (0,0434 против 0,2540 мм²/с).

Таблица 10

Оценка точности аппроксимации вязкостных характеристик смесей ДТ, РМ и АИ-80 алгебраическим методом

Виды погрешностей	Максимальная относительная, %	Средняя, мм ² /с	Среднеквадратичная ошибка, мм ² /с
Значение	5,2616	0,0434	0,0572

Приведенные выше данные по вязкости исследуемых смесевых биотоплив (смеси нефтяного ДТ с РМ, МЭРМ и АИ-80) свидетельствуют о том, что при изменении их состава кинематическая вязкость меняется в достаточно широких пределах. Так, вязкость смеси 85 % ДТ, 5 % РМ и 10 % АИ-80 составляет 1,222 мм²/с, а вязкость смеси 60 % ДТ, 20 % РМ и 20 % МЭРМ – 5,477 мм²/с. С одной стороны, это позволяет достаточно просто подобрать смесевое биотопливо с необходимой вязкостью. С другой – вероятность работы автомобиля на смесях с широким диапазоном содержания в них указанных компонентов приводит к необходимости обеспечения работы двигателя на топливах с различными физико-химическими свойствами – плотностью, поверхностным натяжением, сжимаемостью, теплотворной способностью, цетановым числом и др. (табл. 11 и 12) [4, 16-18]. Эта разница в свойствах рассматриваемых биотоплив отражается на показателях топливной экономичности и токсичности отработавших газов (ОГ) дизелей, работающих на этих топливах, что подтверждается результатами экспериментальных исследований работы дизеля типа Д-245.12С (4 ЧН 11/12,5) на смесях нефтяного

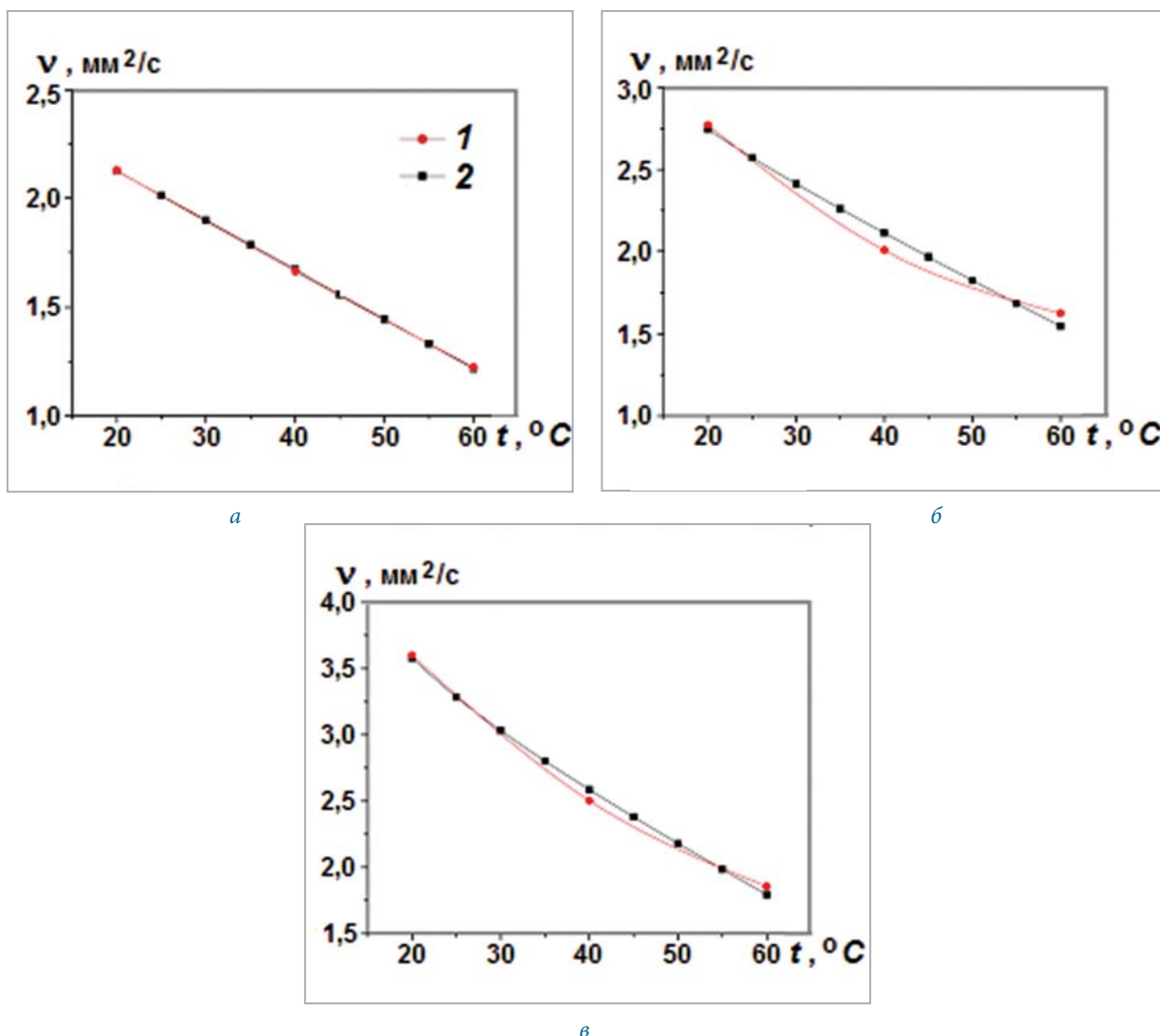


Рис. 5. Зависимость вязкости смесей ДТ, РМ и АИ-80 от температуры при различных концентрациях компонентов в смеси:
а – $C_{\text{ДТ}} = 85\%$, $C_{\text{РМ}} = 5\%$, $C_{\text{АИ-80}} = 10\%$;
б – $C_{\text{ДТ}} = 80\%$, $C_{\text{РМ}} = 10\%$, $C_{\text{АИ-80}} = 10\%$; *в* – $C_{\text{ДТ}} = 70\%$, $C_{\text{РМ}} = 20\%$, $C_{\text{АИ-80}} = 10\%$;
 1 – экспериментальные данные; 2 – расчетные характеристики, полученные по формуле (22) с использованием алгебраического подхода

дизельного топлива марки «Л» по ГОСТ 305–82 с РМ, МЭРМ и АИ-80 (табл. 13 и 14), приведенными в работах [4, 16–18]. Этот дизель производства Минского моторного завода (ММЗ) устанавливается на малотоннажные грузовые автомобили ЗиЛ-5301 «Бычок», а его модификации – на автобусы Павловского автомобильного завода (ПАЗ) и тракторы «Беларусь» Минского тракторного завода (МТЗ). Согласно представленным в табл. 13 и 14 характеристикам, необходимо отметить, что применение в этом дизеле смесей ДТ, РМ, МЭРМ и АИ-80 позволяет значительно уменьшить дымность ОГ на режимах внешней скоростной характеристики (ВСХ), а также (при использовании некоторых из этих смесей) сократить выбросы оксидов азота и легких несгоревших углеводородов с ОГ.

Таблица 11

Физико-химические свойства ДТ, РМ, МЭРМ и их смесей

Свойства	Топливо					
	ДТ	РМ	МЭРМ	90% ДТ, 5% РМ, 5% МЭРМ	80% ДТ, 10% РМ, 10% МЭРМ	60% ДТ, 20% РМ, 20% МЭРМ
Плотность при 20 °С, кг/м ³	805	913	877	815	821	840
Вязкость кинематическая при 20 °С, мм ² /с	2,37	75,0	8,0	4,661	5,421	5,477
Коэффициент поверхностного натяжения при 20 °С, мН/м	27,1	33,2	30,7	–	–	–
Теплота сгорания низшая, кДж/кг	42 500	37 300	37 800	42 000	41 500	40 500
Цетановое число	45	36	48	–	–	–
Температура, °С						
самовоспламенения	250	318	230	–	–	–
помутнения	–25	–9	–13	–	–	–
застывания	–35	–20	–21	–	–	–
Количество воздуха, необходимое для сгорания 1 кг вещества, кг	14,3	12,5	12,6	14,2	14,0	13,6
Содержание, % по массе						
С	87,0	77,0	77,6	86,0	85,1	83,1
Н	12,6	12,0	12,2	12,6	12,5	12,4
О	0,4	11,0	10,2	1,4	2,4	4,5

Примечание: «–» – свойства не определялись; для смесей указано объемное процентное содержание компонентов.

Таблица 12

Физико-химические свойства ДТ, РМ, АИ-80 и их смесей

Свойства	Топливо					
	ДТ	РМ	АИ-80	85% ДТ, 5% РМ, 10% АИ-80	80% ДТ, 10% РМ, 10% АИ-80	70% ДТ, 20% РМ, 10% АИ-80
Плотность при 20 °С, кг/м ³	805	913	756	807	815	823
Вязкость кинематическая при 20 °С, мм ² /с	2,37	75,0	0,73	2,127	2,771	3,599
Коэффициент поверхностного натяжения при 20 °С, мН/м	27,1	33,2	22,0	–	–	–
Теплота сгорания низшая, кДж/кг	42 500	37 300	44 000	42 400	42 000	41 500
Цетановое число	45	36	20	–	–	–
Температура, °С						
самовоспламенения	250	318	400	–	–	–
помутнения	–25	–9	–	–	–	–
застывания	–35	–20	–55	–	–	–
Количество воздуха, необходимое для сгорания 1 кг вещества, кг	14,3	12,5	14,8	14,3	14,2	14,0
Содержание, % по массе						
С	87,0	77,0	85,5	86,4	85,9	84,9
Н	12,6	12,0	14,5	12,8	12,7	12,6
О	0,4	11,0	0,0	0,8	1,4	2,5

Примечание: «–» – свойства не определялись; для смесей указано объемное процентное содержание компонентов.

**Показатели дизеля типа Д-245.12С
при работе на ДТ и смесях ДТ, РМ и МЭРМ**

Показатели	Топливо			
	ДТ	90% ДТ, 5% РМ, 5% МЭРМ	80% ДТ, 10% РМ, 10% МЭРМ	60% ДТ, 20% РМ, 20% МЭРМ
Часовой расход топлива G_h , кг/ч на режиме максимальной мощности на режиме максимального крутящего момента	19,50 12,70	19,79 12,60	19,98 12,99	20,27 13,09
Крутящий момент дизеля M_e , Н·м на режиме максимальной мощности на режиме максимального крутящего момента	312 361	311 351	312 360	310 354
Удельный эффективный расход топлива g_e , г/(кВт·ч) на режиме максимальной мощности на режиме максимального крутящего момента	249,0 224,3	253,6 228,7	255,7 229,4	260,5 234,8
Эффективный КПД дизеля η_e на режиме максимальной мощности на режиме максимального крутящего момента	0,340 0,378	0,338 0,375	0,339 0,378	0,341 0,379
Дымность ОГ K_d , % по шкале Хартриджа на режиме максимальной мощности на режиме максимального крутящего момента	16,0 23,0	10,0 11,0	11,0 12,5	9,0 9,5
Условные (средние) показатели топливной экономичности дизеля на режимах 13-режимного цикла эффективный расход топлива $g_{e\text{ усл}}$, г/(кВт·ч) эффективный КПД $\eta_{e\text{ усл}}$	247,89 0,342	251,72 0,341	253,89 0,342	260,51 0,341
Интегральные удельные выбросы токсичных компонентов на режимах 13-режимного цикла, г/(кВт·ч) оксиды азота e_{NO_x} монооксид углерода e_{CO} несгоревшие углеводороды e_{CH}	6,862 2,654 0,719	6,875 2,489 0,687	6,662 2,496 0,677	7,182 2,662 0,690

**Показатели дизеля типа Д-245.12С,
работающего на ДТ и смесях ДТ, РМ и АИ-80**

Показатели	Топливо			
	ДТ	85% ДТ, 5% РМ, 10% АИ-80	80% ДТ, 10% РМ, 10% АИ-80	70% ДТ, 20% РМ, 10% АИ-80
Часовой расход топлива G_c , кг/ч				
на режиме максимальной мощности	19,70	19,65	19,69	19,94
на режиме максимального крутящего момента	13,72	13,53	13,14	13,74
Крутящий момент дизеля M_c , Н·м				
на режиме максимальной мощности	317	314	309	311
на режиме максимального крутящего момента	368	359	342	359
Удельный эффективный расход топлива g_e , г/(кВт·ч)				
на режиме максимальной мощности	246,8	249,2	253,8	254,6
на режиме максимального крутящего момента	222,6	225,5	228,9	228,4
Эффективный КПД дизеля η_e				
на режиме максимальной мощности	0,343	0,341	0,338	0,341
на режиме максимального крутящего момента	0,381	0,377	0,374	0,380
Дымность ОГ K_d , % по шкале Хартриджа				
на режиме максимальной мощности	14,5	14,0	9,0	12,5
на режиме максимального крутящего момента	20,0	17,0	10,0	14,5
Условные (средние) показатели топливной экономичности дизеля на режимах 13-режимного цикла				
эффективный расход топлива $g_{e\text{усл}}$, г/(кВт·ч)	243,24	245,53	253,93	249,95
эффективный КПД $\eta_{e\text{усл}}$	0,348	0,346	0,338	0,347
Интегральные удельные выбросы токсичных компонентов на режимах 13-режимного цикла, г/(кВт·ч)				
оксиды азота e_{NOx}	6,630	6,451	6,689	6,154
монооксид углерода e_{CO}	2,210	2,123	2,509	2,313
несгоревшие углеводороды e_{CH}	0,580	0,663	0,899	0,722

В заключение необходимо отметить эффективность предложенной методики аппроксимации вязкостных характеристик рассматриваемых многокомпонентных смесевых биотоплив, высокую ее точность и возможность использования для аппроксимации вязкостных характеристик и других смесевых топлив.

Литература

1. Нефтяные моторные топлива: экологические аспекты применения / А.А. Александров, И.А. Архаров, В.А. Марков и др. Под ред. А.А. Александрова, В.А. Маркова. – М.: ООО НИЦ «Инженер», ООО «Онико-М», 2012. – 791 с.
2. Альтернативные топлива для двигателей внутреннего сгорания / А.А. Александров, И.А. Архаров, В.А. Марков и др. Под ред. А.А. Александрова, В.А. Маркова. – М.: ООО НИЦ «Инженер», ООО «Онико-М», 2014. – 691 с.
3. Васильев И.П. Влияние топлив растительного происхождения на экологические и экономические показатели дизеля. – Луганск: изд-во Восточнoукраинского университета им. В. Даля, 2009. – 240 с.
4. Использование растительных масел и топлив на их основе в дизельных двигателях / В.А. Марков, С.Н. Девянин, В.Г. Семенов и др. – М.: ООО НИЦ «Инженер», 2011. – 536 с.
5. Марков В.А., Девянин С.Н., Мальчук В.И. Впрыскивание и распыливание топлива в дизелях. – М.: изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2007. – 360 с.

