



ТРАНСПОРТ

НА АЛЬТЕРНАТИВНОМ ТОПЛИВЕ



№ 5 (47) 2015



Сеть АГНКС Газпрома: газомоторное открытие
Экономика автотранспортной отрасли
Особенности и перспективы рынка КПГ в Турции

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

А. Беранек

генеральный директор ООО «ВИТКОВИЦЕ Рус» (Чехия)

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

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

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 15.08.2015 г.

Подписано в печать 15.09.2015 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:
торжественный ввод в эксплуатацию АГНКС в г. Уфа 30 июля 2015 года

В НОМЕРЕ

Сеть АГНКС Газпрома: газомоторное открытие	3
Технический семинар «Снижение пожароопасности объектов малотоннажного производства и потребления сжиженного природного газа»	8
Рачевский Б.С. Повышение эффективности экономики с помощью технологий применения КПП и СПГ	12
Коротков М.В. Энергосервисный договор как эффективный инструмент развития газомоторного направления в России	18
Евстифеев А.А. Анализ эффективности производственного процесса на АГНКС	27
Камалтдинов В.Г., Марков В.А. Исследование образования оксидов азота в дизелях и HCCI-двигателях	34
Белоусова С.Ю., Зарубин В.С., Крылов Е.Н., Осадчий Я.Г. Тепловые режимы автомобильного баллона с полимерным лейнером при закачке и расходовании метана	47
Научно-квалификационные работы	58
Антипов Ю.А., Патрахальцев Н.Н., Шаталов И.К., Жемчужникова К.Н. Топливная экономичность и мощность судовых пародизельных установок	61
Газовые автобусы «НЕФАЗ» для пассажиров Набережных Челнов	64
Данович Ю.В. Рынок КПП в Турции: особенности и перспективы	65
Развитие рынка ГМТ в Израиле	71
Метан на катерах	72
КПП для карьерных самосвалов	74
Природный газ для пожарных	75
Автомобиль на водородных топливных элементах ...	77
Abstracts of articles	78
Авторы статей в журнале № 5 (47) 2015 г.	80

Registered with the Federal Service for Supervision in Mass
Communications and Cultural Heritage Protection
Printed Matter Registration Certificate No. FS77-30114

Founder and Publisher

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

Published

6 issues a year

Editor-in-Chief

Tsybulsky, P.G.

Deputy General Director of Gazprom VNIIGAZ, PhD

Editorial board members

Beranek Antonin

*Director General
of VÍTKOVICE Rus (Czech Republic)*

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 15.08.2015

Endorsed to be printed on 15.09.2015

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

Gazprom's CNG filling stations network. Gas-vehicle breakthrough	3
Technical session «Fuel hazard reduction of working objects and LNG consumption»	8
Boris Rachevsky Improving the efficiency of the economy through technology using CNG and LNG	12
Maxim Korotkov An effective tool for gas-vehicle trend development in Russia	18
Andrew Evstifeev Analysis of the efficiency of the production process at CNG filling station	27
Vjacheslav Kamaltdinov, Vladimir Markov Research of nitrogen oxydes synthesis in diesel engines and HCCI-engines	34
Svetlavna Belousova, Vladimir Zarubin, Evgeny Krylov, Jacov Osadchiy Thermal modes of motor cylinder with a polymer liner when downloading and expenditure of metha	47
Research projects	58
Jury Antipov, Nikolay Patrakhaltsev, Ivan Shatalov, Xenia Zhemchuzhnikova Fuel efficiency and output of combined diesel-steam power plants for ships	61
Juriy Danovich Features and Prospects of Turkish CNG Market	65
Gas-vehicle fuel market evolution in Israel	71
Methane on launches	72
CNG for mine dump trucks	74
Natural gas for firefighters	75
Vehicle on hydrogen fuel cells	77
Abstracts of articles	78
Contributors to journal issue № 5 (47) 2015	80

Сеть АГНКС Газпрома: газомоторное открытие

В июле компания «Газпром газомоторное топливо» торжественно ввела в эксплуатацию реконструированную автомобильную газонаполнительную компрессорную станцию (АГНКС) в столице Башкортостана городе Уфа. Помимо масштабного технического перевооружения, кардинально изменился и внешний вид станции. Именно так теперь будут выглядеть все новые и реконструируемые АГНКС Газпрома. В мероприятии, посвященном открытию станции, приняли участие председатель совета директоров ПАО «Газпром» Виктор Зубков, заместитель председателя правления ПАО «Газпром» Виталий Маркелов, генеральный директор ООО «Газпром газомоторное топливо» Михаил Лихачев, генеральный директор ООО «Газпром трансгаз Уфа» Шамиль Шарипов, представители региональных органов власти.

Компания «Газпром газомоторное топливо» является единым оператором по развитию рынка газомоторного топлива от ПАО «Газпром». Компания ведет работу по созданию на территории России единой федеральной газозаправочной сети. Помимо строительства новых газозаправочных станций, большое внимание уделяется консолидации и модернизации действующих газомоторных активов Группы Газпром. Сегодня в управлении Газпрома более 200 АГНКС.



Реконструированная АГНКС в новом фирменном стиле

Пилотный регион

На территории Республики Башкортостан действует 11 АГНКС Газпрома. Республика входит в число десяти приоритетных регионов, где компания ведет работу по развитию отечественного рынка газомоторного топлива. Башкортостан обладает большим потенциалом для увеличения потребления газового топлива и рассматривается в качестве одной из базовых площадок для распространения заправочной сети

в соседние регионы. Совокупная проектная мощность газозаправочной сети в регионе составляет 94,2 млн м³/год. На сегодняшний день природным газом в Башкирии заправляется более 4000 единиц транспорта.

Сотрудничество в сфере расширения использования природного газа на транспорте между «Газпром газомоторное топливо» и правительством Республики Башкортостан осуществляется в рамках соглашения, которое подписано 23 мая 2014 года. Стороны договорились о проведении совместных мероприятий, направленных на развитие рынка газомоторного топлива в регионе. Правительство республики планомерно увеличивает количество газомоторной техники в составе муниципальных городских автопарков. «Газпром газомоторное топливо», в свою очередь, обеспечивает строительство и реконструкцию объектов газозаправочной инфраструктуры.



Башкортостан входит в число 10 приоритетных регионов работы Газпрома по развитию отечественного рынка ГМТ; справа – подписание памятной таблички Виктором Зубковым



Благодаря активной работе правительства республики, Башкирия является одним из лидеров газомоторного рынка как по развитости инфраструктуры, так и по расширению парка техники, работающей на природном газе. В рамках подпрограммы «Автомобильная промышленность» государственной программы Российской Федерации «Развитие промышленности и повышение ее конкурентоспособности» в 2014 году Башкортостан приобрел 29 автобусов марки НЕФАЗ большой вместимости, работающих на сжатом природном газе (СПГ). Размер федеральных субсидий составил 72,3 млн руб., а общий объем финансирования – 210 млн руб. В 2015 году в соответствии с распоряжением Правительства Российской Федерации от 17.07.2015 г. № 1393-р, из общего объема субсидий федерального бюджета в 3 млрд руб. на закупку техники на газомоторном топливе Республике Башкортостан будет выделено 322,4 млн руб., на которые планируется приобрести около 100 единиц автобусной и коммунальной техники на СПГ.

Процесс формирования газомоторных автопарков синхронизирован со строительством газозаправочной инфраструктуры. Компания «Газпром газомоторное топливо» приняла Инвестиционную программу на 2015 год, которой предусмотрена реконструкция АГНКС-1 на ул. Свободы и АГНКС-2 на ул. Ахметова, а также строительство новых станций: АГНКС-3 в микрорайоне 8 марта и АГНКС-4 на ул. Интернациональная. Все четыре станции расположены в Уфе и войдут в состав федеральной сети АГНКС Газпрома.

В целом к 2023 году в Башкортостане Газпром планирует построить 13 АГНКС и оборудовать 17 традиционных АЗС модулями для заправки компримированным природным газом. Таким образом, суммарное количество объектов газозаправочной сети в республике увеличится более чем в три раза и достигнет 41 единицы.

5

АГНКС нового формата

Первым объектом, который был введен в эксплуатацию, стала АГНКС-2 на ул. Ахметова. Проект реконструкции станции предусматривал обширную работу и включал замену пяти компрессорных установок на два более мощных современных компрессора суммарной производительностью не менее 28,8 тыс. м³/сут. Вместо восьми однопостовых колонок было установлено пять двухпостовых. Также увеличено расстояние между заправочными модулями. Это повысило пропускную способность АГНКС и сделало ее более удобной для заправки крупногабаритного транспорта.



При реконструкции АГНКС было увеличено число заправочных модулей и расстояние между ними

Также были заменены блоки осушки газа и узлы учета, построено новое здание комплектной трансформаторной подстанции, операторной, реконструированы подъездные пути и сети инженерно-технического обеспечения, демонтированы старые здания производственно-технологического корпуса АГНКС и технологического оборудования. Станция оформлена в фирменном стиле, который будет использоваться на всех новых и реконструируемых АГНКС Газпрома. Он выполнен в бело-синей гамме с добавлением зеленого цвета, символизирующего экологичность и безопасность газомоторного топлива.

Особенностью компрессорных установок станции являются высокие показатели по энергоэффективности и шумоизоляции. Компрессорный блок оборудован системами пожаротушения, контроля уровня загазованности и локальной системой автоматики. Во время пиковых нагрузок для повышения эффективности продаж природного газа на АГНКС установлены два блока аккумуляторов газа, позволяющих накапливать КПП: 14 баллонов вместимостью 1120 л в составе компрессорного блока и отдельно стоящий блок аккумуляторов газа – 42 баллона вместимостью 3360 л.

Компания «Газпром газомоторное топливо» уделяет большое внимание сотрудничеству с отечественными предприятиями по вопросам импортозамещения.



На АГНКС установлены энергоэффективные компрессоры повышенной мощности и высоконадежная автоматизированная система управления

Управление станции осуществляется с помощью автоматизированной системы отечественной разработки: проектирование, изготовление и пусконаладка АСУ ТП АГНКС, а также пусконаладочные работы всей АГНКС выполнены НПК «ЛЕНПРОМАВТОМАТИКА».

В Республике Башкортостан присутствует значительное число предприятий, которые являются потенциальными потребителями газомоторного топлива и находятся в удалении от стационарных АГНКС. В связи с этим компания «Газпром газомоторное топливо» при создании газозаправочной инфраструктуры в регионе предусматривает возможность доставки топлива с помощью передвижных автомобильных газовых заправщиков (ПАГЗ) к местам работы специальной и сельскохозяйственной техники. АГНКС-2 оборудована отдельной колонкой для наполнения ПАГЗ. Ранее его заправка осуществлялась с одной из общих заправочных



На реконструированной АГНКС оборудована отдельная колонка для наполнения ПАГЗ

колонок АГНКС. Теперь блок заправки КПП вынесен на отдельную площадку для удобства и безопасности этого процесса. Колонка обладает большой пропускной способностью, что позволяет существенно сократить время заправки компримированным природным газом. К примеру, ПАГЗ объемом 3000 нм³ можно заправить менее чем за два часа.