6. Грехов Л.В., Иващенко Н.А., Марков В.А. Системы топливоподачи и управления дизелей: Учеб. для вузов. Второе издание. – М.: Легион-Автодата, 2005. – 344 с.
7. Goering C.E. Fuel Properties of Eleven Oil Fuels // SAE Technical Paper Series. – 1981. – № 813579. – P. 1-7.
8. Kapseeu C., Kayem G.J., Balesdent D., Schuffenecker L. The Viscosity of Cottonseed Oil, Fractionation Solvents and Their Solutions // Journal of the American Oil Chemists' Society (JAOCS). – 1991. – Vol. 68. – № 2. – P. 128-130.
9. Erhan S.Z., Asadauskas S., Adhvaryu A. Correlation of Viscosities of Vegetable Oil Blends with Selected Esters and Hydrocarbons // JAOCS. – 2002. – Vol. 79. – № 11. – P. 1157-1161.
10. Yuan W., Hansen A.C., Zhang Q., Tan Z. Temperature-Dependent Kinematic Viscosity of Selected Biodiesel Fuel and Blend with Diesel Fuel // JAOCS. – 2005. – Vol. 82. – № 3. – P. 195-199.
11. Fasina O.O., Hallman H., Craig-Schmidt M., Clements C. Predicting Temperature-Dependence Viscosity of Vegetable Oils from Fatty Acid Composition // JAOCS. – 2006. – Vol. 83. – № 10. – P. 899-903.
12. Rodenbush C.M., Hsieh F.H., Viswanath D.S. Density and Viscosity of Vegetable Oils // JAOCS. – 1999. – Vol. 76. – № 12. – P. 1415-1419.
13. Eyring H. Viscosity, plasticity, and diffusion as examples of absolute reaction rates // The Journal of chemical physics. – 1936. – Vol. 4. – № 4. – P. 283-291.
14. McAllister R.A. The viscosity of liquid mixtures // AIChE Journal. – 1960. – Vol. 6. – № 3. – P. 427-431.
15. Dominguez M., Pardo J.I., Gascon I.G., Royo F.M., Urieta J.S. Viscosities of the ternary mixture (2-butanol+n-hexane+1-butylamine) at 298.15 and 313.15 K // Fluid Phase Equilibria. – 2000. – Vol. 169. – № 2. – P. 277-292.
16. Марков В.А., Девянин С.Н., Зыков С.А., Гайдар С.М. Биотоплива для двигателей внутреннего сгорания. – М.: НИЦ «Инженер» (Союз НИО), 2016. – 292 с.
17. Марков В.А., Гусаков С.В., Девянин С.Н. Многокомпонентные смесевые биотоплива для дизельных двигателей // Вестник РУДН. Инженерные исследования. – 2012. – № 1. – С. 46-57.
18. Марков В.А., Девянин С.Н., Быковская Л.И. Оптимизация состава многокомпонентных смесевых биотоплив для дизельных двигателей сельскохозяйственных машин // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2013. – № 12. – С. 51-63.

Требования по подготовке статей к опубликованию в журнале

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Оценка времени ожидания заправки транспортного средства на АГНКС

С.В. Люгай, директор Центра использования газа ООО «Газпром ВНИИГАЗ», к.т.н.,
М.Л. Балашов, ведущий инженер ООО «Газпром ВНИИГАЗ»,
А.А. Евстифеев, начальник лаборатории ООО «Газпром ВНИИГАЗ», к.т.н.

В работе проанализированы варианты подачи транспорта муниципальных автобусных парков на автомобильные газонаполнительные компрессорные станции в период ночного окна заправки при наличии недостаточных заправочных мощностей. При этом анализировались: общая длина очереди, минимальное, среднее и общее время ожидания заправки. Получены графические и аналитические зависимости, сделаны выводы по наиболее рациональному способу планирования подачи транспортных средств на автомобильные газонаполнительные компрессорные станции.

Ключевые слова:

загрузка АГНКС, простой транспортных средств, планирование подачи транспортных средств на заправку, организация заправки транспортных средств.

Одним из источников простоя транспорта муниципальных автобусных парков при заправке на АГНКС является время ожидания заправки. Сокращение его и рациональное планирование прихода транспортных средств (ТС) на заправку являются одной из задач планового и эксплуатационного отделов автотранспортных предприятий.

Анализ статистической информации о временных затратах, связанных с холостыми пробегами пассажирского городского транспорта на АГНКС, показал наличие зависимости времени ожидания заправки от интенсивности подачи ТС на заправку. При этом в работе [1] на примере 11-го автобусного парка Москвы было показано, что среднесуточный пробег автобуса составляет 190 км, а его заправка выполняется на АГНКС один раз в двое суток. При этом средний объем заправки равен 150 м^3 компримированного природного газа (КПГ) с учетом прихода на АГНКС с остатком КПГ в баллонах, равного $25 \dots 40 \text{ м}^3$ в зависимости от модели автобуса и вместимости баллонов.

Целью данной работы является разработка методики оценки времени ожидания транспортным средством заправки на АГНКС.

В рассматриваемом автобусном парке эксплуатируются 100 газовых автобусов со средним объемом заправки 150 м^3 КПГ. Заправка автобусов выполняется на АГНКС-500 с восьмью газораздаточными колонками в ночные часы с 22:00 до 03:00. Необходимо рассчитать рациональный график подачи на заправку транспортных средств. Дополнительной особенностью прихода автобусов на заправку во время ночного интервала времени является отсутствие на заправке сторонних ТС.

Исходя из того, что как производственный объект АГНКС имеет конструктивное ограничение по объему производимого в единицу времени КПП, составляющее 2300 м³/ч [2, 3], за один час без образования очереди на станции можно заправить 15 автобусов, при этом время ожидания заправки будет зависеть от производительности компрессорного оборудования и наличия свободной газораздаточной колонки. Для такого режима работы выражение будет иметь вид

$$T_{\text{ож1}} = \frac{60}{d}, \text{ при } nQ_z < Q_k,$$

где d – число газораздаточных колонок на станции; n – число транспортных средств, заправляемых на станции; Q_z – объем заправки транспортного средства; Q_k – объемная производительность компрессорного оборудования станции.

При достижении общей потребности транспортных средств в КПП, большей или равной объемной производительности компрессорного оборудования станции, начинается образовываться очередь из ТС со временем ожидания, зависящим от интенсивности потока приходящих на заправку автобусов. В работе были проанализированы следующие случаи:

- равномерный приход транспортных средств в интервале времени на заправку;
- одновременный приход на заправку всех автобусов;
- приход на заправку автобусов по пути движения в парк после окончания смены;
- перегон транспорта на заправку после сдачи смены;
- заправка по равномерно-остаточному принципу, при котором транспортные средства приходят сначала равномерно на заправку, а остальные – одновременно в последний интервал времени.

Кривые, иллюстрирующие вероятность прихода автобусов на заправку для перечисленных выше случаев, представлены на рис. 1, а аналитические выражения для функции плотности вероятности и моментов приведены в табл. 1.

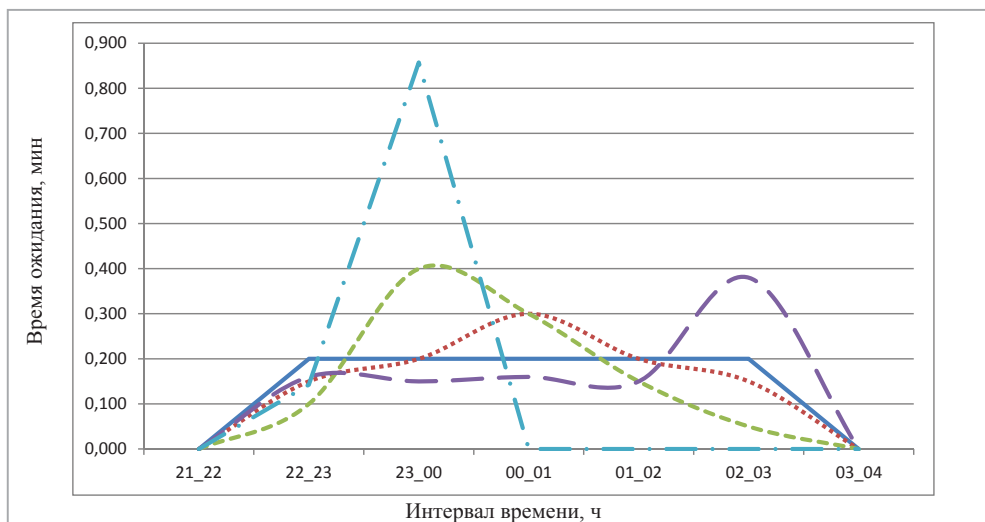


Рис. 1. Графики вероятности прихода на заправочную станцию в зависимости от выбранной методики организации заправки:

синяя сплошная – равномерная подача ТС; зеленая – заправка ТС по пути в парк после окончания смены; фиолетовая – заправка ТС по равномерно-остаточному принципу; голубая – одновременный приход на заправку всех автобусов; красная – перегон транспорта на заправку после сдачи смены

Таблица 1

Аналитические выражения функции плотности вероятности, математического ожидания и дисперсии для способов подачи ТС на АГНКС

Способ подачи ТС на заправку	Функция плотности вероятности	Математическое ожидание	Дисперсия
З а п р а в к а по равномерно-остаточному принципу	$P(x) = \begin{cases} \left(\frac{(T_{k-1} - T_n)Q}{N_0 V_{3C}} \right) \frac{x}{T_{k-1} - T_n}, & x \in [T_n, T_{k-1}]; \\ 1 - \left(\frac{(T_{k-1} - T_n)Q}{x N_0 V_{3C}} \right)^{5/4}, & x \in [T_{k-1}, T_k] \end{cases}$		
Р а в н о м е р - ный приход ТС в интервале времени заправки	$P(x) = \frac{1}{T_k - T_n}, \quad x \in [T_n, T_k]$ $T_n, T_k \in \mathfrak{R}$	$M = \frac{T_n + T_k}{2}$	$D = \frac{(T_k - T_n)^2}{12}$
Одновременный приход на заправку всех автобусов	$P(k, x_m) = 1 - \left(\frac{x_m}{x} \right)^k, \quad \forall x \geq x_m, x_m = 1, k = 1, 2, 5$	$M = \frac{kx_m}{k-1}$	$D = \left(\frac{x_m}{k-1} \right)^2 \frac{k}{k-2}$
П е р е - гон транспорта на заправку после сдачи смены	$P(x) = \frac{k}{\lambda} \left(\frac{x}{\lambda} \right)^{k-1} e^{-\left(\frac{x}{\lambda}\right)},$ <p>где $\lambda = 1, k = 1, 5$</p>	$M = \lambda \Gamma \left(1 + \frac{1}{k} \right)$	$D = \lambda^2 \Gamma \left(1 + \frac{2}{k} \right) - \mu^2$
Приход на заправку автобусов по пути движения в парк после окончания смены	$P(x) = x^{k-1} \frac{e^{-x/\theta}}{\theta^k \Gamma(k)},$ <p>где $x \geq 0; k = 9; \theta = 0,5$</p>	$M = k \theta$	$D = k \theta^2$

Расчет времени заправки ТС на АГНКС можно выполнить по формуле

$$T_{з1} = T_{ож}(P, t) + \frac{60 (V_6 - V_{ост})K}{Q},$$

где $T_{ож}(P, t)$ – вероятностная функция времени ожидания; V_6 – объем заправляемого КПП, хранимого на борту ТС, м³; $V_{ост}$ – объем КПП, оставшегося в баллонах на момент начала заправки ТС, м³; Q – объемная производительность компрессорного оборудования станции, м³/мин; K – число постов заправки, ед.

Основываясь на результатах, полученных в работе [4], и предположив, что на предприятии выбрана равномерная процедура подачи транспортных средств на АГНКС, будем для определения среднего времени ожидания использовать выражение

$$T_{\text{ож}}(P, t) = (V_0 + p(t) * N_0 V_{3C}) / Q ,$$

где V_0 – объем газа, необходимый для заправки автобусов, стоящих в очереди; $p(t)$ – вероятность прихода на заправку автобусов в течение анализируемого периода времени; N_0 – общее число заправляемых в указанный период времени автобусов; V_{3C} – объем средней заправки для автобусов.

При этом объем газа, необходимый для заправки автобусов, стоящих в очереди, определяется по следующему соотношению:

$$V_{00} = \begin{cases} 0, & \text{при } \sum_{i=0}^{t-1} p_i N_0 V_{3C} - (t-1)Q \leq 0, \\ \sum_{i=0}^{t-1} p_i N_0 V_{3C} - (t-1)Q. & \end{cases}$$

Первое условие показывает, что очередь пуста и все автобусы будут заправлены к началу анализируемого отрезка времени, во втором случае выделяется остаточный объем природного газа, который необходимо заправить в баллоны ТС [5-7].

Предположим, что используется процедура равномерной подачи транспортных средств на отрезке времени $[T_n, T_k]$, таким образом

$$Q_{\text{час}} = \frac{N_0 V_{3П}}{T_k - T_n} .$$

С использованием предложенного выражения для определения среднего времени ожидания были получены расчетные величины длины очереди, общего, максимального и среднего времени ожидания для всех транспортных средств. Результаты расчетов приведены на рис. 2 и в табл. 2.

Таблица 2

Результаты расчета времени ожидания

Способ подачи транспортных средств на заправку	Продолжительность ожидания, мин		
	Средняя	Максимальная	Общая для всех ТС
Заправка по равномерно-остаточному принципу	11,1	91,3	133,04
Равномерный приход ТС на заправку	25,4	91,3	305,21
Одновременный приход на заправку всех автобусов	63,6	272,6	763,04
Перегон транспорта на заправку после сдачи смены	26,1	93,9	313,04
Приход на заправку автобусов по пути движения в парк после окончания смены	47,3	153,9	567,39

Как видно из табл. 2 и графиков на рис. 2, наиболее рациональным с точки зрения минимизации времени ожидания заправки оказался равномерно-остаточный принцип, при котором транспортные средства подаются на заправку с одинаковыми интервалами времени, кратными времени производства на станции необходимого

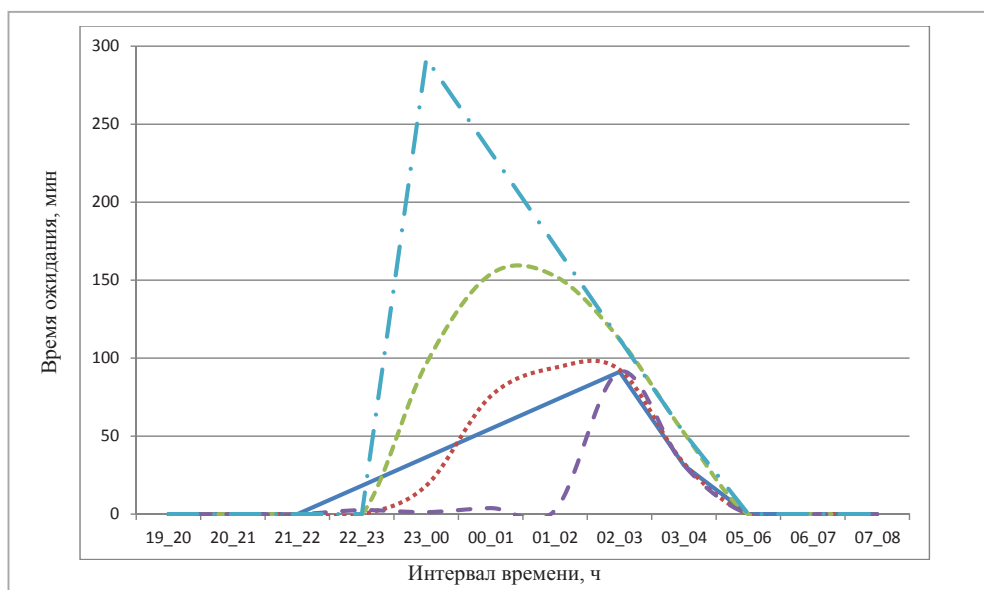


Рис. 2. График времени ожидания заправки в зависимости от способа подачи транспортных средств на заправку (обозначения см. рис. 1)

для заправки объема КПП, с учетом численности колонок на протяжении $n-1$ интервалов времени заправки, а в последний интервал времени подаются все оставшиеся ТС.

Вторым по общему времени ожидания является равномерный принцип подачи транспортных средств, при котором общее число автобусов делится на равные части, которые подаются с равными интервалами времени. При этом формируется очередь с линейным ростом времени ожидания. В результате в самом невыгодном положении оказываются водители последнего периода времени, когда время ожидания становится максимальным.

Все остальные принципы подачи транспорта на заправку имеют худшие характеристики как по общему, так и по среднему времени ожидания заправки.

Литература

1. Балашов М.Л., Евстифеев А.А. Методика определения границы экономической эффективности перехода на природный газ в качестве моторного топлива // Транспорт на альтернативном топливе. – 2013. – № 2 (32). – С. 4-5.
2. Васильев Ю.Н., Гриценко А.И., Чириков К.Ю. Заправка транспорта. – М.: Недра, 1995. ISBN 5-247-03535-6.
3. Евстифеев А.А. Обеспечение муниципальных автобусных парков мегаполиса газовым моторным топливом // Газовая промышленность. – 2014. – № 2(702). – С. 86-89.
4. Евстифеев А.А. Математическая модель анализа потребности в КПП И СПГ на вновь газифицируемых территориях // Газовая промышленность. – 2013. – № 01 (685). – С. 87-88.
5. Евстифеев А.А., Заева М.А., Хетагуров Я.А. Применение математического моделирования при испытаниях и отработке сложных технических систем // Вестник Национального исследовательского ядерного университета МИФИ. – 2013. – № 1. – Т. 2. – С. 115.
6. Барзилович Е.Ю., Каштанов В.А. Некоторые математические вопросы теории обслуживания сложных систем. – М.: Советское радио, 1997. – 272 с.
7. Evstifeev A., Zaeva M., Krasnikova S., Shuvalov V. Multi-criteria equipment control in complex engineering systems // Asian Journal of Applied Sciences. – 2015. – Т. 8. – № 1. – С. 86-91.

Развитие рынка газомоторного топлива

«Газпром» продолжает активно развивать отечественный рынок газомоторного топлива. Правление ПАО «Газпром» утвердило Программу по созданию газозаправочной инфраструктуры на промышленных площадках дочерних обществ на период 2017-2019 гг. и Программу развития малотоннажного производства и использования сжиженного природного газа (СПГ).

На заседании, которое состоялось 26 октября, было отмечено, что расширение использования газа в качестве

моторного топлива является одним из приоритетных направлений деятельности «Газпрома» на внутреннем рынке. Компания развивает сеть автомобильных газонаполнительных компрессорных станций (АГНКС), координирует работу заинтересованных участников отечественного газомоторного рынка, планомерно увеличивает собственный парк автомобилей, работающих на природном газе. Так, если на сегодняшний день число газомоторных автомобилей дочерних компаний «Газпрома» составляет 26 % (около 7,2 тыс. ед.) от автопарка Группы, то к концу 2020 г. этот показатель планируется увеличить до 70 %.

Утвержденная программа по созданию газозаправочной инфраструктуры предусматривает комплекс мероприятий по переводу автотехники «Газпрома» на газ и установке газозаправочных модулей на промышленных площадках предприятий Группы «Газпром».

Важным направлением работы компании по расширению отечественного газомоторного рынка также является производство и продажа СПГ. На заседании было отмечено, что СПГ обладает большим потенциалом применения на автомобильном транспорте для дальнемагистральных грузовых и пассажирских перевозок, на водном и железнодорожном транспорте, в горнорудной отрасли и сельском хозяйстве.

Программа развития малотоннажного СПГ, в частности, определяет перечень наиболее перспективных для организации производства СПГ газораспределительных станций (ГРС) и технологий сжижения. Документ предполагает создание новых объектов сбытовой инфраструктуры – стационарных криогенных заправочных комплексов и передвижных заправщиков СПГ.

Реализация программы позволит «Газпрому» сформировать крупный бизнес-сегмент, увеличить реализацию природного газа, а также повысить эффективность работы существующих ГРС. В настоящее время компания прорабатывает ряд пилотных проектов в сфере применения СПГ на транспорте.

Усиливается работа «Газпрома» в регионах с целью активизации использования природного газа в качестве моторного топлива. Так, 20 сентября в центральном офисе ПАО «Газпром» состоялась рабочая встреча председателя правления Алексея Миллера и губернатора Псковской области Андрея Турчака, на которой, в частности,



На АГНКС сети «Газпром»

были рассмотрены вопросы, связанные с созданием рынка газомоторного топлива в этой области. Отмечено, что в настоящее время «Газпром» ведет проектно-исследовательские работы для строительства первой в регионе автомобильной газонаполнительной компрессорной станции в г. Пскове.

А 15 ноября состоялась такая же встреча Алексея Миллера с губернатором Оренбургской области Юрием Бергом. Стороны обсудили ход реализации Соглашения о сотрудничестве. В частности, речь шла о газификации региона. С этой целью на основе предложений правительства Оренбургской области «Газпром» разрабатывает программу развития газификации и газоснабжения региона до 2021 г.

Отдельное внимание на встрече было уделено перспективам развития рынка газомоторного топлива. Отмечено, что в области сегодня действуют восемь АГНКС «Газпрома». Ведется сооружение еще двух – в г. Орске и п. Новосергиевка.

В свою очередь правительство Оренбургской области разработало и приняло программу по развитию рынка газомоторного топлива. До 2021 г. регион планирует приобретение 1,5 тыс. единиц автобусов и коммунальной автотехники, 1,1 тыс. единиц сельскохозяйственной техники, а также переоборудование 1,2 тыс. автобусов и 800 единиц сельхозтехники.

По материалам управления информации ПАО «Газпром»

Подписан инвестиционный контракт по производству в Томской области

4 октября в рамках VI Петербургского международного газового форума министр промышленности и торговли РФ Денис Мантуров, заместитель губернатора Томской области по инвестиционной политике и имущественным отношениям Юрий Гурдин, представитель ООО «Томские технологии машиностроения» (ТТМ), генеральный директор ООО «Газпром инвестпроект» Олег Наговицын и генеральный директор ОАО «Томский электромеханический завод им. В.В. Вахрушева» (ТЭМЗ) Иван Пушкарев заключили специальный инвестиционный контракт. Контракт предполагает создание и модернизацию производственных мощностей ТЭМЗ для последующей организации выпуска импортозамещающего оборудования для нужд «Газпрома» – антипомпажных и регулирующих клапанов. Срок действия контракта – семь лет.

Согласно документу, ТТМ в качестве инвестора обязуется, в частности, организовать финансирование проекта, провести модернизацию цеха предприятия, поставить оборудование и наладить производство продукции. В свою очередь ТЭМЗ создаст новые рабочие места, выполнит план по выпуску клапанов с применением только отечественных материалов и компонентов. Документ предусматривает предоставление предприятию региональных налоговых льгот, а также гарантирует стабильность совокупной налоговой нагрузки на доходы со стороны Российской Федерации и неизменность мер поддержки со стороны Томской области на весь срок действия контракта.

В октябре 2015 г. «Газпром» и «Томские технологии машиностроения» заключили долгосрочный договор, предусматривающий организацию серийного производства, поставку и обслуживание импортозамещающей продукции под гарантированные объемы закупок будущих лет.

ООО «Томские технологии машиностроения» – компания специального назначения, созданная на паритетной основе ООО «Газпром инвестпроект» (100%-я дочерняя компания ПАО «Газпром») и ОАО «Томский электромеханический завод им. В.В. Вахрушева» для производства импортозамещающей промышленной продукции.

Управление информации ПАО «Газпром»

Топливные присадки 2016: что придет на замену?

Конфигурация рынка топливных присадок после введения новых законодательных инициатив кардинально изменилась. Однако эти изменения стали неприятным сюрпризом для участников отрасли, в том числе для производителей присадок. Ожидаемая замена монометиланилина (ММА) на метилтретбутиловый эфир (МТБЭ) не состоялась, НПЗ все чаще закупают зарубежные присадки сомнительного качества. Общее потребление бензина в стране не растет, хотя его рост прогнозировался и заложен во все стратегии и бизнес-планы. К тому же нефтяники активно выполняют программу модернизации, повышая качество своего топлива и, соответственно, все меньше нуждаясь в октаноповышающих добавках со стороны.

Компания CREON Energy 7 сентября провела Пятую международную конференцию «Топливные присадки 2016». Спонсором мероприятия стала компания Nalco Element, партнерами – BASF и «Синтез БК». Генеральный информационный спонсор – журнал «Нефть России», информационные спонсоры – НАПИ и Russian Automotive Market Research.

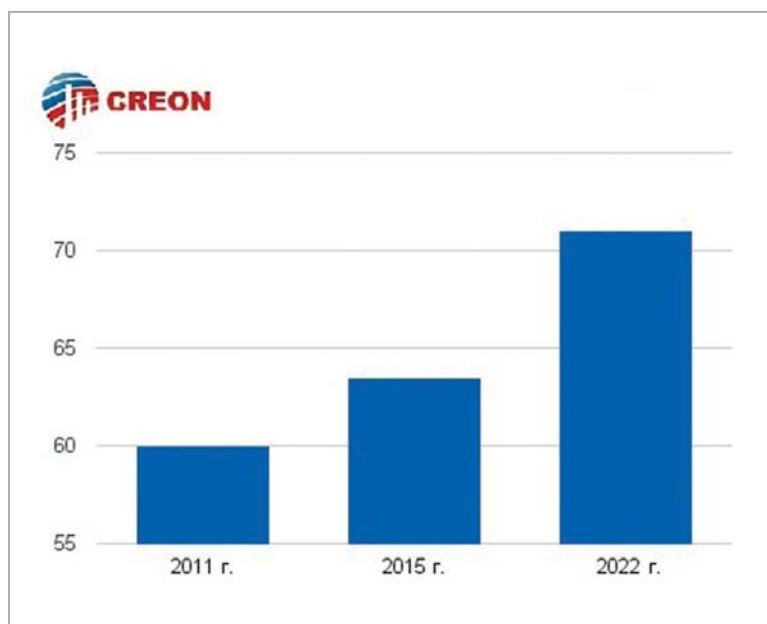
«Нынешний год принес топливному рынку сразу несколько серьезных изменений, – отметил в приветственном слове генеральный директор CREON Energy **Санджар Тургунов**. – В апреле вырос акциз на топливо. С 1 июля страна официально перешла на стандарт Евро-5. В это же время введен запрет на ММА в качестве октаноповышающей добавки. Основной вопрос теперь заключается в следующем: готовы ли производители топлива обходиться без ММА и чем будет его заменять?

Главный «претендент» – это МТБЭ. Подрастет спрос и на метил-трет-амиловый эфир (ТАМЭ) – его все активнее внедряет в свои топлива «Роснефть». Обратная сторона медали – ожидаемый поток веществ-заменителей из Китая, доступных по цене, но крайне вредных по составу».

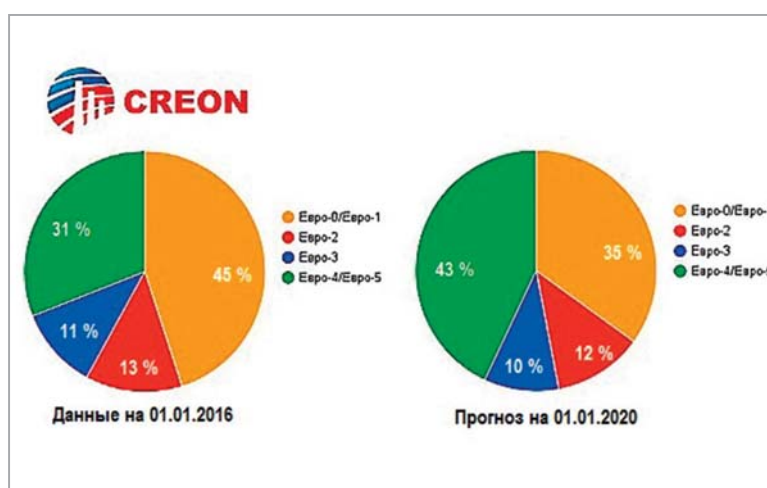
По итогам 2015 г. потребление автомобильного топлива в России составило 63,5 млн т, прогноз на 2022 г. составляет 71...72 млн т. Такие данные сообщила **Татьяна Арабаджи**, директор компании Russian Automotive Market Research. Что касается типов двигателей, то текущая расстановка в целом сохранится. Сейчас в сегменте легковых автомобилей более 97 % ездят на бензине, подавляющее большинство автобусов и LCV (легкие коммерческие автомобили) также используют бензин. Дизель же потребляется в основном грузовиками (более 60 % парка).

Рост потребления бензина и ДТ связан с тем, что внедрение альтернативных видов топлива в нашей стране происходит крайне медленно. Газовые автомобили, широко распространенные в Европе, у нас пока не приживаются – прежде всего из-за ограниченной инфраструктуры. Однако разработана Государственная программа «Энергоэффективность и развитие энергетики», согласно которой потребление КПП к 2020 г. достигнет 1,26 млн м³, его реализация будет осуществляться через 743 АГНКС.

Эксперт отметила, что на сегодняшний день только 31 % парка легковых автомобилей соответствует норме токсичности Евро-4/Евро-5. Другими словами, переход страны на топливо класса Евро-5 состоялся, но 70 % парка



Потребление автомобильного топлива в РФ, млн т



Соотношение легковых автомобилей с двигателями различного класса

легковых авто в этом не нуждаются. По словам Татьяны Арабаджи, к 2020 г. ситуация улучшится, но не глобально – нормам токсичности Евро-4/Евро-5 будут соответствовать 43 % машин.

После запрета ММА российский топливный рынок испытывает осязаемую потребность в новых эффективных октаноповышающих компонентах, сказала заведующая лабораторией присадок к бензинам «ВНИИ НП» **Тамара**

Климова. Сегодня у независимых производителей топлива эта потребность восполняется за счет использования различных ароматических аминов, отходов нефтехимических производств и даже отдельных формально не запрещенных металлорганических присадок.

Каковы минусы всех этих вариантов и есть ли плюсы? По словам докладчика, ароматические амины сейчас – наиболее распространенный способ

замены ММА (даже с учетом их высокой стоимости). «Удивительно, но из всего множества соединений в классе ароматических аминов запрет коснулся только монометиланилина. Ему поставили в вину высокую токсичность и рост концентрации оксидов азота в отработавших газах, – утверждает Т. Климова. – Но другие ароматические амины оказывают примерно такое же влияние! По сути ММА замещается соединениями более дорогими, зачастую более опасными и менее изученными в плане применения в моторных топливах».