7

Сотрудничество с автопроизводителями

Одним из ключевых факторов развития рынка газомоторного топлива является расширение линейки серийно выпускаемой газомоторной техники. Сегодня крупнейшей в России автомобильной корпорацией «КАМАЗ», в состав которой входит 12 крупных заводов автомобильного производства (в том числе ОАО «Нефтекамский автозавод» и ОАО «Туймазинский завод автобетоносмесителей», базирующиеся в Республике Башкортостан), налажено производство газомоторной техники различного типа моделей и шасси.

24 мая 2013 года между ООО «Газпром газомоторное топливо» и ПАО «КАМАЗ» заключено соглашение о сотрудничестве в области развития использования природного газа в качестве моторного топлива. 22 апреля 2015 года ПАО «КАМАЗ» ввел в эксплуатацию производственную линию по выпуску газобаллонного транспорта на базе автомобильного завода в г. Набережные Челны мощностью 8000 единиц в год. Общий объем инвестиций в реализацию проекта составил 500 млн руб.

В рамках торжественной церемонии ввода АГНКС-2 в эксплуатацию была организована экспозиция заводской газомоторной техники, где были представлены следующие модели: низкопольный городской автобус НЕФАЗ-5299-40-51, малый городской автобус Бравис КПП, самосвал с трехсторонней разгрузкой КАМАЗ-65115-863-30, специальный автобус НЕФАЗ-4208-10-41 на шасси КАМАЗ-43114-3861-30 (6×6).

Таким образом, развитие рынка газомоторного топлива создает основу для формирования смежных отраслей промышленности. Масштабный инфраструктурный проект Газпрома по расширению использования природного газа на транспорте создает для производителей транспорта и оборудования перспективный рынок сбыта.



Порядка 25 заправочных комплексов запланировано ввести в эксплуатацию в 2015 году

Управление внешних коммуникаций ООО «Газпром газомоторное топливо»

Технический семинар «Снижение пожароопасности объектов малотоннажного производства и потребления сжиженного природного газа»

17 сентября в ООО «Газпром ВНИИГАЗ» состоялся технический семинар «Снижение пожароопасности объектов малотоннажного производства и потребления сжиженного природного газа» в соответствии с решением секции 8 «Рациональное распределение и использование газа и других энергоресурсов» Научно-технического совета ПАО «Газпром».



Модераторами развернувшейся дискуссии выступили директор Центра использования газа, ученый секретарь секции, к.т.н. С.В. Люгай, главный научный сотрудник Центра, д.т.н., профессор С.П. Горбачев и главный научный сотрудник ФГБУ ВНИИПО МЧС России, д.т.н. В.Л. Карпов.

В заседании технического семинара приняли участие представители и специалисты ПАО «Газпром», ООО «Газпром ВНИИГАЗ», ООО «Газпром газомоторное топливо», ООО «Газпром газобезопасность», АО «Газпром газэнергосеть», ООО «Газпром трансгаз Екатеринбург», ООО «Газпром трансгаз Казань», ООО «Газпром трансгаз Санкт-Петербург», АО «Гипроспецгаз», АО «Газпром промгаз», ЗАО «НПП Криосервис», ПАО «Криогенмаш», ФГУП «НАМИ», АПС МЧС России, университета МАДИ, ФГБУ ВНИИПО МЧС России, ОАО «ВНИКТИ», ООО «Криомаш-БЗКМ».



Выступает главный научный сотрудник ООО «Газпром ВНИИГАЗ» профессор С.П. Горбачев

Анализ аварийных ситуаций и сценариев развития аварий на объектах малотоннажного производства и потребления сжиженного природного газа (СПГ) представил в своем выступлении главный научный сотрудник ФГБУ ВНИИПО МЧС России, д.т.н. В.Л. Карпов. В его докладе, в частности, были обозначены основные угрозы пожарной безопасности и технические решения по снижению пожарной опасности на объектах малотоннажного СПГ.

Объекты малотоннажного производства и потребления СПГ являются объектами с высоким уровнем пожарной опасности, что обусловлено большой концентрацией пожаровзрывоопасных веществ на относительно небольших площадях и специфическими особенностями СПГ. В частности, при аварийных ситуациях, связанных с выбросами и разливами СПГ, появляются дополнитель-

ные по сравнению с легковоспламеняющимися и горючими жидкостями опасные факторы, к которым относятся следующие:

- быстрообразующиеся пожаровзрывоопасные облака, распространяющиеся на большие расстояния;
- высокая среднеповерхностная плотность теплового излучения пламени (для пожара при проливе СПГ – до 220 кВт·м²);
- высокотемпературный горящий факел, возникающий при истечении паровой и/или жидкостной фазы СПГ;
- низкие температуры, приводящие при определенных условиях к потере прочности и функционального назначения материалов и конструкций резервуаров и технологического оборудования, что может увеличить масштабы аварии.

Анализ опыта эксплуатации объектов производства, хранения и переработки СПГ показывает, что даже незначительные нарушения требований пожарной безопасности, допущенные при их проектировании и эксплуатации, могут привести к серьезным последствиям, связанным с возникновением и развитием аварий с пожарами и взрывами, влекущими за собой травмирование и гибель людей, а также значительный материальный ущерб.

Указанные обстоятельства требуют научно обоснованного подхода к проектированию и размещению объектов производства и потребления СПГ с целью соблюдения безопасных расстояний, выполнения противопожарных требований к строительным конструкциям и технологическому оборудованию, рационального выбора систем пожаротушения и водяного орошения в зависимости от пожарной опасности и физико-химических свойств обращающихся в производствах веществ и материалов с учетом технологических, конструктивных и объемно-планировочных особенностей защищаемых объектов.

При разработке противопожарных мероприятий используется дифференцированный подход с учетом особенностей технологических процессов

(производительность, объемы хранения, рабочее давление и т.п.), пожарной опасности и опасных факторов чрезвычайных ситуаций применительно к конкретным объектам.

Участники заседания обсудили проект окончательной редакции свода правил «Объекты малотоннажного производства и потребления сжиженного природного газа. Требования пожарной безопасности».

Свод правил разработан ООО «Газпром ВНИИГАЗ» по поручению ПАО «Газпром» совместно с ФГБУ ВНИИПО МЧС России. В настоящее время ведется доработка документа по предложениям экспертного совета МЧС РФ. Координацию работы выполняет ООО «Газпром газомоторное топливо», единый оператор от ПАО «Газпром» по развитию рынка газомоторного топлива. Участники заседания технического семинара смогли детально обсудить предлагаемые технические решения, касающиеся проектирования и эксплуатации объектов малотоннажного СПГ. Ввод в действие свода правил стандартизирует подходы к требованиям в области безопасности таких объектов. Для эксплуатирующих организаций ПАО «Газпром» это особенно важно в связи с планами по строительству таких объектов в различных регионах страны. Производителям оборудования обсуждение свода правил позволило конкретизировать производственные задачи, чтобы в дальнейшем разрабатывать и предлагать для отечественного рынка СПГ новые виды продукции.



Выступает главный научный сотрудник
ФГБУ ВНИИПО МЧС России
В.Л. Карпов

Интересно, что разработанный свод правил не ограничивается установлением требований, а предлагает технические решения по предотвращению пожара на объектах, основанные на инновационных российских разработках. В частности, предусматривается возможность сокращения расстояния между объектами СПГ и другими сооружениями за счет использования двухоболочечных криогенных резервуаров, водяных завес и пористых наполнителей для предотвращения горения СПГ. Следует отметить, что в проекте свода правил предусмотрена возможность заправки транспорта сжиженным природным газом на территории, где располагаются объекты малотоннажного СПГ. Напомним, действующие нормативные документы не допускали возможности заправки транспорта СПГ на общественных автозаправочных станциях. Это значит, что утверждение свода правил благоприятно скажется на работе эксплуатирующих организа-

ций в области расширения использования природного газа на транспорте.

Модераторы секции видели своей задачей формирование единого информационного поля со всеми заинтересованными участниками по требованиям пожарной безопасности к объектам малотоннажного СПГ, а также объединение разработчиков документа, производителей и представителей надзорных служб для выработки



Участники семинара

общего понимания основных положений и необходимости свода правил. Открытая дискуссия и обмен мнениями позволили высказаться всем желающим и продемонстрировать экспертам МЧС России инициативу и заинтересованность производителей, проектирующих и эксплуатирующих организаций.

Окончательная редакция свода правил после обсуждения на секции НТС будет направлена на согласование в ПАО «Газпром» и далее на утверждение в МЧС России, чтобы впоследствии стать руководящим документом для обеспечения пожарной безопасности на объектах малотоннажного производства и потребления сжиженного природного газа. При этом документ будет содержать минимальные требования. Специалисты ВНИИПО рекомендуют всем, кто работает с такими объектами, по мере накопления опыта проектирования и эксплуатации активно сотрудничать с научными организациями по внесению необходимых дополнений и изменений.

Справка

Научно-технический совет ПАО «Газпром» предназначен для выработки предложений и рекомендаций по вопросам, связанным с формированием и реализацией инновационной и научно-технической политики Общества, а также с решением комплексных задач научно-производственного характера.

Среди основных задач совета: участие в формировании концептуальных положений инновационной и научно-технической политики ПАО «Газпром»; рассмотрение и оценка передовых технических идей и технологических решений, форм и методов организации и управления производством, подготовка рекомендаций по их реализации для развития ресурсного, производственного и технологического потенциала Группы Газпром, улучшения экономических показателей его деятельности. Совет рассматривает важнейшие научно-технические проблемы функционирования газового комплекса и готовит рекомендации по их решению.

В составе совета сформированы 15 специализированных секций по тематике, соответствующей основным направлениям деятельности Группы Газпром.



Повышение эффективности экономики с помощью технологий применения КПГ и СПГ

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

В статье показана актуальность проблемы повышения эффективности экономики России. Дается предложение решения этой проблемы замещением используемых нефтепродуктов технологиями с применением компримированного и сжиженного природного газа.

Ключевые слова:

экономика, использование нефти, газомоторный рынок, КПГ, СПГ, подготовка кадров.

В настоящее время остро стоит вопрос повышения эффективности экономики России. Последние два кризиса (2009 и 2014 гг.), падение роста ВВП, дефицит бюджета страны и резкое повышение курса иностранных валют привели к ухудшению благосостояния значительного числа россиян. Все это заставляет думать о реальных мерах по укреплению и стабилизации экономики нашей страны.

В течение длительного времени повторяются призывы к тому, что России надо «слезть с нефтяной иглы», а экономике перестать быть ресурсной и встать на путь инновационного многоотраслевого производственного развития, что не вызывает ни у кого сомнения. Только возникает вопрос, как же это сделать в реальных условиях?

На жизнеобеспечение страны и дополнительно на инновационное развитие нужны средства, а их в бюджетах регионов катастрофически не хватает. Тем не менее ни для кого не секрет, что более половины бюджета России пополняется за счет экспорта нефти и газа,

а формируется бюджет исходя из стоимости барреля нефти на мировом рынке. В последнее время, когда речь заходит о состоянии экономики РФ, в комментариях обозревателей или даже в выступлениях руководителей страны всегда обсуждается цена барреля нефти на мировом рынке. Большое внимание уделяется также поставкам газа на мировой рынок. Мы видим, что речь не идет о поставках какой-либо другой продукции. Таким образом, совершенно очевидно, что приоритетом в экономике России на ближайшее время будет оставаться нефтегазовый комплекс.