Как решать эту проблему? Вариантов два: простой – запретить все амины и установить обоснованные пороговые концентрации аминсодержащих соединений; более сложный – все-таки снять запрет с ММА в бензине класса Евро-5. «Но практика показывает, что снятие какого-либо запрета – процедура гораздо более тяжелая, чем его введение», – говорит эксперт.

В последнее время на топливный рынок стали поступать антидетонационные добавки, обладающие крайне высокой эффективностью, характерной для металлоорганических соединений. Исследования «ВНИИ НП» установили, что основу многих подобных добавок составляют производные лития. В Техническом регламенте Таможенного союза (ТР ТС) прописан запрет на применение в бензине присадок, содержащих марганец, свинец и железо. Про другие же металлы не сказано ничего, чем и начали пользоваться производители. В этой связи вполне вероятен запрет на применение всех металлсодержащих антидетонаторов.

Проблема полноценной замены ММА сложна и вряд ли имеет простое и единственное решение. По мнению Тамары Климовой, наиболее целесообразно стимулировать широкое применение оксигенатов. Сейчас в России крупные НПЗ используют толь-

ко МТБЭ, ТАМЭ, ВКД (смесь изопропилового спирта и диизопропилового эфира – ДИПЭ) и изобутанол. Но по факту на топливном рынке находят применение также ацетаты, ацетон, отходы оксосинтеза, представляющие собой многокомпонентные смеси спиртов, простых и сложных эфиров, альдегидов. Ведутся разработки множества кислородсодержащих высокооктановых добавок на основе простых и сложных эфиров, ацеталей и кеталей, фурановых соединений. При этом в нормативно-технической документации нет ни разрешения, ни ограничения на их применение.

Потребители, столкнувшиеся с литийсодержащими добавками, отзываются о них крайне негативно. Так, осенью прошлого года пострадала от них компания «Кузбасс-терминал». В связи с этим начальник отдела контроля качества нефтепродуктов компании **Александр Салищев** задал вопрос Т. Климовой: «А были ли обращения заинтересованных компаний во «ВНИИ НП» на предмет их комплексной проверки и сертификации?» На что получил ответ от эксперта: «Да, в апреле этого года организация из Иркутска предоставила нам образцы бензина, в котором были обнаружены карбоксилаты лития. Мы провели исследование и установили, что именно это вещество могло быть причиной образования геля в топливе и, соответственно, поломки двигателя».

Заместитель генерального директора по новым технологиям компании «Ифотоп» **Вячеслав Нечаев** поддержал докладчика – анилин, толуидины и ксилидины оказывают отрицательное влияние на здоровье человека, качество автомобильного бензина и работу двигателя. По словам В. Нечаева, определяющим фактором использования реагентов в производстве бензинов должна быть не их низкая стоимость, а в первую очередь безопасность для

здоровья людей, окружающей среды и двигателя автомобиля. Эксперт обратил внимание участников конференции на то, что N-метил-пара-анизидин (НМПА) является простым смешанным эфиром – веществом с низкой степенью токсичности при воздействии на организм человека и окружающую среду. Испытания НМПА, проведенные в исследовательских центрах SGS в Европе, показали, что автомобильные бензины с содержанием НМПА соответствуют требованиям EN 228–2014 и не способствуют образованию отложений во впускной системе двигателя. Особо Вячеслав Нечаев отметил, что выбросы токсичных продуктов сгорания в составе выхлопных газов двигателя, работающего на бензине с содержанием НМПА, соответствуют требованиям Евро-6.

А как в новых реалиях чувствуют себя производители ММА? «Волжский Оргсинтез» выпускает монометиланилин с 1996 г. и сейчас оказался в несколько затруднительном положении, потеряв крупный сегмент потребления. Как рассказал руководитель службы продаж N-метиланилина **Сергей Майер**, на данный момент предприятие полностью обеспечивает себя анилином. Основное направление продаж – Казахстан и Украина. Туда же поставляет свою продукцию тамбовский «Пигмент». Таким образом, три казахстанских НПЗ ежемесячно суммарно используют более 1 тыс. т российского ММА для производства автобензинов.

«Роснефть» являлась крупным потребителем ММА и сейчас находится в поиске его аналогов, сказал начальник управления качества и безопасности продукции **Руслан Карпеко**. «Да, ТР ТС запрещает при производстве автомобильных бензинов экологического класса Евро-5 использовать химическое вещество – монометиланилин, но не ограничивает применение других октаноповышающих добавок, в том

числе на основе азотистых соединений, – продолжил представитель «Роснефти». – Поэтому от ММА мы отказались, но активно ищем, чем его заменить».

С докладом об общей ситуации на рынке высокооктановых добавок (ВОД) для производства автобензинов выступил заместитель директора по маркетингу компании «Импэкснефтехим» **Леонид Кручинин**.

По мнению докладчика, в 2016 г. ситуация на рынке ВОД радикально поменялась по сравнению с 2014 г. Основная причина этого – отсутствие роста спроса на автобензины при продолжающемся вводе мощностей установок вторичной переработки бензинового пула на НПЗ. Результатом этого стал избыток октана, который нефтепереработчики сегодня реализуют на рынке в различных товарных формах (ФАУ, алкилат, толуол и т.п.). Наглядной иллюстрацией этого избытка можно считать то, что некоторые производители («Газпромнефть – Омский НПЗ») начали реализовывать на рынок товарный МТБЭ. По оценке эксперта, суммарный объем размещения на рынке (отгрузка на экспорт, в другие сегменты рынка, кроме производства бензинов) только за шесть месяцев 2016 г. составил около 400 тыс. т, что эквивалентно примерно 280 тыс. т МТБЭ. При этом со стороны НПЗ закуплено всего 390 тыс. т.

Таким образом, на сегодня объемы избыточного октана в пересчете на МТБЭ и объемы приобретения МТБЭ на НПЗ «со стороны» практически сопоставимы. Поскольку ожидать бурного роста спроса на автобензины в ближайшие два года не стоит, да еще несколько проектов по модернизации будут завершены, то ситуация только усугубится.

Однако избыток октана распределен между НПЗ неравномерно, и одни компании продолжают закупать МТБЭ в больших объемах, а другие –

продавать его на сторону. Но при этом есть тенденция к увеличению объемов «обмена» октаном между НПЗ, который за шесть месяцев 2016 г. составил уже 90 тыс. т.

Из этого докладчик сделал вывод об изменении структуры рынка ВОД и появлении на нем новых игроков – самих ВИНК – с новыми продуктами. Прогнозировать развитие этой тенденции очень сложно, так как многое зависит от конъюнктуры внешнего рынка, изменений налогового законодательства в РФ и целого ряда других непредсказуемых и быстроменяющихся факторов.

С Леонидом Кручининым согласен и представитель «Сибура» **Сергей Мекшня**: «Действительно, с переходом на топливо Евро-5 и введением запрета на ММА рынок потребления высокооктановых добавок начал меняться, и процесс этот еще не завершен».

Большинство участников конференции также считают, что ситуация на рынке ВОД поменялась.

Федерация автовладельцев России (ФАР) подтверждает – после запрета ММА «бодяжники» вернулись к запрещенным железосодержащим присадкам. Как свидетельствуют данные организации, озвученные вице-президентом **Дмитрием Клевцовым**, в 2016 г. Федерация автовладельцев России исследовала бензин на АЗС на многих федеральных трассах. Результат был вполне ожидаем – топливо на заправках, принадлежащих ВИНК, практически всегда соответствует требованиям техрегламента, а вот независимые АЗС и мелкие сети подчас торгуют некачественным бензином. Особенно часто это встречается в Южном федеральном округе. Так, проверка на одной из АЗС в Краснодарском крае показала, что содержание серы в топливе класса Евро-5 составило 217 мг/кг при норме не выше 10. Что касается запрещенно-го железа, проверка выявила 18 мг/дм³.

ММА же в бензине не обнаружен, то есть формально запрет на использование монометиланилина соблюден.

Дмитрий Клевцов отметил важность такого аспекта, как паспорт качества топлива. Раньше экологический класс бензина в обязательном порядке прописывался и в кассовом чеке, и на топливно-раздаточной колонке. Новый ТР это требование упразднил. Проверка ФАР также выявила, что и имеющиеся паспорта качества не всегда актуальны. Для повышения уровня обслуживания потребителей Федерация предлагает ввести систему администрирования паспортов качества реализуемого на АЗС топлива.

Отечественные компании уже начали разработку своих присадок, способных стать альтернативой импортным. Однако работа эта будет длительной и непростой. «Синтез БК» – один из российских производителей, выпускающих октаноповышающие добавки. По словам генерального директора **Алексея Ефремова**, среди собственных разработок компании – депрессорно-диспергирующая присадка для ДТ, моющая присадка для бензинов, антитурбулентная присадка для нефти и октаноповышающая добавка для бензинов экологического класса Евро-5. О ней А. Ефремов рассказал подробнее. Продукт под торговой маркой Sintech Octane 500 разработан и запатентован в России, локализация производства намечена на 2017-2018 гг. Добавка подходит для любого бензина – от АИ-92 до АИ-98.

По результатам испытаний специалисты компании сделали вывод, что бензины с 2%-ной добавкой удовлетворяют требованиям ГОСТ и нормам ТР ТС, добавки способствуют увеличению октанового числа бензинов, не влияют на мощностные, экономические и экологические показатели работы двигателя.

Основной итог испытаний следующий – 1,3%-ная концентрация добавки

обеспечивает выработку бензина АИ-95 класса Евро-5 из бензина АИ-92 этого же класса. Добавка Sintech Octane 500 совместима с другими октаноповышающими добавками, детергентами, пакетами присадок, улучшающими эксплуатационные свойства бензина. Она полностью растворима во всех фракциях базового бензина, стабильна при транспортировке и хранении.

По словам Алексея Ефремова, изучена и подтверждена возможность массового выпуска добавки в России – есть и сырье, и технологии. Начало производства запланировано на 2017-2018 гг. в объеме до 10...15 тыс. т/год.

BASF является крупным мировым производителем присадок для НПЗ. Как рассказал представитель по продажам **Иван Портнягин**, в 2016 г. компания реализовала проект по локализации производства в РФ (речь идет о выпуске депрессорно-диспергирующих присадок Keroflux). Это дает возможность сократить логистическое плечо и гарантировать бесперебойные поставки для потребителей в РФ.

До этого компания BASF производила смешивание и хранение присадок Keroflux на площадке в Германии. Проект предусматривает перенос стадии смешения и хранения присадок в Россию (на первом этапе – перенос производства нескольких продуктов для ключевых клиентов). Планируемый объем производства составляет 2...4,5 тыс. т/год, производственная мощность – свыше 6 тыс. т/год с возможностью ее увеличения.

Технический координатор BASF по СНГ **Владимир Каравай** отметил, что сегодня практически все основные автопроизводители – Toyota, Mercedes, BMW, Volkswagen/Audi, Mitsubishi и др. – выпускают автомобили с двигателями прямого впрыска DISI. BASF разработала собственную методику,

позволяющую определять эффективность присадок различного состава. Она является самым жестким методом проверки топлив для двигателей с прямым впрыском. По результатам исследований специалисты BASF пришли к выводу, что присадка KEROPUR® – собственная разработка компании – позволяет постоянно поддерживать инжектор DISI-двигателей в чистом состоянии.

Руководитель службы технической поддержки Innospec **Найджел Брум** рассказал о действии присадки для контроля за отложениями дизельных топлив ECOCLEAN™ при эксплуатации тяжелой техники. Возможно ли за счет применения присадки уменьшить потребление топлива? Эксперт утверждает, что можно: «Мы провели контролируемый эксперимент на грузовиках с дизельным двигателем Евро-5, наиболее часто встречающимся во Франции. Были использованы два одинаковых грузовика с похожей историей прежней эксплуатации. Первый грузовик был заправлен стандартным топливом в соответствии с Европейской спецификацией EN 590. Другой – тем же ДТ, но содержащим присадку ECOCLEAN™. Цель тестирования – показать, что грузовик без ECOCLEAN™ на такой же пройденной дистанции будет показывать больший расход топлива из-за накопления отложений в топливной системе. В результате доказанная экономия топлива составила 3,1 %, уменьшение выбросов CO₂ – также 3,1 %. Кроме того, нет увеличения выбросов других контролируемых веществ (CO, CH, NO_x, сажи)».

В заключение конференции начальник отдела развития инновационной инфраструктуры Агентства инноваций Москвы **Виктор Палюх** рассказал о госпрограмме поддержки малого и среднего бизнеса при участии правительства Москвы.

Новые тенденции рынка СУГ: охранной грамоты нет!

5 октября в рамках VI Петербургского международного газового форума состоялась конференция «Новые тенденции рынка СУГ». Организаторами выступили «Газпром газэнергосеть» и Exproforum, оператором – CREON Energy. Генеральным информационным спонсором стал журнал «Нефть России».

В приветственном слове генеральный директор «Газпром газэнергосеть» **Дмитрий Миронов** отметил, что ключевой темой отрасли по-прежнему остается развитие биржевых и внебиржевых торгов СУГ. Помимо этого, он предложил обсудить антимонопольное регулирование рынка сжиженных углеводородных газов, что особенно актуально в свете последних колебаний цен на СУГ.

По итогам 2015 г. производство СУГ в России составило 15,2 млн т, это на 930 тыс. т больше показателя, зафиксированного годом ранее. Такую информацию в рамках обзорного доклада по рынку представил **Леонид Кручинин**, заместитель директора по маркетингу компании «Импэкснефтехим».

Рост производства произошел за счет стабилизации нефтегазового комплекса. Однако из общего объема добычи на дальнейшую переработку направлено всего около 30 %, доминирующим сегментом сбыта по-прежнему остается экспорт. Существенного прироста потребления СУГ как ГМТ и в коммунально-бытовом секторе не произошло.

Экспорт СУГ из РФ по итогам 2015 г. составил 6 млн т, это примерно на 10 % выше показателя 2014 г. Прогноз на 2016 г. предусматривает рост показателя примерно до 6,2 млн т. В текущем году продолжился рост отгрузок через Балтийские порты, новая тенденция – увеличение отгрузок в страны СНГ (преимущественно на Украину). Эксперт отметил, что в основе прогноза на 2016 г. лежат отгрузки за семь месяцев, и ситуация еще может поменяться.

В целом рынок СУГ Леонид Кручинин охарактеризовал как стабильно растущий со скоростью 5...7 % в год и отметил очень высокий уровень концентрации производства – около 50 % выпускает «Сибур». При этом значительная часть этого объема потребляется внутри компании, и она не проводит какой-либо сознательной агрессивной политики на внутреннем рынке, позволяющей ей воспользоваться этим доминированием.

Анализируя рынок СУГ в России, Л. Кручинин не мог не отметить ситуацию на Украине, тем более что там произошли серьезные изменения. Подорожание природного газа вызвало рост потребления СУГ – с 663 тыс. т в 2009 г. до 1 млн т в 2015-м. При этом внутреннее производство упало более чем в два раза (в основном из-за кризиса в экономике и противостояния регионов).



Выступает Леонид Кручинин

А поскольку основным импортером СУГ на Украину является Россия (60 %), то поставки, соответственно, выросли значительно – с 4 до 11 % от общего объема экспорта за последние два года.

По мнению докладчика, на поддержание спроса на российские СУГ будут влиять следующие факторы:

- сохранение платежеспособного спроса (или даже его дальнейший рост за счет замещения более дорогих или труднодоступных энергоносителей);
- сохранение эффективности поставки в направлении Украины по сравнению с другими экспортными каналами;
- наличие альтернативных эффективных логистических схем поставки СУГ.

По словам Леонида Кручинина, увеличение доли экспорта в условиях непредсказуемого внешнего рынка чревато новыми ценовыми потрясениями. При отсутствии изменений в стратегии поведения крупных игроков устойчивость рынка к воздействию внешних факторов обеспечена не будет.

«Сегодняшний рынок СУГ – это практически рынок бензинов шесть лет назад, – говорит начальник управления контроля ТЭК ФАС России **Дмитрий Махонин**. – Он слабый, разбалансированный, хаотичный, нецивилизованный. Почему так происходит? Мы видим устойчивый объем экспорта – даже несмотря на то, что внутренний рынок является премиальным. Также мы видим на рынке коллективное доминирование хозяйствующих субъектов. Видим и некое подобие биржевой торговли – три площадки, три разных регламента биржевых продаж. Причем на одной из них до сих пор проходят адресные сделки. Налицо размытая ликвидность и отсутствие регулярности и равномерности продаж. И на всем этом мы выстраиваем 3-4 индекса, которые участники рынка считают защитной грамотой и на основании этого повышают цены на внебиржевом рынке.

Так вот, хочу вам сказать – этой защитной грамоты у вас нет!»



Президиум конференции

По словам Дмитрия Махонина, биржевая цена не может быть признана монопольно высокой, если она сложилась на бирже при совокупности ряда условий. На российском же рынке далеко не все эти условия выполняются. А значит, на сегодня не существует рыночного индикатора биржевой цены на СУГ. Поэтому на внебиржевом рынке цена и формируется, и повышается на основе несуществующих индикаторов. «Мы внимательно наблюдаем за рынком СУГ и видим: во внебиржевом сегменте цена может обладать признаками монопольно высокой, – утверждает представитель ФАС. – Следовательно есть существенный риск возбуждения антимонопольных дел. Если ситуация и дальше будет развиваться в подобном ключе, мы вынуждены будем пойти на эти меры».

Леонид Кручинин поинтересовался, можно ли как-то законодательно ограничить рост цен? По словам Дмитрия Махонина, в отношении СУГ у ФАС есть четкое намерение пройти тот же путь, что и с нефтепродуктами. А значит, уже в ближайшее время может быть инициировано антимонопольное разбирательство.

Вопрос цены СУГ на внутреннем рынке прокомментировал и Дмитрий Миронов: «Да, мы видим, что за 2016 г.

цены выросли в разы. Но они росли с такого минимального значения, на котором не были уже несколько лет! Оптовая цена на СУГ в первом полугодии была даже ниже, чем регулируемые цены. Поэтому и отскок получился большой. Но он, я думаю, временный. И среднегодовые цены, которые сейчас формируются, в итоге будут существенно ниже, чем в прошлом или позапрошлом годах».

Также Д. Миронов высказался в защиту производителей СУГ и проводимой ими политики: «Рынки сжиженных газов и нефтепродуктов не идентичны по своей сути. Одно из отличий – это возможность создания запасов. На заводах, где производят СУГ, больших емкостей для хранения нет, максимум на три дня. Соответственно, создать запасы сжиженных газов просто невозможно, и любое изменение поставок сразу влияет на поведение покупателей и цену».

«Да, у рынка СУГ есть своя специфика, – соглашается Д. Махонин. – Но по большей части запасы – это лишь некий индикатор для аналитиков. Реальная система учета и хранения запасов в стране так и не создана. Что касается цены на сжиженные газы и ситуации на рынке – шагом к открытости для производителей может стать утверждение торговой политики. Однако даже она «защитной грамотой» считаться не может. Но ее наличие – несомненный плюс».

«Газпром газэнергосеть» первая среди производителей разработала и направила на согласование в ФАС торговую политику в отношении реализации СУГ на территории России. Как сообщил Дмитрий Миронов, основная задача торговой политики – обеспечить единые (недискриминационные) условия формирования цены в отношении всех покупателей, действующих на одном рынке.

Сейчас реализация СУГ осуществляется по четырем каналам: оптовые поставки по регулируемой цене, реализация на организованных торгах,

реализация на неорганизованных торгах и прямые договоры поставки.

«Газпром газэнергосеть», помимо поставок на биржевую площадку (СПбМТСБ), реализует сжиженные газы и через ЭТП eOil.ru – и эти объемы гораздо больше биржевых. Как рассказал заместитель начальника управления ценообразования и маркетингового анализа **Дмитрий Шляхтов**, продажу СУГ на бирже компания начала с мая 2016 г., подчиняясь совместному приказу ФАС и Минэнерго о необходимости ежемесячной реализации на бирже не менее 5 % от объема производства. Если в мае компания продала на торгах 448 т СУГ, то уже в сентябре объемы реализации достигли 2,37 тыс. т. В то же время продажи через ЭТП в этом месяце составили 16,1 тыс. т.



Дмитрий Шляхтов

СПбМТСБ является одной из трех биржевых площадок, на которых происходит продажа СУГ. Как рассказал вице-президент биржи **Антон Карпов**, за 9 месяцев 2016 г. объем торгов сжиженными газами (включая ШФЛУ и ФЛУ) составил 310,3 тыс. т, это на 50 % больше по сравнению с аналогичным периодом прошлого года. Число заключенных договоров выросло в четыре раза.

Что касается структуры продаж, то 65 % пришлось на ШФЛУ, 23 % – на СУГ для коммунально-бытового сектора и автотранспорта, 12 % – на прочие СУГ.

По словам Антона Карпова, СПБМТСБ может выделить СУГ в отдельную секцию на торгах и найти для этого продукта новые тарифные решения. Сейчас сжиженные газы торгуются вместе с нефтепродуктами. По словам представителя биржи, эти изменения можно ожидать уже к концу текущего года.

Объемы реализации сжиженных газов на Московской энергетической бирже за сентябрь 2016 г. составили 35 тыс. т, сообщил ее генеральный директор **Сергей Трофименко**. Основными продавцами СУГ на биржевой площадке являются «Сургутнефтегаз», «Сибур», а также газоперерабатывающие предприятия, входящие в структуру АНК «Башнефть».

Докладчик отметил, что в 2016 г. значительно выросли объемы реализации СПБТ, ПБТ и ПТ, снижение показателя отмечено по ШФЛУ. «Если бы «Сибур» в два раза увеличил продажи, график равномерности и регулярности сохранился бы таким же, какой он сейчас. Спрос на СУГ стабилен и будет расти вместе с предложением», – резюмирует эксперт.

В планах биржи – расширение базисов продаж и торговых инструментов, а также разработка биржевых индексов цен СУГ.

Электронные торги сжиженными газами на площадке eOil.ru запущены в марте 2014 г. и с тех пор пользуются неизменной популярностью у покупателей. По словам директора по развитию **Юрия Белоусова**, на ЭТП реализованы такие принципы торговли, как аукционность, открытость и прозрачность, безопасность и анонимность, оперативность, удобство пользования.

Электронный аукцион стал для покупателей и продавцов самой удобной формой взаимодействия. Принцип его проведения предельно прост: организатор торгов один раз назначает цену и больше не вмешивается в процесс ценообразования. Сами участники

назначают ту цену, которая их устраивает. В процессе проведения аукционов цена автоматически снижается до тех пор, пока по всем лотам не поступят оферты участников. Далее до конца аукциона принимаются ставки на повышение. Выигрывает лучшая по цене и времени подачи ставка.

Потребление СУГ в коммунально-бытовом сегменте хоть и невелико, но стабильно по объемам, а главное – имеет большое социальное значение. И если задача производителей – продавать определенный объем СУГ населению, то задача населения – правильно и безопасно этот газ хранить. По информации генерального директора компании «Газовый вектор» **Андрея Вычужанина**, в последнее время в России резко выросло число взрывов газовых баллонов. Если в 2015 г. их произошло 137, то в 2016 г. – уже 169. В несколько раз увеличилось количество погибших и пострадавших. Причина этого – нарушение условий хранения и эксплуатации баллонов.

Пунктов заправки и обмена в регионах явно недостаточно, и гражданам не остается ничего другого, как заправлять баллоны где получится. Рынок нелегальных заправок, сказал А. Вычужанин, достиг угрожающих размеров: в некоторых регионах это до 50 % всего объема оборота СУГ, потребляемых в коммунально-бытовом секторе. В денежном эквиваленте это соответствует многим миллиардам рублей.

Серьезной проблемой отрасли эксперт назвал и дефицит баллонов для замены выбывающих из эксплуатации. Если в 2015 г. при 500 тыс. произведенных баллонов для СУГ потребность достигала 1,5 млн, то уже к 2017 г. это соотношение составит соответственно 600 тыс. и 2,5 млн ед. – то есть дефицит будет расти. По разным оценкам, ежегодно от 5 до 15 % существующего баллонного парка РФ подлежит замене. Стоимость ежегодного обновления оценивается в сумме от 3,5 до 7 млрд руб.

Таким образом, нелегальные заправки и устаревшие емкости для СУГ – две большие для отрасли темы. Что же можно изменить, как повысить безопасность и уменьшить число ЧП? По словам Андрея Вычужанина, более 90 % парка баллонов для СУГ составляют стальные баллоны, изготовленные по ГОСТ 15860–84. Многолетняя практика их применения показывает, что запорные устройства не отвечают современным требованиям и не обеспечивают необходимого уровня безопасности. Нужны газовые баллоны с запорно-предохранительными клапанами нового поколения с отсечным механизмом – системой OPD, которая исключает возможность переполнения и позволяет потребителю заправлять баллон на АГЗС самостоятельно.

Для рынка РФ и стран Таможенного Союза уже разработано, испытано и сертифицировано уникальное безопасное запорное устройство, сообщил докладчик. Оно гарантирует отключение подачи газа при достижении не более 80 % объема баллона, а встроенный предохранительный клапан исключает или сводит к минимуму вероятность критического разрушения (взрыв) баллона. Компания «Газовый вектор» предлагает парадоксальное решение по легализации розничного рынка СУГ – разрешить заправку баллонов, оборудованных такими системами, на всех уполномоченных АГЗС. Это позволит облегчить доступ потребителей к безопасной заправке баллонов, а также постепенно обеспечить вытеснение с рынка серых заправщиков и баллонов с устаревшей запорной арматурой.

Свои проблемы есть и в другом сегменте потребления СУГ – использовании его в качестве ГМТ. Сейчас сжиженный газ занимает 3,5 % от общего объема потребления жидкого моторного топлива в РФ, сказал **Максим Коротков**, начальник отдела розничной реализации КПП и СПГ управления

розничной реализации АО «Газпром газэнергосеть». При этом наблюдается устойчивое снижение доли СУГ в общем объеме потребления – за последние 5 лет на 0,5 %. Данный показатель соответствует динамике снижения продаж комплектов ГБО в РФ за тот же период. В сложившихся социально-экономических условиях, к сожалению, намечается неблагоприятный тренд, формирующий существенные препятствия в развитии парка ГБА и рынка ГМТ. Есть только один аргумент «за», хотя и весомый, – это невысокая стоимость ГМТ относительно стоимости бензина. Против же – целый ряд факторов, в числе которых возрастающая стоимость установки ГБО, сложность оформления, повышение требований к безопасности эксплуатации.

Докладчик назвал вероятные пути развития парка ГБА: в частности, это переоборудование автомобиля в эксплуатации (существующая модель), заводская сборка ГБА и т.д. Все эти сценарии имеют свои достоинства и недостатки и подлежат обсуждению профильными специалистами.

Генеральный директор «НефтоГаз-Сочи» **Андрей Малафеев** рассказал о примере успешного взаимодействия крупного и малого бизнеса в сегменте реализации СУГ. «Газпром газэнергосеть» и «Юта-АвтоГаз» заключили соглашение о совместной работе во Владимирской области. В рамках этого соглашения «Юта-АвтоГаз» начала розничную реализацию СУГ на 10 АГЗС, эксплуатацию ГНС, хранение СУГ и их мелкооптовую реализацию, а также обеспечение населения СУГ для бытовых нужд.

За почти два года после начала совместной работы произошел ряд позитивных изменений: розничная реализация через АГЗС выросла на 25 %, а мелкооптовая реализация с ГНС – на 18 %. Это наглядно показало эффективность выбранного направления сотрудничества.

GasSuf 2016 представила новое оборудование для перевода техники на газомоторное топливо

С 18 по 20 октября в Москве состоялась 14-я Международная выставка газобаллонного, газозаправочного оборудования и техники на газомоторном топливе GasSuf.

В этом году в выставке GasSuf со стендом приняли участие 46 компаний из 11 стран. Экспоненты продемонстрировали современное газобаллонное, газозаправочное оборудование и серийную технику на газомоторном топливе ведущих российских и зарубежных производителей. За три дня работы выставку посетило более 1500 специалистов из 66 регионов России и 22 зарубежных стран. Доля посетителей – потенциальных байеров – в этом году составила 72 %, при этом 45 % посетителей, пришедших на выставку с целью поиска продукции или услуг для бизнеса, составили первые лица компаний, принимающие решения о закупке. Общая площадь выставки превысила 2700 м². С экспозицией GasSuf также могли ознакомиться более 2400 посетителей выставки Wasma, которая проходила одновременно.

В церемонии торжественного открытия выставки приняли участие заместитель директора департамента программ развития Министерства транспорта Российской Федерации Сергей Егоршев, представители профильных ведомств и отраслевых ассоциаций. В приветственном слове участникам и гостям выставки GasSuf Сергей Егоршев сказал, что проведение такого рода мероприятий – очень полезный и правильный шаг. «Несколько лет назад руководством страны была поставлена задача по расширению использования газа на всех видах транспорта и снижению негативного влияния транспорта на окружающую среду, – отметил С. Егоршев. – Ежегодно объем

экспозиции и число участников выставки увеличиваются, и всегда мы видим здесь новые и достаточно прогрессивные решения в области газобаллонного оборудования, развития газозаправочной инфраструктуры и снижения отходов, в том числе и транспортной деятельности». Представитель Минтранса выразил уверенность, что проведение такого рода выставок станет еще одним шагом к расширению использования газа на всех видах транспорта.

Традиционно на стендах зарубежных и российских компаний были продемонстрированы комплексные решения для проектирования и строительства АГНКС, серийная техника и оборудование для перевода транспорта на газомоторное топливо, новые модели газовой техники от российских производителей.



Новая газовая техника Группы ГАЗ

Компания «РариТЭК» представила новинку – мобильный комплекс, состоящий из отдельных технологических

модулей, установленных на специализированный полуприцеп. Группа ГАЗ впервые продемонстрировала новую модель микроавтобуса «ГАЗель NEXT» с битопливным газово-бензиновым двигателем EvoTech 2,7 LPG. Компания «Русские цилиндры» предложила специалистам мобильное газовое хранилище (МГХ МОБИГАЗ) – систему, позволяющую осуществлять мультимодальную транспортировку сжатых газов наземным, водным и воздушным способами, а также снизить и оптимизировать логистические затраты.