При падении стоимости барреля нефти на один доллар США бюджет РФ теряет за один день примерно 500 млн руб. Чтобы выручка от продажи нефти при падении ее стоимости оставалась прежней, необходимо продавать на мировом рынке большее ее количество. В настоящее время в России добывается более 520 млн т нефти, около половины идет на экспорт, остальная часть – на внутренний рынок для производства нефтепродуктов (рис. 1).

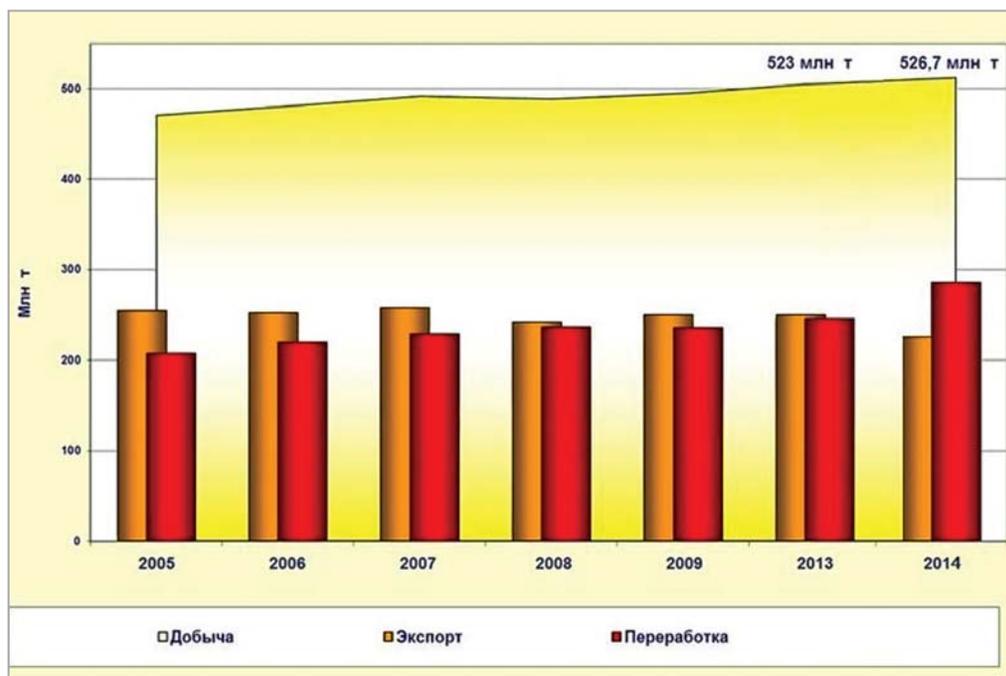


Рис. 1. Добыча, переработка и экспорт нефти в РФ

Основная доля нефти в мире (в том числе в России) расходуется на производство нефтепродуктов – топлив для транспортных средств и электрогенераторов (рис. 2). Увеличение объема добычи нефти требует разработки труднодоступных месторождений (шельф Арктики) и, следовательно, дополнительных затрат. С учетом этого, а также того, что запасы природного газа и его добыча в России являются самыми большими в мире, а нефть останется основой мирового потребления энергоресурсов на ближайшие десятилетия, целесообразно направить на экспорт большее количество нефти и производимых нефтепродуктов,

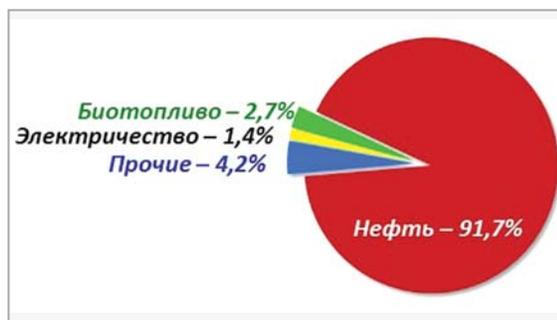


Рис. 2. Мировое потребление энергоресурсов на транспорте в 2011 г.

а образовавшийся на внутреннем рынке дефицит нефтепродуктов заменить на компримированный (КПГ) и сжиженный (СПГ) природный газ.

Как показывает мировой опыт, природный газ в компримированном и сжиженном виде успешно используется в качестве альтернативы нефти и нефтепродуктам [1]. Уже более 50 лет он успешно используется во многих странах мира, в том числе и в России, в качестве моторного топлива и энергоносителя, поскольку из всех углеводородных топлив лучше всего обеспечен сырьем, является наиболее экологичным и дешевым. На рис. 3 приведены различные цены на моторное топливо в странах Европы, где видно, что КПГ является самым дешевым.

В настоящее время 86 стран используют в качестве моторного топлива природный газ, который является единственной реальной альтернативой бензину и дизельному топливу. Мировой парк газобаллонных автомобилей (ГБА), работающих на природном газе, по состоянию на апрель 2015 г. составил 22 411 706 ед., которые заправляются

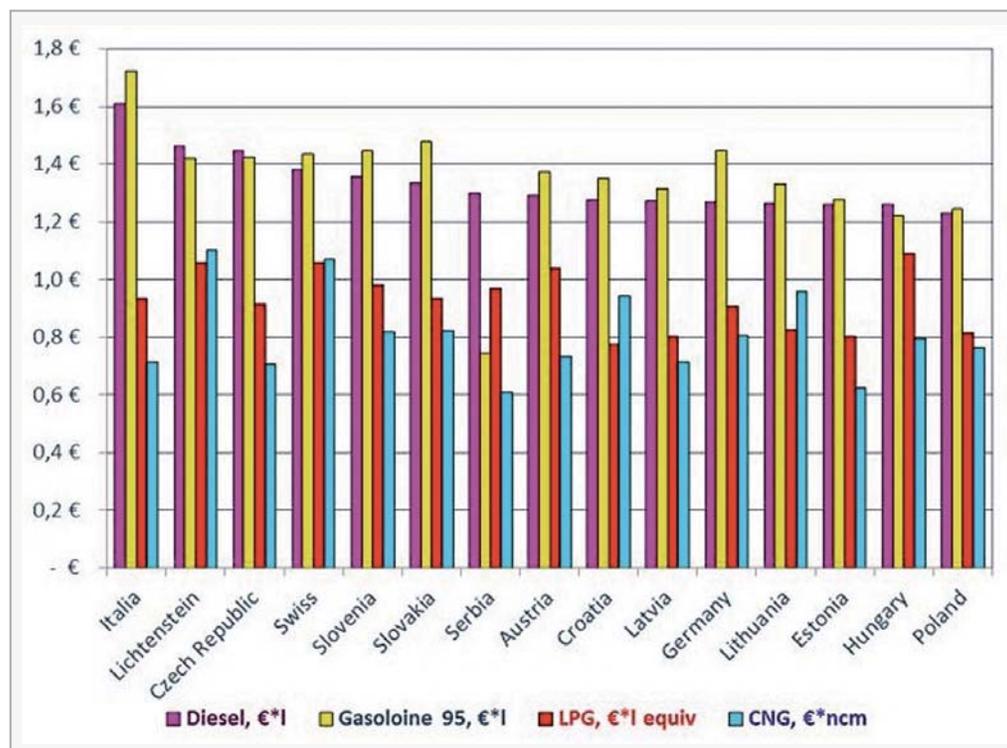


Рис. 3. Розничные цены на моторное топливо в странах Европы по состоянию на октябрь 2014 года [2]

на 26 714 АГНКС [3]. Мировой парк ГБА, работающих на сжиженном пропан-бутане, на этот же период составил около 20 млн ед. К 2020 г. мировой парк газовых машин может вырасти до 65 млн ед.

Поскольку страны ЕС тратят на импорт нефти ежедневно 1 млрд евро, Евросоюз в 2015-2020 гг. планирует направить на разработку новых газовых автомобилей 70 млрд евро.

Мировыми лидерами по использованию природного газа на автотранспорте сегодня являются следующие страны: Иран – 4,068 млн ГБА; Китай – 3,994 млн ГБА; Пакистан – 3,700 млн ГБА; Аргентина – 2,487 млн ГБА; Индия – 1,800 млн ГБА; Бразилия – 1,781 млн ГБА. В Европе автогазовые технологии и газовая заправочная инфраструктура лучше всего развиты в Италии (885 300 ГБА), Германии (98 172 ГБА), Болгарии (61 320 ГБА), Швеции (46 715 ГБА), Швейцарии (11 640 ГБА), Чехии (8 817 ГБА). А наиболее развитой в удельном отношении национальной газозаправочной

сетью среди европейских государств обладает... княжество Лихтенштейн. При общей протяженности автомобильных дорог 380 км в стране работают три АГНКС, при этом плотность сети составляет 1/127 км. Это лучший показатель в Европе [4]. На рис. 4 представлен внешний вид одной из самых современных АГНКС, построенной в княжестве Лихтенштейн.

Сегодня в мире на природном газе в целом ездит немногим более 2 % автомобилей. У стран, лидеров по использованию газомоторного топлива, этот процент существенно выше – в Иране 25 %, в Аргентине 15 %. В России же из общего числа автомобилей, равного 45 млн, лишь около 1,5 млн (3 %) используют газ в качестве моторного топлива, при этом на природном газе работают только 111 тыс. (0,2 %), остальные используют сжиженный пропан-бутан. Проблема перевода транспортных средств на газовое топливо успешно решалась в республиках бывшего СССР,



Рис. 4. Внешний вид АГНКС в Вадуце (Лихтенштейн). Технологическое оборудование размещено на верхнем уровне

и в конце 80-х гг. прошлого века Советский Союз занимал второе место в мире после Италии по этому показателю. Парк газобаллонных автомобилей, работающих на природном газе, составлял 500 тыс. ед.

В России проблема использования газомоторного топлива уже несколько раз претерпевала подъемы в намечаемых планах и падения при их реализации. В последние годы (2012-2013 гг.) на российском газомоторном рынке произошли значительные позитивные перемены. Вышли поручение Президента и Распоряжение Правительства Российской Федерации от 13 мая 2013 г. № 767-р, поставлена амбициозная задача к 2020 г. перевести на использование природного газа до 50 % общественного автомобильного транспорта и дорожно-коммунальных машин в городах с населением более 300 тыс. человек и до 10 % – в городах и населенных пунктах с населением более 100 тыс. человек.

По данным переписи, сейчас в Российской Федерации 164 города с населением более 100 тыс. жителей. В общей сложности в них проживают 70 млн человек, что составляет половину страны, на них должна приходиться соответственно половина автопарка России. Перевод только 20 % автотранспорта

на природный газ позволит сэкономить 45 млн т нефти и увеличить ее экспорт на 20 %. Это значительно повысит надежность «подушки безопасности» экономики России.

Природный газ в сжиженном виде может успешно применяться не только на автомобилях, но и практически на всех других видах транспортных средств – тепловозах, судах, самолетах. Сокращение затрат на топливо вынуждает даже военных принимать природный газ на вооружение. В последние годы в разных странах мира в вооруженные силы приходят газовые технологии для колесной техники, кораблей, самолетов и ракет [5].

Армия США рассматривает возможность сокращения затрат на топливо за счет перевода колесной техники общего назначения на газодизельный цикл. По данным министерства обороны, в 2011 г. американские военные «сожгли» 13,5 млн т моторного топлива на сумму около 20 млрд долл. США.

В 2013 г. в рамках курируемой министерством энергетики программы диверсификации видов топлива индонезийские военные приняли решение о переводе на КПГ 500 ед. техники в гарнизонах Джакарты и Сурабаи.

В марте 2015 г. в Мадриде прошла

конференция на тему «Использование природного газа в вооруженных силах и силах безопасности государства».

В 2013 г. по заказу министерства внутренних дел Финляндии построен газодизельный сторожевик на СПГ. Корабль проекта UVL10 (длина 96 м, ширина 17 м) построен во исполнение государственной программы сокращения экологического ущерба на море и в целях соблюдения новых требований по выбросам, введенных на Балтике с начала 2015 г.

При современных расчетах экономического эффекта от применения природного газа вместо нефтяных топлив необходимо учитывать экологический ущерб от вредных выбросов при использовании нефтепродуктов, как это было принято в России в 80-х гг. прошлого века и ряде стран в настоящее время.

С учетом того, что мировой рынок газа нестабилен, а цена на природный газ формируется в зависимости от

цены нефти, целесообразно на внешнем рынке делать ставку на нефть. Произошедшее летом 2014 г. снижение цен на нефть, до этого устойчиво державшихся на уровне 100-110 долл. США за баррель, поставило под сомнение рентабельность российских проектов по созданию экспортных крупнотоннажных заводов СПГ («Штокман СПГ», «Владивосток СПГ», «Дальневосточный СПГ», «Печора СПГ», «Балтийский СПГ»), реализация которых заморожена. Теперешний уровень цен на нефть в диапазоне 40-80 долл. США за баррель может продержаться не один год, а рентабельность экспортных крупнотоннажных заводов СПГ начинается при стоимости нефти от 80 долл. за баррель.

Такая ситуация на внешнем рынке углеводородов заставляет перенаправить ресурс природного газа на внутренний рынок для газификации населенных пунктов, промышленных объектов и транспортных средств

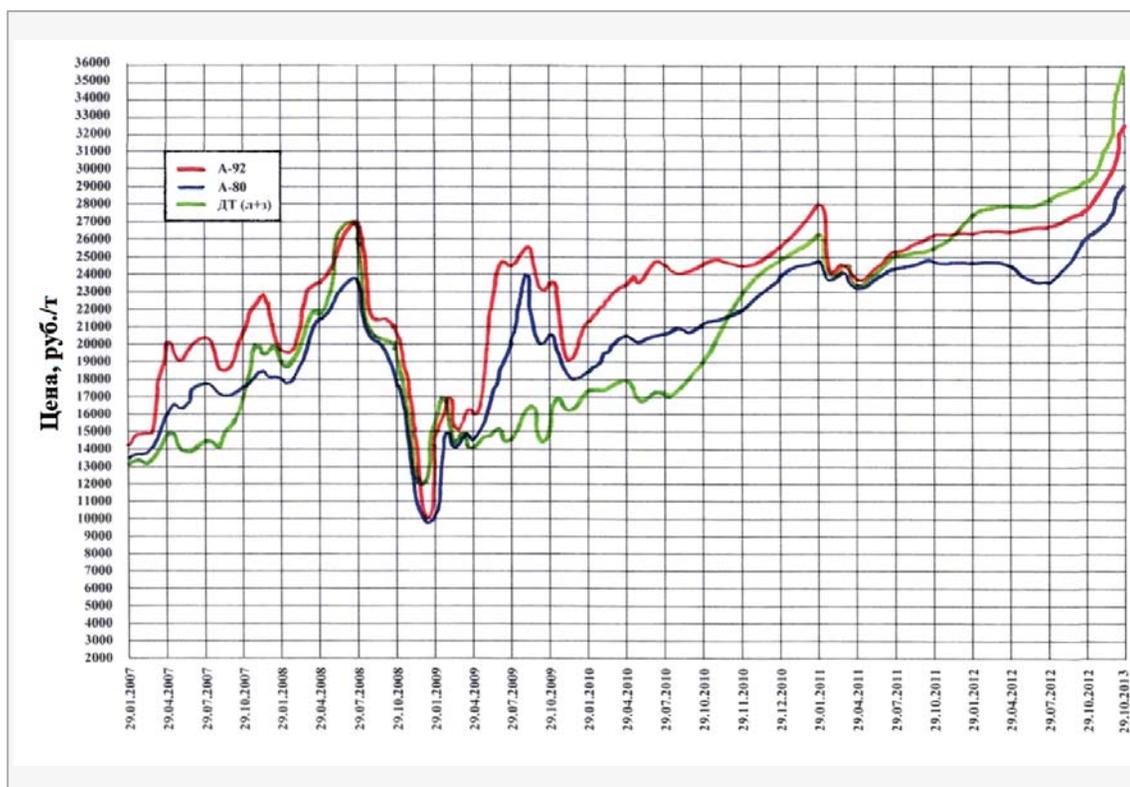


Рис. 5. Динамика средних цен на нефтепродукты в России

с учетом того, что 35 % территории России не газифицировано. Перевод транспортных средств на газомоторное топливо с высвобождением нефтяного ресурса для направления его на экспорт позволит заметно повысить эффективность экономики и улучшить благосостояние большинства граждан РФ за счет снижения стоимости моторного топлива и улучшения экологии страны, поскольку газовое топливо, как минимум, в два раза дешевле и в несколько раз экологичнее нефтяного.

Показателем эффективности экономики страны является минимальная инфляция, которую легко проследить, наблюдая за стоимостью бензина и дизтоплива. Высокая цена моторного топлива приводит к общему подорожанию жизненно важных продуктов, в особенности сельскохозяйственных, поскольку в их себестоимости 30 % – это транспортная составляющая. Тем не менее, за последние два года бензин и дизельное топливо в России подорожали в три раза, и их цена продолжает расти (рис. 5).

Реальным и наглядным показателем повышения эффективности экономики страны будет служить снижение цен на моторное топливо. А этого можно достичь в достаточно короткий срок, применяя малозатратные инновационные

технологии использования природного газа в качестве моторного топлива.

Осуществление задачи применения газомоторного топлива требует значительного числа квалифицированных специалистов в области технологий компримированного и сжиженного газа. К сожалению, вузы и колледжи России не готовят профессионалов в этой области. С учетом этого Российский государственный университет нефти и газа им. И.М. Губкина в рамках дополнительного образования уже третий год проводит обучение по программе профессиональной переподготовки с нормативной трудоемкостью свыше 500 часов по специализации «Производство, транспорт, хранение, промышленная и экологическая безопасность сжиженных и компримированного газов».

Развитие нефтегазового комплекса, основанное на подготовке профессиональных кадров, интенсификации добычи, переработки, реализации нефти и газа на внешнем и внутреннем рынках, разработке и производстве инновационных нефтегазовых технологий и оборудования, позволит улучшить финансовую ситуацию России и станет локомотивом инновационного развития экономики страны.

Литература

1. Рачевский Б.С. Сжиженные углеводородные газы LPG, LNG, GTL. – М.: Нефть и газ, 2009. – 640 с.
2. Перспектива газомоторного рынка России в цифрах. <http://www.gazpronin.ru/GazPronin2013.shtml>.
3. Мировой рынок КПП по состоянию на апрель 2015 г. // Транспорт на альтернативном топливе. – 2015. – № 3 (45). – С. 76-77.
4. Голубой коридор – 2014: Дорога в Милан. <http://www.gazpronin.ru/GazPronin2013.shtml>.
5. Метан на военной технике // Транспорт на альтернативном топливе. – 2015. – № 3 (45). – С. 70-71.

Энергосервисный договор как эффективный инструмент развития газомоторного направления в России

М.В. Коротков, начальник отдела розничной реализации КПП и СПГ
АО «Газпром газэнергосеть», к.т.н.

В статье продолжено обсуждения темы, затронутой в № 2 (44) 2015 г. В частности, речь идет об энергосервисном контракте как эффективном инструменте развития использования газа в России в качестве моторного топлива, предложенном Группой компаний «Газпром газэнергосеть».

Ключевые слова:

энергосервисный контракт, газомоторное топливо, экономическая эффективность, развитие рынка ГМТ.

В настоящее время в России проводится активная работа по расширению использования газомоторного топлива (ГМТ). Правительство принимает законы, которые облегчают внедрение газа на транспорте, и выделяет крупные субсидии на закупку автобусов и техники для жилищно-коммунального хозяйства, работающих на газомоторном топливе. Предполагается, что к 2020 г. в крупных городах на ГМТ будет работать до 50 % муниципального автотранспорта.

С целью повышения эффективности развития газомоторной отрасли АО «Газпром газэнергосеть» предлагает использовать огромный потенциал, заложенный в энергосервисных контрактах (ЭСК). Но их действие необходимо расширить, позволив компаниям-поставщикам ГМТ в рамках ЭСК не только финансировать перевод транспорта крупных муниципальных автопарков на газ, но и поставлять им топливо. Это решит проблему бюджетных учреждений по поиску финансирова-

ния и заинтересует крупных игроков (производители и поставщики газа) активнее вкладывать деньги в развитие парка газоиспользующих средств. В конечном итоге государство получит значительную экономию, а воздух в городах станет чище.

Трудности перевода

Понятие «газомоторное топливо» объединяет три вида топлива: сжиженный углеводородный газ (СУГ), компримированный (КПП) и сжиженный (СПГ) природный газ, которые обладают различными свойствами и характеристиками, определяющими их назначение и особенности использования. Поэтому в основе стратегии развития газомоторного бизнеса должен лежать системный подход к диверсификации розничного рынка РФ, позволяющий четко структурировать, а значит и управлять целевыми потребительскими сегментами.

Разделение и понимание целевого потребителя каждого из этих видов продукции (тип автотранспорта, его

технические характеристики, виды перевозок, особенности эксплуатации и др.) позволят максимально адаптировать автозаправочную инфраструктуру для конкретного сегмента и значительно расширить рынок сбыта.

Например, основным целевым потребителем СУГ является легковой и малый коммерческий автотранспорт, в то время как основным потребителем природного газа в качестве моторного топлива является автотранспорт, предназначенный для крупных грузовых и пассажирских перевозок. Мировой опыт использования природного газа в качестве моторного топлива показывает, что основным потенциалом развития использования КПП является сегмент грузопассажирских перевозок, который в настоящее время в РФ осуществляется автотранспортными средствами (АТС), работающими на дизельном топливе (магистральные грузовые тягачи, пассажирские автобусы и сельхозтехника, потребляющие наибольшие объемы жидкого моторного топлива).

Опыт перевода дизельных двигателей на газодизельный режим с применением дизельного топлива в качестве запальной дозы показал свою низкую экономическую эффективность и невысокую надежность. Конвертация (то есть глубокая модернизация с оснащением искровым зажиганием) дизельных двигателей, находящихся в эксплуатации, имеет недоступно высокую стоимость (зачастую во много раз превышающую остаточную стоимость самих АТС) и не обеспечена существующей нормативно-правовой базой. Поэтому экономически целесообразным способом перевода автотранспортных предприятий (АТП) для работы на КПП является замещение существующего парка техники новыми АТС, оснащенными газовыми двигателями.