Специалисты также смогли ознакомиться с представленным оборудованием от компании «Ленпромавтоматика» (стационарная газовая колонка ЛПА-ГЗК для применения на АГНКС), компании Graf (компрессор GRF70/115-2В и диспенсер DNG42), с широкой номенклатурой серийной техники от компании Shelf (компрессор, заправочная колонка, колонка для отпуска сжиженного газа, шкаф управления компрессором, панель приоритетов и другое).

Компания Servisarm представила автомобильную газонаполнительную компрессорную станцию АГНКС-900 производительностью 900 м³/ч, блок осушки газа УПИГ-1000, газовую заправочную арматуру для высокого давления. Газовые баллоны предложили посетителям компании «Балсити», Italgas, «Русские цилиндры», «Махсус Метал Саноат», микрозаправки и микрокомпрессоры – компания «Микрометан», а компании «ВИТКОВИЦЕ РУС» и «КПП Комплект» представили передвижные газовые заправщики (ПАГЗ).

В рамках деловой программы выставки GasSuf состоялись конференция «Установка и эксплуатация ГБО в РФ. Проблемы и пути решения» и семинар «DIGITRONIC».

Организатором конференции выступил Союз предприятий газомоторной отрасли (СПГО). Участники конференции смогли получить ответы на актуальные

вопросы газомоторной отрасли, связанные с вступлением в силу Технического регламента Таможенного союза «О безопасности колесных транспортных средств», обсуждались вопросы взаимодействия автомобилистов и органов власти, мировой опыт по регистрации ГБО, современные требования безопасности к газобаллонному оборудованию и многие другие.



Стенд компании Shelf

На семинаре «DIGITRONIC», организатором которого выступила компания «Газпарт 95», специалистам была представлена новинка – обновленный блок DIGITRONIC 3D-MAX и программное обеспечение GasPro для этого блока.

Оба деловых мероприятия прошли в атмосфере обмена профессиональным опытом, дали возможность установить новые контакты для взаимовыгодного сотрудничества.

Компании-участники высоко оценили результаты выставки GasSuf – уже в первые дни после ее окончания выросло число заявок на участие в следующем году.

В 2017 году 15-я юбилейная международная выставка газобаллонного, газозаправочного оборудования и техники на газомоторном топливе GasSuf состоится 17-19 октября в ВЦ «Сокольники».

Эра беспилотных автомобилей

Е.Н. Пронин, начальник отдела ООО «Газпром экспорт»

Для прогнозирования развития рынка природного газа в сегменте моторного топлива необходимо учитывать конкурирующие виды топлива и схемы энергоснабжения, а также перспективные тенденции развития систем управления колесными машинами. Мировой автотранспорт вплотную приблизился к новой технологической, правовой, психологической и этической революции: беспилотные автомобили.

Ждать осталось недолго

Идея применения автопилота на колесных транспортных средствах родилась еще в 1930-х годах. Позднее многие киностудии мира, включая СССР, показывали такие машины в фантастических фильмах про будущее. Вот оно и настало... Беспилотные автомобили уже выезжают на общественные дороги.

Военные, полиция, пожарные, спасатели и другие силовые структуры были одними из первых, кто серьезно занялся разработкой и внедрением этого класса оборудования. При современном уровне развития информационных технологий и массового производства внедрение машин-роботов стало возможным и в гражданских целях. В воздухоплавании беспилотники уже не вызывают удивления. Есть некоторый прогресс на водном, железнодорожном, монорельсовом и внутрицеховом транспорте. Успешно осуществляются НИОКР на автомобильном транспорте общего назначения.

Отрасль приближается к этапу массового внедрения такой техники. Ждать осталось совсем недолго. Многие компании считают, что широкое внедрение беспилотных технологий на транспорте начнется в 2020-2025 гг., хотя это, вероятно, слишком оптимистичный прогноз.

Главные задачи, которые разработчикам беспилотных автомобилей необходимо решить, сводятся к следующим:

- определение собственного местоположения на дороге/местности;
- мониторинг и анализ действий окружающих подвижных и стационарных объектов;
- информационное взаимодействие с элементами окружающей дорожной обстановки, диспетчерским центром, службой технического обеспечения;
- соблюдение скоростного режима потока, рядности, безопасной дистанции движения;
- экстренное торможение или изменение траектории движения для предотвращения ДТП.

Чтобы оценить глобальный характер наступающей эры беспилотников, достаточно привести несколько примеров:

- В Великобритании над внедрением безлюдных технологий на автомобильном транспорте работают в Милтон-Кинс, Лондоне, Ковентри, Бристоле.
- В Китае в городе Уху (провинция Аньхой) ожидают внедрение беспилотных легковых машин в течение ближайших пяти лет.

- В Нидерландах в общине Вагенинген осуществляется опытная эксплуатация маршрутных микроавтобусов WErpod, бесплатно перевозящих пассажиров между железнодорожной станцией и местным университетом.

- В России уже подсчитали, сколько нужно средств для создания высокоскоростных автотранспортных коридоров для беспилотников.

- В Сингапуре создана специальная зона для беспилотных автомобилей, в которой в 2016 г. проводятся различные испытания.

- В США Минобороны финансирует создание беспилотных колесных машин. Минтранс летом 2016 г. выделил 50 млн долл. для интеграции беспилотных легковых машин в городскую среду. Мэрия Беверли Хиллз принимает решение о внедрении таких машин в городе.

- Мировые автопроизводители – Audi, Daimler, Dodge, FIAT, Ford, Freightliner, КАМАЗ, KIA, Nissan, Toyota и многие другие – активно работают над технологиями автопилотирования колесных транспортных средств.

Одним из признаков этого является то, что автопроизводители начали активно наращивать свой IT-потенциал. Корпорация General Motors за миллиард долларов приобрела разработчиков программного обеспечения Cruise Automation. Группа Ford приняла решение утроить численность инженеров в сегменте автономных систем управления.

Автомобили-беспилотники на военной службе

Поскольку военные давно работают в области беспилотных технологий, с них можно и начать. Армия США совместно с компанией Oshkosh Defense® успешно провела ряд испытаний новых беспилотных грузовиков различного назначения. Управление автомобилем осуществляется с помощью команд, вырабатываемых на основе данных многофункциональной системы TerraMax® UGV.

Система TerraMax® представляет собой комплект датчиков и приемников излучений различных видов и диапазонов для установки практически на любой колесной машине и превращения ее в беспилотное транспортное средство (UGV – unmanned ground vehicle). Перед Армией США стояла задача: к 2015 г. оборудовать треть оперативных машин различного назначения системами беспилотного управления¹.

Система TerraMax® UGV позволяет автомобилю функционировать в качестве «ведущего» или «ведомого». При этом сохраняется возможность осуществления самостоятельных действий для достижения поставленной цели. Система не связана с GPS, не зависит от нее и не наследует ее ошибок.



Испытания беспилотного грузовика с системой TerraMax® UGV

1. <https://oshkoshdefense.com/>

В ходе испытаний установлено следующее:

- беспилотники эффективно работают в различных условиях освещенности (в том числе при полном затемнении) и при различных осадках;
- автоматически управляемые машины не требуют специальной информационной инфраструктуры и преодолевают разные типы пересеченной местности и грунта по неподготовленным дорогам;
- управление транспортным средством-роботом может осуществлять бортовая система или внешний оператор/диспетчер, который имеет возможность в любой момент взять управление на себя;
- для подготовки оператора требуется минимальное время – несколько суток;
- комплекс средств автоматического управления может быть установлен практически на любой мобильной платформе;
- подтверждена возможность управления группой машин одним оператором².

Пассажиры беспилотники

Пассажирский автомобильный транспорт представляет собой наиболее сложный сегмент для внедрения робототехники, телемеханики и автоматизации. Среди основных проблем внедрения беспилотных технологий на легковых автомобилях и автобусах называют юридическую: кто будет нести ответственность в случае ДТП? Высказываются опасения и в отношении возможного взлома компьютерных программ управления, несанкционированного вмешательства в их работу и незаконного использования беспилотного автомобиля.

Нет пока ответа на вопрос об этической стороне технологии: разработчики должны решить какой выбор будет делать машинный разум в случае неизбежности ДТП. Кем пожертвовать: пассажиром или пешеходом, ребенком или стариком, мужчиной или женщиной?

Беспилотные микроавтобусы

Микроавтобусы выполняют транспортные услуги на коротких маршрутах, например, внутри периметра закрытых территорий. Это могут быть парковые комплексы, производственные площадки, аэропорты. Часто микроавтобусы выполняют челночные перевозки, например, от гостиницы до вокзала. За городом эти автомобили связывают коттеджные поселки с автобусными станциями.

С помощью компьютерных и телефонных приложений микроавтобусы могут оказывать транспортные услуги по вызову подобно Uber и Lyft.

Ограниченное время и протяженность поездки, фиксированный характер маршрута делают этот класс транспортных средств практически идеальным сегментом для беспилотных систем управления. В сочетании с применением альтернативных видов топлива, прежде всего электричества, они способны экономично и экологически безопасно обеспечить локальные транспортные нужды. Понятно, почему во многих странах инженеры все чаще обращаются к этой теме.

Голландская маршрутка WЕpod EZ-10

В Нидерландах в общине Вагенинген начали эксплуатацию двух беспилотных маршрутных такси WЕpod EZ-10. Протяженность маршрута – 11 км. Скорость

2. <http://topwar.ru/>

поездки 25 км/ч. Салон рассчитан на шесть мест для сидения. Запас хода – около 100 км на одну зарядку³. Автомобиль движется по необорудованным дорогам общего назначения.

Беспилотный микроавтобус Olli из США

Американская компания Local Motors из Мэриленда, прославившаяся использованием 3D-принтеров для производства компонентов автомобиля, теперь намерена заняться не менее инновационным бизнесом – производством беспилотных автомобилей⁴. В городке Нэшнл Харбор в 16 км южнее Вашингтона компания планирует начать испытания беспилотного электробуса Olli из того же класса машин, что и голландский микроавтобус WErpod EZ-10.

Максимальная скорость Olli пока не превышает 19 км/ч. 12-местный микроавтобус будет оказывать бесплатные услуги в нише между регулярными автобусами и такси, то есть между территориями, где обычные автобусы появляются только четыре раза в день, и улицами с интенсивным автобусным сообщением. В будущем предполагается, что пассажиры смогут вызывать микробусы Olli с помощью компьютерных и телефонных приложений, подобных Uber и Lyft.

Программное обеспечение микроавтобуса Olli будет включать платформу искусственного интеллекта Watson, разработанную компанией IBM.

Российский беспилотный электромикроавтобус

В компанию к голландскому WErpod EZ-10 и американскому Olli Российский научный центр НАМИ, КАМАЗ и Яндекс создали и представили на Московском международном автосалоне 2016 г. собственную беспилотную маршрутку «Шаттл». «Обязанности» распределены следующим образом:

- НАМИ отвечает за концепцию, инжиниринг, беспилотные технологии и программное обеспечение автомобиля;

3. <http://webochka.com/>

4. <http://electronicdesign.com/>



Беспилотная маршрутка WErpod EZ-10



Беспилотный микроавтобус Olli





Беспилотный микроавтобус «Шаттл»

- Яндекс разрабатывает единую информационную систему, которая будет помогать беспилотникам ориентироваться в пространстве и поддерживать связь друг с другом;

- КАМАЗ занимается производством и маркетингом автомобилей.

Хотя имя российской беспилотной маршрутки – «Шаттл» – не блещет оригинальностью (будем надеяться, что это рабочее название), выглядит она намного интереснее своих «чемоданообразных» аналогов: голландца Wepod EZ-10 и американца Olli.

Стимулирование развития альтернативного топлива в США

Известно, что владельцы газовых автомобилей, выигрывая на цене топлива, значительно проигрывают в части стоимости таких автомобилей. Правительства многих стран сейчас ищут способы стимулирования использования альтернативных видов топлива за счет налогового регулирования.

Так, в США федеральный акциз на продажу грузовых автомобилей составляет 12 %. Приобретая, например, газовый автомобиль, покупатель вынужден платить не просто больше, а значительно больше, чем за бензиновый или дизельный аналог, поскольку акциз исчисляется из повышенной продажной цены. Дополнительные затраты на автомобиль ухудшают экономику проекта и дестимулируют покупателей.

Кроме того, по мнению сенатора-республиканца от штата Луизиана Билла Кэссиди, сдерживание развития рынка альтернативных видов топлива не только препятствует снижению уровня экологической угрозы, но и негативно сказывается на социально-экономическом климате в этом сегменте экономики: численность рабочих мест не растет.

Для исправления ситуации по поручению обеих партий и обеих палат Конгресса Билл Кэссиди представил на рассмотрение сената США законопроект о внесении изменений в налоговое законодательство и снижении налогов на грузовики, использующие альтернативные виды топлива. Авторы законопроекта предлагают сбалансировать налоги так, чтобы поставить покупателей машин на традиционных и альтернативных видах топлива в равное положение. В ряде штатов признали такой подход справедливым и сократили местные налоги с продаж грузовиков: в Северной Каролине – на 30 %, в Нью-Мексико – на 18 %.

В штате Нью-Йорк также принято решение о продлении еще на пять лет срока действия налоговых льгот для автомобилей, использующих альтернативные виды

моторного топлива. Правда, область стимулирования ограничена исключительно использованием таких топлив в двигателях. Если эти виды топлива транспортируются в качестве энергоносителя, то перечисленные льготы на них не распространяются.

До 31 августа 2021 г. введены следующие меры:

- полностью освобожден от акцизного сбора, налога на топливный бизнес, заранее оплачиваемого налога с продаж этанол E85 (в том случае, если он доставляется непосредственно на АЗС, заправляется в емкость транспортного средства для использования в качестве моторного топлива);

- полностью освобождены от акцизного сбора и налога на топливный бизнес КПП, СПГ и водород;

- в розничной торговле полностью освобождены от федеральных и местных акцизных сборов, налогов на топливный бизнес, с продаж и на использование этанол E85, КПП, СПГ, водород, природный газ, приобретенный и переработанный в КПП, для непосредственного использования исключительно в двигателях транспортных средств;

- частично (на 20 %) освобождено от акцизного сбора, налога на топливный бизнес, федерального и местного налога с продаж и на использование биотоплива B20;

- полностью освобождены от заранее оплачиваемого налога с продаж КПП, СПГ и водород.

Кстати, в Северной Америке по-прежнему популярными остаются грузовики и тягачи, переоборудованные для работы на природном газе после капитального ремонта. Причины этого лежат главным образом в экономической плоскости. Наиболее существенным для малого и среднего бизнеса является то, что такой грузовик можно приобрести практически по цене новой дизельной машины.