Ценообразование ГМТ должно строиться на основании текущей розничной ситуации и с учетом факторов,

влияющих на затраты при его реализации на каждом микрорынке. Применительно к большинству регионов РФ розничная цена на ГМТ должна быть установлена в ценовом диапазоне с учетом следующих граничных условий.

- Нижняя граница (то есть минимальная цена розничной реализации ГМТ, направленная на формирование рынка потребителей) определяется в соответствии с существующими в газовой компании критериями окупаемости инвестиций в строительство газозаправочной инфраструктуры. При этом достигается минимально допустимый экономический эффект от реализации проекта для самой газовой компании и максимальный экономический эффект от перевода автотранспортных средств для работы на ГМТ для их собственников. Таким образом, срок окупаемости автомобиля (на примере ГАЗ-3302, при среднегодовом пробеге ~ 70 тыс. км), составляет 6 месяцев.

- Верхняя граница (то есть максимальная цена розничной реализации ГМТ при сложившемся рынке потребителей) определяется из условий целесообразности перевода АТС для работы на ГМТ на основе существующих в АТП критериев окупаемости инвестиций в переоборудование либо приобретение более дорогостоящей автотранспортной техники в газовом исполнении. Следовательно, маркетинговый анализ рынка показывает, что решения о переводе АТС для работы на ГМТ либо о приобретении техники в газовом исполнении активнее принимаются собственниками при условии окупаемости инвестиций за период в пределах одного года.

Распределение АТС по видам используемого топлива наглядно показывает и существующее положение дел, и потенциал расширения использования ГМТ. Так, по данным аналитического агентства «АВТОСТАТ», в настоящее время в РФ 1,4 млн автомобилей с газобаллонным оборудованием (ГБО) составляют

около 3,5 % общего парка автомобилей, при этом 3,3 % используют СУГ и только 0,2 % – КПГ. По нашим данным, применяя предлагаемый системный подход к диверсификации рынка, можно довести долю автопарка с ГБО в ближайшие 7 лет до 12...15 %, что будет соответствовать показателю развитых стран.

Сравнительный анализ стоимости переоборудования АТС показывает, что переоборудование автобуса ПАЗ с бензиновым двигателем для работы на СУГ будет стоить около 20...25 тыс. руб. (с НДС), а для работы на КПГ – 80...90 тыс. При переводе целого парка автомобилей для работы на ГМТ (например, 50 ед.) есть возможность сэкономить значительные финансовые ресурсы, так как в этом случае действуют минимальные оптовые цены на оборудование, но тем не менее это может стать неподъемной задачей даже для крупных автопредприятий. Кроме этого, государственные субсидии, выделяемые для приобретения новых АТС, могут оказаться не столь эффективными, так как все равно предполагаются значительные финансовые вложения самого автопредприятия. Не каждое АТП может изыскать необходимые средства, даже понимая свою выгоду в будущем.

Решением этой задачи может стать сотрудничество с газовыми компаниями, которые стремятся расширить клиентскую базу. И такой опыт есть.

Положительный опыт

В 2011 г. было заключено трехстороннее соглашение между правительством Нижегородской области, ПАО «СИБУР Холдинг» и АО «Газпром газэнергосеть» (специализированный оператор Газпрома по реализации СУГ). СИБУР и «Газпром газэнергосеть» бесплатно перевели на СУГ 99 автобусов и обеспечили их заправку.

На тот момент единственный

механизм, с помощью которого компании могли реализовать свой проект, был договор пожертвования. СИБУР пожертвовал автотранспортным предприятиям Нижегородской области комплекты ГБО, которые были установлены силами «Газпром газэнергосеть» на автобусы. Но такую схему невозможно было распространить в масштабах всей страны, так как она не гарантировала возврата инвестиций, потому что для поставки СУГ (заправка автобусов) требовалось еще участие и победа в тендере.

Позже, в 2013-2014 гг. другой проект по переводу автотранспорта для работы на СУГ был реализован для ЗАО «Автоколонна № 1825» (дочернее общество ООО «Газпром добыча Оренбург»). В ходе проекта «Газпром газэнергосеть» перевело на газ 47 ед. автотранспорта. На этот раз впервые (!) для этой цели был использован энергосервисный договор. Смысл договора заключался в том, что инвестиционные затраты ООО «ГЭС Оренбург» (дочернее общество «Газпром газэнергосеть») в ГБО были поэтапно компенсированы денежными средствами ЗАО «АК № 1825», формировавшимися в течение нескольких месяцев в результате образовавшейся экономии операционных затрат. Для перевода на СУГ 47 ед. автотранспорта в этом проекте потребовалось около 1,7 млн руб. При этом ЗАО «АК № 1825» не тратило свои деньги на переоборудование, а годовая экономия составила около 1,5 млн руб.

Таким образом, при заключении энергосервисного договора АТП получают возможность переоборудовать АТС для работы на ГМТ и значительно снизить свои операционные затраты без привлечения собственных инвестиций. После переоборудования АТП рассчитывается за ГБО постепенно за счет сэкономленных на топливе денежных средств. А после завершения действия энергосервисного договора все сэкономленные средства остаются в распоряжении АТП.

А нам тоже можно?

Оренбургский проект и его результаты стали известны профессиональной общественности. Руководители других АТП (в том числе за пределами Оренбургской области), увидев выгоды, которые дает механизм энергосервисного договора, захотели повторить успех этого проекта. Это лишний раз говорит о том, что для масштабного применения новых возможностей, которые обеспечивают усовершенствования в законодательстве, необходимы примеры практического их внедрения.

По просьбе администрации г. Владикавказ специалистами ООО «ГЭС розница» (дочерняя компания АО «Газпром газэнергосеть») была проработана возможность заключения аналогичного договора с муниципальными автопредприятиями: ВМКУ «ТХО» и ВМУП «ВладАвтоТранс». Но возникли некоторые сложности, которые не проявились при переводе на СУГ транспорта вышеупомянутого ЗАО «АК № 1825», так как оно не находится в государственной или муниципальной собственности. Оказалось, что энергосервисный договор (контракт) с муниципальным заказчиком в силу прямого указания ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности...» имеет специальное правовое регулирование и заключается в соответствии с Федеральным законом от 05.04.2013 г. № 44-ФЗ «О контрактной системе в сфере закупок товаров, работ, услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд». А нормы указанного закона № 44-ФЗ в совокупности с соответствующими подзаконными нормативными актами не позволяют заключить ЭСК, предметом которого является осуществление энергоэффективных мероприятий по переводу транспортных средств на ГМТ, поскольку исходя из особенностей таких мероприятий не может быть выполнено

основное требование ЭСК – достижение экономии определенного энергетического ресурса в натуральном выражении. Кроме того, согласно этому же закону, ЭСК заключается отдельно от контрактов на поставку энергоресурсов, которые в свою очередь заключаются по итогам отдельной закупочной процедуры. Возникали и дополнительные сложности, но эти можно считать главными.

В конечном итоге для перевода автотранспорта ВМКУ «ТХО» и ВМУП «ВладАвтоТранс» на СУГ было предложено заменить энергосервисный договор на два, не связанных между собой, договора: поставки ГБО с рассрочкой на 10 мес. (расчетный срок окупаемости) и поставки СУГ. При этом экономические показатели проекта не пострадали.

Закономерно возникает вопрос: чем плох такой подход? Ведь он позволяет переводить транспорт на газ, пусть и без использования механизма энергосервисного контракта. Проблема в том, что это штучная работа, такой подход не является системным и поэтому не может получить масштабного распространения.

С точки зрения газовой компании, обеспечивающей финансирование проекта, при заключении энергосервисного договора формируются два денежных потока: первый – за счет энергосервисных платежей, которые возникают из сэкономленных заказчиком средств (выплачиваются до возврата инвестиций в переоборудование), второй – за счет продажи топлива. Если убрать из этой схемы продажу топлива, то получается, что газовая компания – поставщик ГМТ – отвлекает свои деньги на беспроцентное «кредитование» партнера, которые вернутся к ней с потерями из-за инфляции. В том случае, если контракт на поставку топлива выигрывает другая компания, то выходит, что сработали на конкурента, расширив его клиентскую базу. Очевидно, что отсутствие гарантий отпугнет потенциального инвестора.

С точки зрения заказчика применение энергосервисного договора является очень выгодным еще и потому, что в нем содержится защита от того, что после его заключения газовая компания, поставляющая ГМТ, начнет продавать топливо дороже. Во-первых, в условиях энергосервисного договора прописываются условия сотрудничества, в том числе и стоимость топлива, а во-вторых, сам принцип энергосервисного договора предполагает, что чем больше экономит заказчик, тем быстрее возвращаются инвестиции газовой компании, которая вложила средства в установку ГБО. Завышая цену на топливо, газовая компания позже вернет свои инвестиции, часть которых, как уже было сказано выше, обесценит инфляция. Таким образом, чем разумнее цена, тем лучше обеим сторонам.

Чтобы поставлять топливо – инвестировать в потребителя

По сути закон «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности...» до сих пор не имеет ориентации на сложные рыночные реалии. Он не дает правовой основы для некой компании, которая будет готова заключать с муниципальными образованияами энергосервисный контракт и оплачивать перевод техники на газ ради увеличения своей клиентской базы. Поэтому приходится надеяться исключительно на добрую волю местных властей и на то, что им удастся найти деньги на переоборудование.

Здесь требуется системный подход и новые законодательные инициативы. Так, в июне 2015 г. АО «Газпром газ-энергосеть» подготовило и направило в Министерство энергетики Российской Федерации предложения по актуализации комплексного плана мероприятий от 14 ноября 2013 г. № 6819п-П9 по расширению использования природного газа в качестве моторного топлива,

в которых говорится о необходимости корректировки федеральных законов «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности...» и «О контрактной системе в сфере закупок товаров, работ, услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд». Эти инициативы должны способствовать созданию легитимной возможности применять энергосервисные контракты в качестве инструмента для развития рынка газомоторного топлива. Предполагается, что изменения уже в ближайшей перспективе позволят устанавливать комплекты ГБО на автотранспортные средства организаций различных форм собственности (в том числе муниципальных) за счет средств компаний-поставщиков ГМТ с последующей компенсацией стоимости оборудования из операционных средств предприятия, полученных в результате образовавшейся экономии.

По данным участников рынка, применение механизмов энергосервисного контракта только для перевода автотранспортных предприятий для работы на ГМТ позволит уже в кратчайшие сроки (в первые же 1-2 года) увеличить загрузку газозаправочной инфраструктуры в России минимум на 10 %. Но кроме этого, в случае государственной поддержки данной инициативы применение энергосервисных договоров может оказаться куда более эффективным и масштабным. Например, оно может позволить значительно повысить эффективность использования государственных средств федерального бюджета, выделяемых в соответствии с Постановлением правительства РФ от 8 октября 2014 г. № 1027 «Об утверждении Правил предоставления субсидий на закупку автобусов и техники для жилищно-коммунального хозяйства, работающих на газомоторном топливе», в рамках подпрограммы «Автомобильная промышленность» государственной программы Российской Федерации



Рис. 1. Существующая схема софинансирования перевода автопарка на ГМТ (на примере одного автобуса)

«Развитие промышленности и повышение ее конкурентоспособности».

В настоящее время выделение этих субсидий автопредприятиям осуществляется на условиях софинансирования: то есть наряду с федеральными деньгами для первоначального взноса должны быть предусмотрены денежные средства как в региональном бюджете, так и в бюджете самих АТП (рис. 1). Такой подход имеет серьезные недостатки. Во-первых, в современных сложных социально-экономических условиях найти дополнительно деньги в региональном бюджете и самом АТП весьма непросто даже для небольшого числа автобусов, не говоря уже об обновлении всего парка. Муниципальные власти в массе своей сегодня могут обеспечить только постепенный рост загрузки, перевода на газ лишь небольшое количество техники. А кроме этого, по факту получается, что деньги на покупку нескольких АТС (по 5-10 ед.) распределяются по автотранспортным предприятиям, которые расположены в разных районах региона и зачастую находятся на значительном удалении от существующей газозаправочной инфраструктуры. И главное: на практике при существующем подходе практически невозможно синхронизировать развитие газозаправочной инфраструктуры (находится в

зоне ответственности газовых компаний) и процесс формирования парка газоиспользующих автотранспортных средств (находится в зоне ответственности региональных властей и руководителей АТП). На деле это приводит к тому, что закупленные АТС стоят без возможности их использования или затрачивают значительные время и средства на преодоление холостых пробегов до мест заправки. А газовые компании не строят новые заправки ввиду того, что в тех местах, где есть возможность построить АГНКС, не хватает потенциальных потребителей, которые загрузят АГНКС и окупят инвестиции.

Поэтому предлагается наряду с существующей схемой выделения субсидий законодательно разрешить использование альтернативной (рис. 2), при которой государственные субсидии на приобретение газовых АТС будут выделяться не АТП, а газовым компаниям – поставщикам ГМТ (крупные производители природного газа на территории РФ), которые смогут использовать их для адресного формирования потенциального потребителя КПП конкретно в тех местах, где эти компании планируют строить АГНКС.

При этом сами автотранспортные средства на КПП будут передаваться в АТП по энергосервисным договорам



Рис. 2. Предлагаемая схема софинансирования перевода автопарка на ГМТ (на примере одного автобуса)

в пользование с последующим переходом в собственность после выплаты энергосервисных платежей, а стоимость энергосервисных мероприятий (услуги газовой компании, включающие стоимость АТС) будет уменьшена на сумму полученной субсидии. Важным преимуществом такого подхода является то, что АТП не должны будут изыскивать никаких денег для первоначального взноса, а энергосервисные платежи будут проводиться из сэкономленных в результате использования АТС на КПП операционных затрат. Кроме этого, участие газовых компаний позволит также существенно (или даже полностью) снизить нагрузку и на региональные бюджеты ввиду того, что инвестиции компаний будут полностью окупаться за счет более полной загрузки новых построенных АГНКС, что приведет к еще более активному строительству новых станций.

Цифры говорят сами за себя

Рассмотрим сценарии реализации проекта (см. рис. 1, 2) на следующем примере: АТП приобретает в лизинг 125 ед. техники стоимостью 3 551,2 тыс. руб. за 1 АТС, период лизинга 5 лет.

Существующая схема (см. рис. 1).

АТП постепенно обновляет автопарк в течение 5 лет, то есть количество техники, работающей на КПП, ежегодно увеличивается на 20 %. При этом АТП покупает АТС в лизинг у лизинговой компании с авансовым платежом 1 646,5 тыс. руб. за 1 ед. В данном случае, помимо субсидии из федерального бюджета 1 300 тыс. руб., АТП и региональная власть также оплачивают часть аванса – по 173,25 тыс. руб. от каждого участника. Более того, АТП обязуется вернуть сумму, инвестированную региональной властью, после выплаты всех лизинговых платежей.

Предлагаемая схема (см. рис. 2). Обновление автопарка происходит одновременно, а газовая компания – поставщик ГМТ – передает технику на КПП АТП по энергосервисному договору с последующим переходом ее в собственность. При этом авансовый платеж составляет только 1 300 тыс. руб. за 1 ед. и предоставляется напрямую газовой компании из федерального бюджета.

С целью корректного проведения расчетов были приняты следующие ключевые положения:

- в обоих сценариях предполагается равная сумма затрат на лизинг / энергосервисные мероприятия;

• на период действия лизинга / энергосервисного договора действует льготная цена на КПП 12 руб./м³ с НДС, после которого устанавливается целевой уровень 16 руб./м³ с НДС;

• газовая компания отвлекает собственные средства лишь на строительство АГНКС.

В табл.1.2 представлены ключевые показатели для участников проекта по двум возможным сценариям.

Таблица 1

Показатели	Существующая схема	Предлагаемая схема
	Выход на полную мощность через 5 лет, лизинговая компания приобретает АТС	Выход на полную мощность в 1-й год, газовая компания приобретает АТС
Газовая компания		
<i>Общие показатели</i>		
Инвестиции, тыс. руб. с НДС	79 069	522 969
В том числе		
АГНКС	79 069	79 069
транспортные средства	0	443 900
Объем реализации КПП (целевой уровень), тыс. м ³ /год	3 769	
Период выхода АГНКС на полную мощность, лет	5	1
Цена реализации КПП, руб./м ³ с НДС	12,0	
на период лизинга / энергосервисных мероприятий	16,0	
после перехода в собственность АТП		
Себестоимость КПП, руб./м ³ с НДС	6,5	
<i>Показатели эффективности</i>		
Простой срок окупаемости, лет	7,0	5,1
Дисконтированный срок окупаемости, лет	10,5	8,2
ЧДД к 15-му году, тыс. руб.	24 623	42 986
ВНД 15-го года, %	17,1	17,5
АТП		
<i>Общие показатели</i>		
Всего затраты, тыс. руб. с НДС	390 535	390 535
авансовый платеж (собственное участие)	21 656	0
авансовый платеж (возврат региональной части)	21 656	0
лизинговые / энергосервисные платежи	347 222	390 535
Период полного обновления парка, лет	5	1
<i>Показатели эффективности</i>		
Экономия затрат на топливо за период реализации проекта (15 лет), тыс. руб. с НДС	805 791	918 163
Период привлечения дополнительных собственных средств, лет	5	0
Потребность в дофинансировании, тыс. руб.	13 736	0

Таблица 2

Показатели	Лизинговая компания	Газовая компания
Лизинг / Энергосервисные мероприятия		
Число приобретаемых АТС, ед.	125	
<i>Удельные показатели</i>		
Инвестиции (удельный показатель), тыс. руб. с НДС	3 551,2	
В том числе, тыс. руб. с НДС		
заемные средства	1 904,7	2 251,2
авансовый платеж	1 646,5	1 300
федеральная субсидия	1 300	1 300
региональное участие	173,25	0
собственное участие	173,25 (АТП)	0
<i>Общие показатели</i>		
Инвестиции (всего), тыс. руб. с НДС	443 900	
В том числе, тыс. руб. с НДС		
заемные средства	238 088	281 400
авансовый платеж	205 813	162 500
федеральная субсидия	162 500	162 500
региональное участие	21 656	0
собственное участие	21 656	0
Лизинговые / энергосервисные платежи, тыс. руб. с НДС на 1 АТС	347 222 2 777,8	390 535 3 124,3
Период лизинга / энергосервисных мероприятий, лет	5	

Результаты, приведенные в таблицах, наглядно показывают эффективность реализации проекта по сценарию «Предлагаемая схема» как для АТП, так и для газовой компании – поставщика ГМТ.

Для АТП:

- дополнительная экономия затрат на топливо составит 112,4 млн руб. (относительно «Существующей схемы»);
- ежегодная экономия от перехода на альтернативное топливо полностью компенсирует энергосервисные платежи; для первого сценария «Существующая схема» потребность в дополнительных собственных средствах на оплату лизинговых платежей оценивается в 13,7 млн руб.

Для Газовой компании:

- дисконтированный срок окупаемости составит 8,2 года за счет полной загрузки АГНКС с момента эксплуатации;
- целевой потребитель сформирован с первого года, объем реализации топлива законтрактован под определенного клиента, что снижает риск неполной

загрузки станции за счет отсутствия спроса со стороны прочих потребителей.

Таким образом, предварительные расчеты наглядно показывают, что применение энергосервисных договоров может стать эффективным инструментом для развития российского рынка газомоторного топлива независимо от его вида – СУГ, КПП или СПГ, особенно в условиях кризисных явлений в экономике. При государственной поддержке предложенные законодательные изменения могут позволить это сделать уже в ближайшей перспективе.

При этом данные инициативы могут быть применимы не только для развития использования газа в качестве моторного топлива, но и для развития автономной газификации: газовые компании – поставщики газа – за счет собственных инвестиций в газопотребляющую инфраструктуру смогут осуществлять замещение мазута или угля газом, применяя энергосервисные договоры.

Анализ эффективности производственного процесса на АГНКС

■ **А.А. Евстифеев**, начальник лаборатории ООО «Газпром ВНИИГАЗ», к.т.н.

В статье приведены результаты обработки и анализа статистических данных, полученных с действующих станций. Проанализированы основные причины отклонения общепринятого объема единичной заправки транспортного средства компримированным природным газом, предложен подход к анализу энергетической эффективности производственного процесса на АГНКС.

Ключевые слова:

газовое моторное топливо; автомобильная газонаполнительная компрессорная станция; транспортный поток; объем единичной заправки; энергоэффективность заправки.

Многие годы одной из самых популярных в профессиональной среде специалистов по проектированию и эксплуатации автомобильных газонаполнительных станций являлась книга Васильева Ю.Н., Гриценко А.И., Чирикова К.Ю. «Газовая заправка транспорта». Следует сказать, что этот труд по праву держал пальму первенства и продолжает занимать достойное место среди научно-популярной литературы по газовому моторному топливу. Однако накопленные за последние 20 лет опыт эксплуатации и статистические данные, а также появившиеся рыночные механизмы кардинальным образом могут изменить подход к газовой заправке транспорта компримированным природным газом (КПГ). Причин этому несколько.

Во-первых, проектирование и строительство сети автомобильных газонаполнительных компрессорных станций (АГНКС) выполнялось в середине 80-х гг. прошлого века, когда основным потребителем природного газа в качестве моторного топлива считался грузовой транспорт государственных автобаз, таких как ГУП «Мосавтохолод». Основу данного парка техники составляли автоколонны средних грузовых автомобилей типа ЗИЛ-138 и МАЗ-500 [1], имеющих длину 6,675...7,5 м. Поэтому все подъезды, разворотные и поворотные площадки, ширина проездов в заправочных галереях были рассчитаны на их габаритные размеры. В настоящее время благодаря усилиям проектных институтов и компаний-производителей транспортных средств (ТС) по дорогам движутся грузовые ТС длиной 12...18 м. При необходимости проведения заправки такого автомобиля на АГНКС возникает ряд сложностей, связанных с непригодностью станций к обслуживанию длинных транспортных средств.

Во-вторых, подавляющее большинство (230 из 252) построенных и эксплуатируемых в настоящее время станций разрабатывались как стационарные объекты капитального строительства. Они не обладают возможностью передислокации на другую



площадку в случае изменения потоков движения транспортных средств.