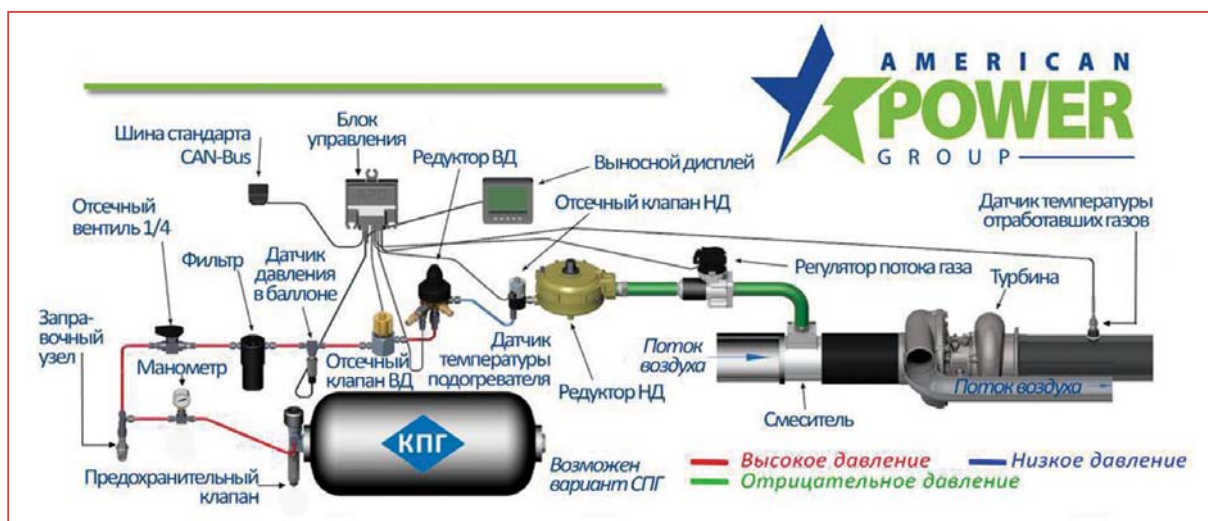
Одним из активных участников данного сегмента рынка является компания American Power Group, Inc. (APG). В портфеле компании сертификаты на переоборудование двигателей Cummins, Daimler, Detroit Diesel (DD13 и DD15), Mack/Volvo (D13) выпуска 1991-2014 гг.

Только в последнее время компания APG добавила к этому портфелю разрешительные документы более чем на 80 модификаций двигателей Cummins ISX (объем 14,9 л, мощность до 590 лс) и Detroit Diesel DD15 (объем 14,8 л, мощность до 560 лс) для грузовых автомобилей класса 8 общей массой более 14 969 кг. В секторе перевозок грузов общего назначения такие машины применяются для перевозки контейнеров. Как правило, длина контейнера - от 2,4 до 17 м.

Руководство компании утверждает, что после переоборудования для работы на сжиженном или компримированном метане выбросы NO_x на 50 % ниже, чем требуют действующие в США нормы. Компания оптимистично оценивает потенциальный рынок работы: только в Калифорнии после 2010 г. зарегистрированы более 30 тыс. новых грузовиков класса 8.



Газодизельный Freightliner на СПГ с оборудованием APG Glider



Газодизельный комплект Glider компании American Power Group

По итогам 2014 г. грузовик с газодизельным комплектом Glider™ компании APG вошел в двадцатку лучших машин в классе переоборудованной техники по версии журнала Heavy Duty Trucking. Среди наиболее значимых коммерческих преимуществ переоборудованных ею грузовиков компания American Power Group называет следующие:

- диапазон мощностей двигателя от 257 до 440 кВт, что позволяет устанавливать их на автомобилях самого различного назначения;
- сохранение конструкции цилиндропоршневой группы в оригинальном виде;
- после перехода на газодизельный режим автомобиль не теряет мощности и крутящего момента;
- возможность переустановки комплекта оборудования на другой автомобиль;
- экономия до 40 тыс. долл. США при покупке грузовика, переоборудованного в газодизельный, по сравнению с новым газовым заводского изготовления;
- общая экономия затрат при использовании газодизельного комплекта составляет 15...25 % от стоимости эксплуатации дизельной модификации, в том числе:
 - экономия эксплуатационных затрат от 0,10 до 0,25 долл. на милю пробега;
 - экономия затрат на топливо до 25 тыс. долл./год (при годовом пробеге 120 тыс. миль, цене дизельного топлива 4,00 долл./галлон, пробеге 6 миль на галлон, цене природного газа 1,75 долл. за эквивалентный галлон и замещении 55 %);
 - затраты на техническое обслуживание сокращаются на 0,05...0,08 долл. на милю пробега (6...9,6 тыс. долл./год);
 - отсутствие затрат на регенерацию каталитического нейтрализатора;
- снижение общей массы газодизельного грузовика почти на 500 кг по сравнению с дизельным аналогом из-за отсутствия необходимости в системах очистки отработавших газов;
- гарантия 3 года или на 300 тыс. миль пробега;
- снижение выбросов CO и углеводородов (за исключением метана) более чем на 80 %;
- снижение выбросов NO_x и твердых частиц более чем на 25 %;
- отсутствие необходимости использовать специальное масло для газовых двигателей;
- проведение технического обслуживания по графику дизельного двигателя;

- отсутствие агрегатов, работающих при высоких температурах, и форсунок высокого давления;
- замещение дизельного топлива природным газом – 45...55 % в городском цикле езды и 55...65 % – на трассе;
- возможность обновления парка машин по схеме trade-in.

Газодизельные комплекты компании American Power Group используются также на стационарных двигателях буровых установок и насосов. При этом в качестве топлива может использоваться очищенный газ непосредственно со скважин.

Перечисленные преимущества газодизельных переоборудованных грузовиков большой мощности представляются весьма привлекательными. В России компания Cummins предлагает двигатели ряда ISX с рабочим объемом до 15 л, мощностью до 440 кВт и давлением впрыска топлива более 200 МПа, применяемые на грузовых автомобилях «Фредлайнер», «Паккар», «Вольво» и других.

По материалам: <http://www.gnvmagazine.com/>, <http://www.usgasvehicles.com/>
<http://www.americanpowergroupinc.com>, <http://www.truckinginfo.com>
<http://www.ngvglobal.com>, <http://www.apsmotors.ru>

Водородные автобусы Toyota FC Bus выедут на маршрут в Токио в 2017 году

Уже сообщалось о нескольких грядущих технологических новшествах, приуроченных к проведению Летних Олимпийских игр 2020 г. Новый пункт в этом списке ноу-хау для Олимпиады – 2020 касается автобусов и пассажирских перевозок. Компания Toyota планирует начать продажи автобусов на топливных элементах (FC Bus) уже в начале 2017 года. Как сообщается, компания уже провела соответствующие тесты. Первые два таких автобуса, разработанных при участии компании Hino Motors, выйдут на маршрут в Токио в следующем году, а до начала Олимпийских игр 2020 года Toyota планирует увеличить автопарк до 100 единиц.

В движение автобус Toyota FC Bus приводится парой установок на водородных топливных элементах мощностью по 113 кВт каждая. Интересной особенностью этих автобусов является возможность их использования в качестве аварийного генератора мощностью 9 кВт. Десяти баков для водорода суммарным объемом 600 л, на котором работают топливные элементы установки, хватит для выработки 235 кВт·ч электроэнергии. Это примерно втрое больше энергии, чем при использовании в аналогичных целях батареи электромобиля Tesla Model S.

Отметим, что FC Bus не является первым транспортным средством, которое можно использовать в качестве генератора для выработки энергии. Водородный пикап Chevrolet Colorado ZH2 для армии США отличается аналогичной способностью, но его возможности в этом плане гораздо скромнее. По словам производителя, топливные элементы Toyota FC Bus могут выработать достаточно электричества, чтобы осветить целое помещение размером со школьный спортзал. Габариты Toyota FC Bus составляют 10,5×2,5×3,3 м. Он рассчитан на перевозку 77 человек, включая водителя. В салоне имеется 26 сидячих и 50 стоячих мест.

Источник: The Verge

Abstracts of articles

P. 10

Methods for rapid assessment of plants' technical and economic indicators and LNG supply-demand projects

Boris Rachevsky

The relevance of liquefied natural gas market development and especially the construction of large and small-scale LNG plants are shown in the article. Results of the analysis of capital investments and operating costs of LNG plants are represented. The derivation of simple analytic dependences which helps to evaluate the technical and economic parameters of LNG plants and LNG supply-demand projects quickly is concluded.

Keywords: LNG – a promising energy source, large-capacity and low-tonnage LNG plants, capital expenditures, operating costs, technical and economic parameters, analytic dependence.

References:

1. Rachevsky B.S. Liquefied petroleum gases: LPG, LNG, GTL. – M.: Oil and Gas, 2009. – 640 p.
2. Teregulov R.K. Improvement of production and storage of LNG technology. Ph.D. thesis in Engineering Science, Ufa, 2009. – 198 p.
3. What is LNG // GasWorld. – 2013. – Issue number 12. – P. 14-16.

P. 17

Intercycle variability of piston gas engines

Sergey Gusakov, Alexey Kulchitskiy

Improving the environmental performance and fuel consumption decrease piston engines with spark ignition is largely determined by gas-dynamic stochasticity, thermodynamic and chemical processes occurring in a frequency of operating cycles and high pressures which determines the appearance of inter-cycle of instability. The main factor influencing the mentioned variability is the velocity field in the area immediately adjacent to the electrodes of the spark plug as the area of occurrence of the primary ignition chamber.

Keywords: engine, spark ignition, methane, stochasticity.

References:

1. Patrakhaltsev N.N. Unsteady operating modes of internal combustion engines / M.: People's Friendship University, 2009. – 380 p.
2. Rounds F.G., Bennett P.A., Nebel G.I. Some effects of engine fuel variables on exhaust gas Hydrocarbon content // SAE Trans. – 1955. – V. 63. – 91 p.
3. Voinov A.N. Warriors the combustion in the high-speed piston engines. – M.: Engineering, 1977. – 277 p.
4. Heywood J.B. Internal Combustion Engine Fundamentals, McGraw and Hill Series in Mechanical Engineering, McGraw-Hill, New-York, 1988.
5. Asok K. Sen, Sudhir K. Ash, Bin Huang, Zuohua Huang Richard G. Effect of exhaust gas recirculation on the cycle-to-cycle variations in a natural gas spark ignition engine // Applied Thermal Engineering. – 2011. – 31. – P. 2247-2253.
6. Granet V., Vermorel O., Lacour C., Enaux B., Dugué V., Poinot. Thierry Large-Eddy Simulation and experimental study of cycle-to-cycle variations of stable and unstable operating points in a spark ignition engine // Combustion and Flame. – 2012. – Vol. 159. – P. 1562-1575.
7. Zakia Benjelloun-Touimi, Mongi Ben Gaid, Julien Bohbot, Alain Dutoya, Hassan Hadj-Amor, Philippe Moulin, Housseem Saafi, Nicolas Pernet. From Physical Modeling to Real-Time Simulation: Feed back on the use of Modelica in the engine control development toolchain / 8th International Modelica Conference (2011) Technical University, Dresden, Germany.
8. Ozdor N., Dulger M., Sher E. Cyclic variability in spark ignition engines: a literature survey // SAE. – 1994. – P. No. 940,987.
9. Gusakov S.V., Patrakhaltsev N.N. Planning, execution and processing of internal combustion engines experimental studies data: Work book. – M.: Publishing House of People's Friendship University, 2004. – 168 p.

P. 22

The use of natural gas in diesel with charge air cooling

Vitaly Likhanov, Oleg Lopatin

The paper presents the results of experimental studies conducted on the basis of the Department of heat engines, trucks and tractors research laboratory of the Vyatka State Agricultural Academy, to improve the efficiency and environmental performance of diesel 4CHN 11.0 / 12.5 with charge air cooling (CAC) by applying compressed natural gas (CNG, NG).

Keywords: diesel, gas diesel, natural gas, turbo, efficient performance, toxicity, waste gases.

References:

1. Grebnev A.V. Improving the effective performance of a diesel engine with charge-air intercooling 4CHN 11.0 / 12.5 when running on natural gas by improving combustion processes and heat. Ph.D. thesis in Engineering Science / St. Petersburg State Agrarian University. St. Petersburg, 2009.
2. Likhanov V.A., Lopatin O.P. Research cardinality and economic performance of diesel 4 × 11.0 / 12.5 when running on natural gas, ethanol- and metanol-fuel emulsions // Vehicles on alternative fuel. – 2016. – № 2 (50). – P. 43-49.
3. Likhanov V.A., Lopatin O.P. Study the content of nitrogen oxides in a tractor diesel engine cylinder turbocharged when running on natural gas // Tractors and agricultural machinery. – 2016. – № 5. – P. 3-8.
4. Scriabin M.L. Improving the environmental performance of diesel 4CHN 11.0 / 12.5 to aftercooling when operating on natural gas by reducing NO_x in the exhaust gases. Abstract of dissertation for the degree of candidate of technical sciences / St. Petersburg State Agrarian University. St. Petersburg, 2009.
5. Likhanov V.A., Lopatin O.P. Improving the environmental performance of a diesel engine when operating on natural gas recirculation // Engineering magazine: Science and Innovation. – 2016. – № 4 (52). – P. 9.
6. Likhanov V.A., Lopatin O.P. Modelling of emissions of nitrogen oxides in the cylinder gas diesel tractor // Tractors and agricultural machinery. – 2016. – № 7. – P. 3-8.
7. Likhanov V.A., Lopatin O.P. The use of natural gas in a diesel engine with turbo // Vehicles on alternative fuel. – 2016. – № 4 (52). – P. 35-43.
8. Lopatin O.P. Results indexing workflow gas diesel engine at maximum torque // Modern science: current problems and solutions. – 2015. – № 5 (18). – P. 8-9.
9. Likhanov V.A., Lopatin O.P. Model calculation of nitrogen oxides in the gas diesel engine cylinder. In: Society, science, innovation (SPC – 2014), the annual All-Russian scientific-practical conference: general university section, BF, GF, FEM, FATA, FAM, FPMT, FCA, HF, ETF. Vyatka State University. – 2014. – P. 2001-2004.
10. Likhanov V.A., Lopatin O.P. Reduction of nitrogen oxides in the exhaust gases of diesel engines through the use of alternative fuels: Monograph. – Kirov Vyatka State Agricultural Academy, 2009. – 500 p.
11. Lopatin O.P. Simulation of the formation of nitrogen oxides in the cylinder gas diesel // Young scientist. – 2015. – № 11. – P. 370-372.
12. Lopatin O.P. The impact of adoption of natural gas in the combustion process indicators and content of nitrogen oxides in diesel cylinder turbocharged // The young scientist. – 2015. – № 13. – P. 139-141.

P. 28

Device for producing and addition of hydrogen into fuel-air mixture for internal combustion engine

Evgeniy Ovsyannikov, Tamara Gaitova, Pavel Klyukin, Valentina Poliakova

Research studies and conducted experiments on application of oxyhydrogen gas on the board of transport vehicles with the purpose to improve the internal combustion engines efficiency and reduce fuel consumption were considered in this article. A model of electrochemical hydrogen generator installation on the vehicle's board and technical measures for the correction control algorithm was suggested.

Keywords: energy recovery system, electrolysis, hydroxygas.