В-третьих, заложенные при проектировании производственные мощности рассчитывались исходя из среднего объема одной заправки транспортного средства, равной 60 м³, что соответствует баллонам объемом 240 л с давлением 25 МПа. Разместить на среднем или малолитражном коммерческом автомобиле баллоны объемом 240 л достаточно проблематично. Статистика эксплуатации станций, собранная за последние годы, показывает, что средний объем заправки на АГНКС составляет от 17 до 21 м³ в районах с преобладанием легкового газомоторного транспорта (например, Ставрополь, Краснодар, Саратов) и до 45 м³ в регионах с преобладанием грузового газомоторного транспорта. Следует отдельно выделять станции, ориентированные на обслуживание одного вида грузового транспорта, например, самосвалов или мусоровозов. На таких станциях объем заправки равен объему баллонов, установленных на базовой модели. А в последние два года наметилась тенденция к увеличению численности передвижных автомобильных заправщиков (ПАГЗ), наполняемых на АГНКС. В результате средний объем заправки на АГНКС, обслуживающих ПАГЗ, составляет 150...170 м³.

В результате возникает вопрос: каков же средний объем одной заправки для АГНКС? Ответить на него однозначно можно, если предварительно проанализировать основную производственную деятельность станции, то есть определить, какой основной потребитель топлива будет заправляться. Зависимость объема единичной заправки от соотношения численности легкового и грузового транспорта представлена в табл. 1.

Таблица 1

Зависимость объема единичной заправки от соотношения легкового и грузового транспорта

Грузовой транспорт, %	Легковой транспорт, %	Объем единичной заправки, м ³
0	100	17,1
10	90	29,2
20	80	39,6
30	70	45,8
40	60	54,3
50	50	61,4

Зависимость изменения объема единичной заправки на АГНКС можно представить аналитически в виде аппроксимирующей функции:

$$f = ax^3 + bx^2 + cx + d,$$

где a, b, c, d – коэффициенты аппроксимации.

График гиперболы с коэффициентами ($a=6 \cdot 10^{-5}, b=0,0113, c=1,3087, d=17,056$), полученными в результате обработки статистических данных, приведен на рис. 1. Нижним пределом значений является 0 % грузового транспорта в потоке приходящих на заправку транспортных средств, а верхней точкой – обслуживание только грузовых транспортных средств.

По данным министерства транспорта, в настоящее время структура автомобильного парка Российской Федерации состоит из 34,4 млн легковых автомобилей (84,5 %), 5,4 млн грузовых автомобилей (13,25 %) и 0,9 млн автобусов (2,25 %). Предположив,

что объемы разовой заправки у грузового автомобиля и автобуса близки, то общая численность данного типа транспортных средств составляет не более 15,5 % общей численности ТС [2]. На рис. 1 зелеными стрелками показан фактический уровень средней заправки ТС, который при наличии в потоке среднестатистических 15,5 % грузовых автомобилей и автобусов составляет около 35 м³ природного газа.

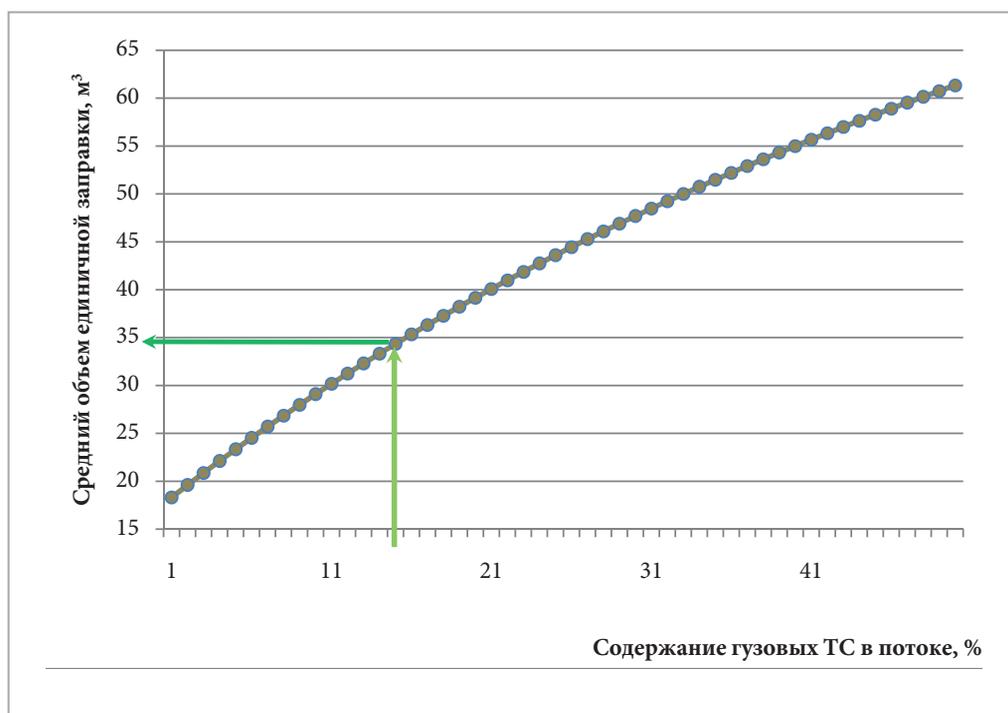


Рис. 1. График зависимости объема единичной заправки от структуры парка ТС

Использование производственных мощностей станции для заправки помимо автомобилей еще и ПАГЗов резко изменяет форму кривой единичной заправки транспорта. Она приобретает вид прямой, а тангенс угла ее наклона зависит от процентного соотношения числа заправок ПАГЗ и общего числа заправок других транспортных средств. Следует отметить, что ввиду высокой вместимости ПАГЗа заправка от шести для АГНКС 250 до одиннадцати для АГНКС 500 ПАГЗов в сутки приведет к полной загрузке станции и сделает ее недоступной для другого транспорта. Значения единичной заправки в зависимости от числа запрашиваемых ПАГЗов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Влияние заправки ПАГЗа на объем единичной заправки

Число заправок ПАГЗов в общем числе заправок на станции, %	Объем единичной заправки, м ³
0	17
0,01	52
0,02	86
0,03	119
0,04	150
0,05	183
0,06	214
0,07	244
0,08	273

Следует отметить, что использование ПАГЗов и их эффективность достойны отдельного рассмотрения, для АГНКС же они являются проблемой с точки зрения времени обслуживания клиентов и положительным фактором с точки зрения повышения рентабельности и общей загрузки станции.

Детальный анализ информационных массивов позволил выявить зависимость единичной заправки не только от структуры ТС разных видов, но и от температуры окружающей среды. На рис. 2 представлена зависимость изменения объема единичной заправки на станции от среднемесячной температуры окружающей среды.

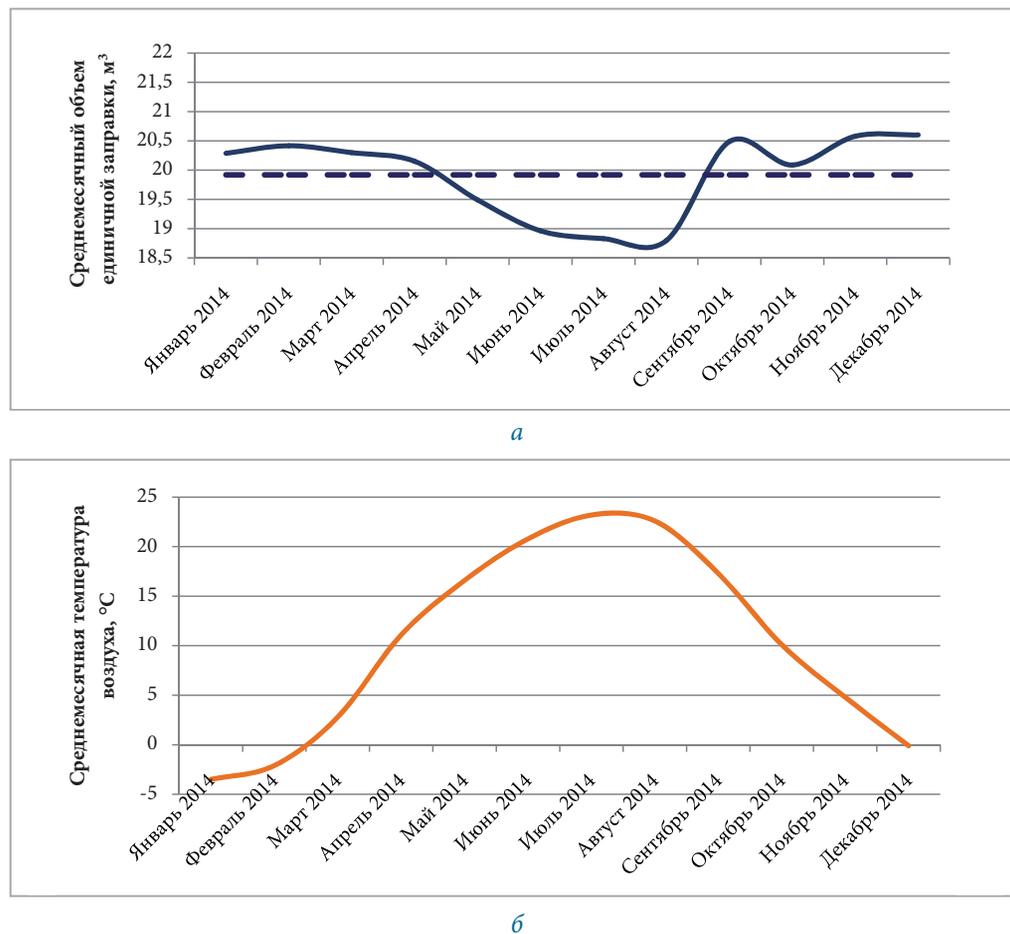


Рис. 2. График изменения объема единичной заправки на станции (а) в зависимости от среднемесячной температуры окружающей среды (б)

С повышением температуры окружающего воздуха происходит пропорциональное снижение объема единичной заправки, обусловленное в первую очередь снижением потребления топлива транспортным средством при работе в теплое время года. Эта величина составляет от 0,45 до 0,6 % среднего объема потребления при изменении температуры на градус Цельсия, то есть

$$Q_z(T) = (1 + 0,0045 \div 0,006(20 - T_t))Q_n,$$

где T_t – среднемесячная текущая температура воздуха, °C; Q_n – средний объем единичной заправки при нормальных условиях, м³.

В регионах, находящихся ниже 60-й параллели, наблюдается явно выраженная сезонность роста числа заправок в весенне-осенний период на 12...15 % и короткий всплеск их числа в декабре. Данные всплески имеют принципиально разную природу:

если весенне-осенний непосредственно связан с сельскохозяйственными работами и повышением активности населения в период отпусков (рис. 3), то декабрьский связан с ростом товарооборота перед новогодними праздниками и следующими за ними январскими каникулами.