References:

1. Vlasov V.M., Klyukin P.N., Polyakova V.N. Energy recovery to improve the efficiency of the power plant of hybrid cars // Vehicular enterprise. – 2013. – № 3. – P. 49-50.
2. Kamenev V.E., Fomin V.M., Khripatch N.A. Theoretical and experimental research on the operation of the engine diesel-hydrogen fuel compositions // Alternative Energy and Ecology. – 2005. – № 7 (27). – P. 28-31.
3. Fomin V.M., Khakimov R.R., Shevchenko D.M. Hydrogen as a chemical reagent in the kinetic mechanism of carbon formation in a diesel engine // Vehicles on alternative fuel. – 2011. – № 3 (21). – P. 10-13.
4. Improve of liquefied petroleum gas combustion by hydrogen additives / Fedyanov E.A. [et al.] // The young scientist. – 2013. – № 3. – P. 111-114.
5. Smolenskiy V.V., Smolenskaya N.M., Shaykin A.G. Effect of hydrogen additives on the combustion process in gasoline engines with spark ignition / Progress of vehicles and systems – 2009: Proceedings of the International scientific-practical conference.

P. 33

Viscosity Characteristics of Multicomponent Mixed Biofuels Based on Vegetable Oils

Vladimir Markov, Sergey Devyanin, Sergey Zykov, Sa Bowen*

The advantages of using multicomponent mixed biofuels for diesel engines are demonstrated. Increased viscosity is one of the problems of using fuels based on vegetable oil. Viscosity characteristics of multicomponent mixed biofuels for diesel engines such as mixtures of oil diesel fuel and rapeseed oil, rapeseed oil methyl ester and gasoline are investigated. Parameters of the diesel engine D-245.12 S running on multicomponent mixed biofuels are presented.

Keywords: diesel engine, oil diesel fuel, gasoline alternative fuel, vegetable oil, rapeseed oil, rapeseed oil methyl ester, multicomponent mixed biofuel, viscosity.

References:

1. Petroleum motor fuels: environmental aspects of the application / A.A. Alexandrov, I.A. Arkharov, V.A. Markov et al., Ed. A.A. Alexandrov, V.A. Markov. – M.: OOO SIC «Engineer», LLC «Oniko-M», 2012. – 791 p.
2. Alternative fuel for internal combustion engines / A.A. Alexandrov, I.A. Arkharov, V.A. Markov et al., Ed. A.A. Alexandrov, V.A. Markov. – M.: OOO SIC «Engineer», LLC «Oniko-M», 2014. – 691 p.
3. Vasilev I.P. Effect of plant fuels for environmental and economic performance of the diesel engine. – Lugansk: Publishing House of the East University. Dal, 2009. – 240 p.
4. The use of vegetable oils and fuels based on their diesel engines / V.A. Markov, S.N. Devyanin, V.G. Semenov, etc. – M.: OOO SIC «Engineer», 2011. – 536 p.
5. Markov V.A., Devyanin S.N., Malchukov V.I. Injection and atomization of fuel in diesel engines. – M.: Publishing House MSTU. Bauman, 2007. – 360 p.
6. Grekhov L.V., Ivashchenko N.A., Markov V.A. Diesel fuel systems and control: Proc. for high schools. Second edition. – M.: Legion Avtodata, 2005. – 344 p.
7. Goering C.E. Fuel Properties of Eleven Oil Fuels // SAE Technical Paper Series. – 1981. – № 813579. – P. 1-7.
8. Kapseu C., Kayem G.J., Balesdent D., Schuffenecker L. The Viscosity of Cottonseed Oil, Fractionation Solvents and Their Solutions // Journal of the American Oil Chemists' Society (JAOCS). – 1991. – Vol. 68. – № 2. – P. 128-130.
9. Erhan S.Z., Asadauskas S., Adhvaryu A. Correlation of Viscosities of Vegetable Oil Blends with Selected Esters and Hydrocarbons // JAOCS. – 2002. – Vol. 79. – № 11. – P. 1157-1161.
10. Yuan W., Hansen A.C., Zhang Q., Tan Z. Temperature-Dependent Kinematic Viscosity of Selected Biodiesel Fuel and Blend with Diesel Fuel // JAOCS. – 2005. – Vol. 82. – № 3. – P. 195-199.
11. Fasina O.O., Hallman H., Craig-Schmidt M., Clements C. Predicting Temperature-Dependence Viscosity of Vegetable Oils from Fatty Acid Composition // JAOCS. – 2006. – Vol. 83. – № 10. – P. 899-903.
12. Rodenbush C.M., Hsieh F.H., Viswanath D.S. Density and Viscosity of Vegetable Oils // JAOCS. – 1999. – Vol. 76. – № 12. – P. 1415-1419.
13. Eyring H. Viscosity, plasticity, and diffusion as examples of absolute reaction rates // The Journal of chemical physics. – 1936. – Vol. 4. – № 4. – P. 283-291.
14. McAllister R.A. The viscosity of liquid mixtures // AIChE Journal. – 1960. – Vol. 6. – № 3. – P. 427-431.
15. Dominguez M., Pardo J.I., Gascon I.G., Royo F.M., Urieta J.S. Viscosities of the ternary mixture (2-butanol + n-hexane + 1-butylamine) at 298.15 and 313.15 K // Fluid Phase Equilibria. – 2000. – Vol. 169. – № 2. – P. 277-292.
16. Markov V.A., Devyanin S.N., Zykov S.A., Gaidar S.M. Biofuels for internal combustion engines. – M.: SIC «Engineer» (NIO Union), 2016. – 292 p.
17. Markov V.A., Gusakov S.V., Devyanin S.N. The multicomponent mixtures of biofuel for diesel engines // Bulletin of Peoples' Friendship University. Engineering studies. – 2012. – № 1. – P. 46-57.
18. Markov V.A., Devyanin S.N., Bykovskaya L.I. Optimization of multicomponent mixed biofuels for diesel engines of agricultural machines // Proceedings of the higher educational institutions. Mechanical Engineering. – 2013. – № 12. – P. 51-63.

P. 50

Latency evaluation of vehicle refueling at CNG stations

Stanislav Lyugai, Mikhail Balashov, Andrew Evstifeev

The paper studies the options for placement of municipal bus fleet vehicle to the NGV filling stations during the night filling gap while there is insufficient filling capacity. At the same time, total queue length, minimum, average and total waiting time of refueling was analyzed. Graphical and analytical dependences were collected, conclusions on the most rational method for planning of vehicles placement to NGV filling stations were effectuated.

Keywords: CNG station loading, ineffective time of vehicles, planning of vehicles placement to refuel, management of vehicles refueling.

References:

1. Balashov M.L., Evstifeev A.A. Methods of determining the boundaries of the economic efficiency of the transition to natural gas as a motor fuel // Vehicles on alternative fuel. – 2013. – № 2 (32). – P. 4-5.
2. Vasiliev Y.N., Gritsenko A.I., Chirikov K.Y. Transport refill. – M.: Nedra, 1995. ISBN 5-247-03535-6.
3. Evstifeev A.A. Provision of municipal bus fleets metropolis gas motor fuel // Gas industry. – 2014. – № 2 (702). – P. 86-89.
4. Evstifeev A.A. Mathematical model of analysis in CNG and LNG needs to re-gasified areas // Gas industry. – 2013. – № 01 (685). – P. 87-88.
5. Evstifeev A.A., Zaeva M.A., Hetagurov J.A. The use of mathematical modeling in the tests and testing of complex technical systems // Bulletin of the National Research Nuclear University MEPhI. – 2013. – № 1. – V. 2. – p. 115.
6. Barzilovich E.Y., Kashtanov V.A. Some mathematical problems in the theory of complex systems. – M.: Soviet Radio, 1997. – 272 p.
7. Evstifeev A., Zaeva M., Krasnikova S., Shuvalov V. Multi-criteria equipment control in complex engineering systems // Asian Journal of Applied Sciences. – 2015. – V. 8. – № 1. – P. 86-91.

Авторы статей в журнале № 6 (54) 2016 г.

Балашов Михаил Леонидович,
ведущий инженер ООО «Газпром ВНИИГАЗ»,
тел.: (498) 657-43-82, e-mail: M_Balashov@vniigaz.gazprom.ru

Гайтова Тамара Борисовна,
д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Электротехника»
Московского политехнического университета,
тел.: (495) 276-32-20, e-mail: ekems@yandex.ru

Девянин Сергей Николаевич,
д.т.н., профессор, заведующий кафедрой
«Тракторы и автомобили» Российского
государственного аграрного университета –
МСХА им. К.А. Тимирязева, тел. 917 519-63-94,
e-mail: devta@rambler.ru

Евстифеев Андрей Александрович,
начальник лаборатории ООО «Газпром ВНИИГАЗ»,
доцент Национального исследовательского ядерного
университета «МИФИ», к.т.н., 115583, Москва, а/я 130,
тел.: (910) 460-78-86, +7 (498) 657-43-82,
e-mail: A_Evstifeev@vniigaz.gazprom.ru

Зыков Сергей Анатольевич,
к.т.н., доцент кафедры «Автомобильный транспорт»
Российского государственного аграрного университета –
МСХА имени К.А. Тимирязева, тел. 916 033-34-23,
e-mail: zikov.sa@yandex.ru

Клюкин Павел Николаевич,
к.т.н., доцент кафедры «Автотракторное
электрооборудование» Московского политехнического
университета, директор по развитию
ООО «Инжиниринговый центр «СМАРТ»,
тел.: 915 425-26-40, e-mail: kpn1331@yandex.ru

Кульчицкий Алексей Рэмович,
д.т.н., с.н.с., главный специалист,
ООО «Завод инновационных продуктов «КТЗ»,
600000, г. Владимир, ул. Тракторная, 43,
тел. (905) 612-43-54, e-mail: ark6975@mail.ru

Лиханов Виталий Анатольевич,
д.т.н., академик РАТ, профессор, заведующий кафедрой
тепловых двигателей, автомобилей и тракторов
ФГБОУ ВПО «Вятская государственная сельскохозяйственная
академия», 610017, г. Киров, Октябрьский проспект, 133,
р.т. 8 (8332) 57-43-07, e-mail: info@vgsha.info

Лопатин Олег Петрович,
к.т.н., доцент ФГБОУ ВПО «Вятская государственная
сельскохозяйственная академия», служебный адрес:
610017, г. Киров, Октябрьский проспект, 133, кафедра ДВС,
р.т. 8 (8332) 37-57-28, м.т. 912 361-77-55,
e-mail: nirs_vsaa@mail.ru

Люгай Станислав Владимирович,
к.т.н., директор Центра использования газа
ООО «Газпром ВНИИГАЗ»,
р.т. (498) 657-4205, 8 916 107-98-09,
e-mail: S_Lyugai@vniigaz.gazprom.ru

Марков Владимир Анатольевич,
д.т.н., профессор, заведующий кафедрой
«Поршневые двигатели» Московского государственного
технического университета им. Н.Э. Баумана
(МГТУ им. Н.Э. Баумана), тел. (917) 584-49-54,
р.т. (499) 263-69-18, e-mail: vladimir.markov58@yandex.ru

Овсянников Евгений Михайлович,
д.т.н., профессор кафедры «Электротехника»
Московского политехнического университета,
тел.: (495) 962-12-95, e-mail: ovsiannikov48@mail.ru

Полякова Валентина Николаевна,
доцент кафедры «Электротехника» Московского
политехнического университета, тел.: (495) 276-32-20,
e-mail: ekems@yandex.ru

Пронин Евгений Николаевич,
начальник отдела ООО «Газпром экспорт»,
руководитель РК5 Международного газового союза,
тел.: (812) 646-16-54, e-mail: epronin@mail.ru

Рачевский Борис Семенович,
д.т.н., профессор Российского государственного университета
нефти и газа имени И.М. Губкина, ген. дир. ЗАО «НефтеГазТоп»,
(499) 782-31-95, 782-33-62, 782-34-27, e-mail: info@neftegaztop.ru

Са Бовэнь,
магистрант кафедры «Теплофизика» МГТУ им. Н.Э. Баумана,
тел. 8(926) 344-28-32, e-mail: bowensa@yandex.ru

Contributors to journal issue No 6 (54) 2016

Balashov Michail,
Leading engineer of Gazprom VNIIGAZ,
office phone: + 7 (498) 657-43-82,
e-mail: M_Balashov@vniigaz.gazprom.ru

Devyanin Sergey,
D. Sc. (Eng.), professor, head of «Tractors and Automobiles»
department of the Russian State Agrarian University –
Moscow Timiryazev Agricultural Academy,
m.t. + 7 917 519-63-94, e-mail: devta@rambler.ru

Evstifeev Andrey,
PhD, Head of laboratory, JSC «Gazprom VNIIGAZ»,
p/o 130, Moscow, Russia, 115583,
e-mail: A_Evstifeev@vniigaz.gazprom.ru

Gaitova Tamara,
Doctor of Engineering, professor of the department
«Electrical engineering» of Moscow Polytechnic University,
phone: + 7 (495) 276-32-20, e-mail: ekems@yandex.ru

Klyukin Pavel,
PhD, associate professor of ATE department
of Moscow Polytechnic University, development director
of the «Engineering center «SMART» LLC,
phone: + 7 915 425-26-40, e-mail: kpn1331@yandex.ru

Kulchitskiy Alexey,
Doctor of Engineering Science, Senior Specialist, Innovative
products plant «KTZ», Vladimir,
phone: + 7 (905) 612-43-54, e-mail: ark6975@mail.ru

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

Lopatin Oleg,
Ph.D., Associate Professor of Vyatka State Agricultural Academy,
phone: + 7 (8332) 37-57-28, e-mail: nirs_vsaa@mail.ru

Lyugay Stanislav,
PhD, Director of the Centre «Gas Use»,
JSC «Gazprom VNIIGAZ», tel.: +7 (498) 657-4205,
e-mail: S_Lyugay@vniigaz.gazprom.ru

Markov Vladimir,
D. Sc. (Eng.), professor of «Piston engines» department
of the Bauman Moscow State Technical University,
phone: + 7 917 584-49-54,
e-mail: vladimir.markov58@yandex.ru

Ovsyannikov Evgeniy,
Doctor of Engineering, professor of
«Electrical engineering»
of Moscow Polytechnic University,
phone: + 7 (495) 962-12-95, e-mail: ovsiannikov48@mail.ru

Poliakova Valentina,
associate professor of department «Electrical engineering»
of Moscow Polytechnic University, phone: + 7 (495) 276-32-20,
e-mail: ekems@yandex.ru

Pronin Eugene,
head of department, Gazprom Export, IGU WOC5 Chairman,
phone: + 7 (812) 646-16-54, e-mail: epronin@mail.ru

Rachevsky Boris,
professor of Gubkin Russian state university
of oil and Gas,
phone: + 7 (499) 782-31-95, 782-34-27;
e-mail: info@neftegaztop.ru

Sa Bowen,
undergraduate of the Bauman Moscow
State Technical University; phone: + 7 (926) 344-28-32,
e-mail: bowensa@yandex.ru

Zykov Sergey,
PhD, assistant professor of «Tractors and Automobiles»
department of the Russian State Agrarian University –
Moscow Timiryazev Agricultural Academy,
mobile phone: +7 916 033-34-23, e-mail: zikov.sa@yandex.ru