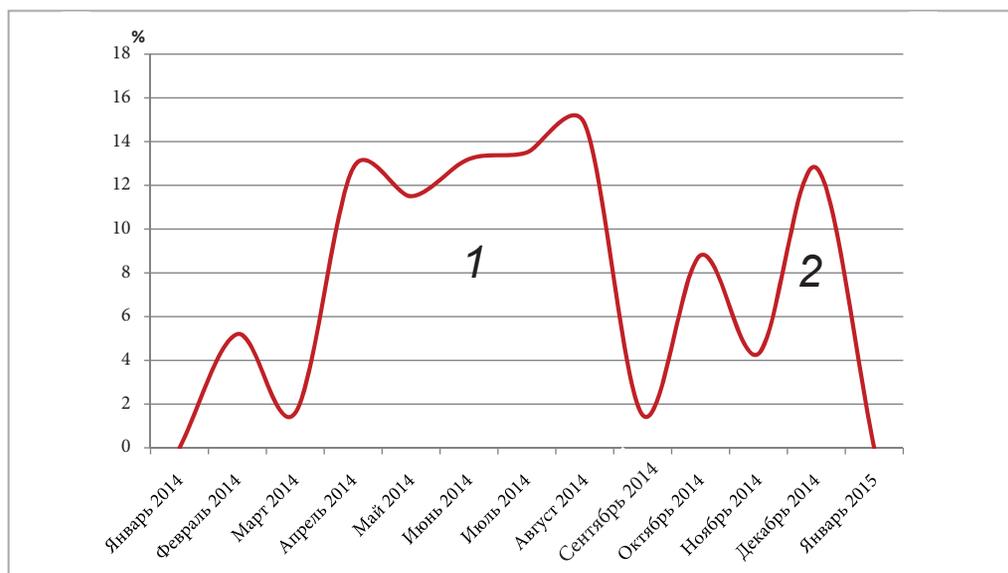
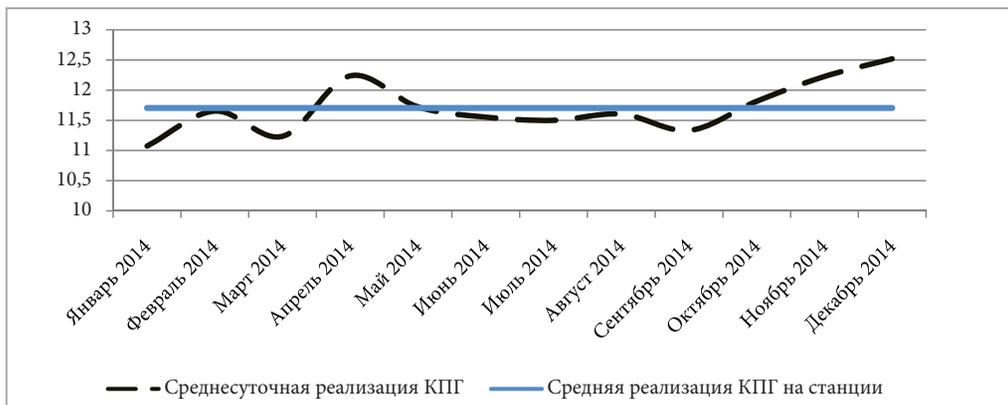


Рис. 3. График сезонной неравномерности числа заправок ТС в регионах ниже 60-й параллели: 1 – сельскохозяйственные работы; 2 – новогодний товарооборот

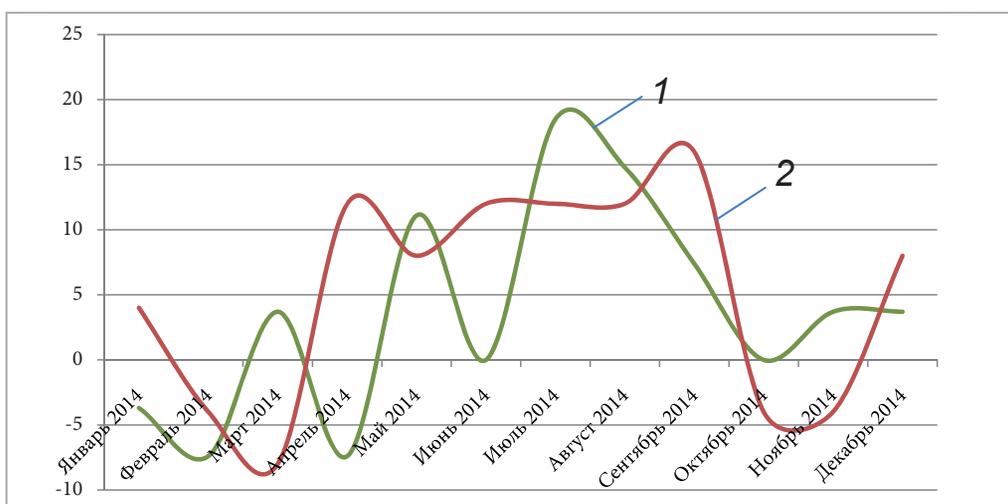
В регионах выше 60-й параллели явно выраженной сезонности использования газомоторного транспорта нет. Это вызвано отсутствием обширных сельскохозяйственных угодий и равномерным использованием транспортных средств в течение всего года.

В Российской Федерации проводятся работы по повышению энергоэффективности и энергосбережению во всех отраслях народного хозяйства [3-9]. Однако вопрос энергетической эффективности компримирования природного газа на АГНКС не попал в поле зрения выпущенных в последние годы нормативно-методических документов. На рис. 4 приведены диаграммы суточного объема реализации компримированного природного газа (КПГ) для АГНКС 250 и расходуемой при этом электрической энергии на единицу производимой продукции.

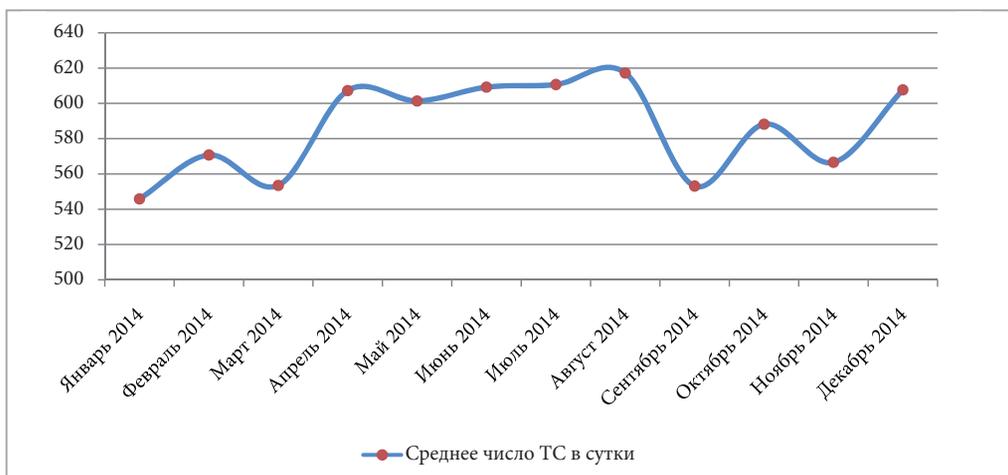
Наиболее простым способом анализа энергоэффективности производства газового моторного топлива на АГНКС является получение отклонения затрачиваемой на производство 1 м³ КПГ электрической энергии от некоего нормативного значения в процентах. Пример аналитического графика представлен на рис. 4б. Основным потребителем электрической энергии на станциях являются компрессоры. Для всех используемых в настоящее время на станциях компрессоров существует база накопленной статистической информации о нормативных уровнях энергопотребления. Большинство действующих нормативов в настоящее время укладывается в интервал 0,2...0,4 кВт·ч/м³. Проводя ежемесячный мониторинг энергопотребления, можно достаточно четко определять перерасход электроэнергии на АГНКС и стимулировать операторов и машинистов к рациональному потреблению ресурсов посредством установления лимитов на электрическую энергию, расходуемую станцией на производство 1 м³ КПГ. За экономию электроэнергии можно предусмотреть стимулирующие мероприятия финансового и административного характера.



а



б



в

Рис. 4. Анализ энергоэффективности производственного процесса на АГНКС: а – объем единичной заправки на АГНКС, м³/ТС; б – отклонение затрачиваемой на производство 1 м³ КПГ электрической энергии от нормативного потребления (1, 2 – сравниваемые станции), %; в – изменение средней численности управляемых ТС, ед.

Ключевыми факторами, влияющими на энергопотребление АГНКС, являются следующие:

- внешние – температура воздуха окружающей среды, давление на входе АГНКС, температура входящего газа, влажность входящего газа;
- внутренние – режим работы технологического оборудования (число пусков/остановов компрессоров, режим работы систем осушки газа и воздушного охлаждения), ошибки эксплуатирующего и обслуживающего персонала станции.

На графике (см. рис. 4б) приведены диаграммы отклонения от среднего нормативного значения удельного расхода электрической энергии на двух станциях, находящихся в соседних населенных пунктах Краснодарского края Российской Федерации, в течение одного года. Следует отметить, что станции являются полными аналогами по техническим характеристикам и срокам ввода в эксплуатацию, однако графики потребления электрической энергии у них очень слабо коррелированы. Проведенные исследования показывают необходимость дополнительной проработки вопросов энергоэффективности и энергосбережения на АГНКС.

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы.

1. Используемая при расчете производительности норма объема единичной заправки, равная 60 м³ КПП, для автомобильных станций общего пользования является избыточной. Среднестатистический объем единичной заправки находится в интервале от 17 до 45 м³. В работе приведена кривая и получены коэффициенты аппроксимации для аналитического получения среднего объема единичной заправки на АГНКС в зависимости от соотношения в транспортном потоке легковых и грузовых ТС.

2. При использовании АГНКС для заправки ПАГЗов необходимо предусматривать дополнительные инженерно-технические мероприятия по организации выделенных линий для их заправки или установке на станции регуляторов (делители) потока топливного газа для направления в ПАГЗы по остаточному принципу. Отсутствие регуляторов приводит к резкому росту времени заправки прочих ТС при параллельной заправке на станции ПАГЗа.

3. В регионах, расположенных ниже 60-й параллели, присутствует явно выраженная сезонная неравномерность потребления ГМТ газобаллонными транспортными средствами, составляющая до 15 % прироста транспортных средств на заправках в период с апреля по октябрь. Выше 60-й параллели сезонная неравномерность численности газобаллонных автомобилей на заправках отсутствует.

Литература

1. Шугуров Л.М. Автомобили России и СССР. Том 1. – М.: ИЛБИ, 1993. – 256 с.
2. Транспорт России. Информационно-статистический бюллетень. Январь-декабрь 2014 г. Министерство транспорта РФ. http://www.mintrans.ru/upload/iblock/5cd/stat_2014.pdf
3. Евстифеев А.А. Обеспечение муниципальных автобусных парков мегаполиса газовым моторным топливом // Газовая промышленность. – 2014. – № 2. – С. 86-89.
4. Евстифеев А.А. Математическая модель процесса заправки транспортных средств КПП на АГНКС // Транспорт на альтернативном топливе. – 2014. – № 1. – С. 24-31.
5. Евстифеев А.А. Методология рационального построения и непрерывного совершенствования региональной сети АГНКС // Транспорт на альтернативном топливе. – 2014. – № 3. – С. 53-60.
6. Хворов Г.А., Козлов С.И., Акопова Г.С., Евстифеев А.А. Сокращение потерь природного газа при транспортировке по магистральным газопроводам ОАО «ГАЗПРОМ» // Газовая промышленность. – 2013. – № 12. – С. 66-69.
7. Евстифеев А.А. Расчет надежности системы поставок газового моторного топлива потребителям // Транспорт на альтернативном топливе. – 2013. – № 4 (34). – С. 61-65.
8. 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. – Т. 2. – № 1. – С. 115.
9. Evstifeev A. Multi-Criteria Equipment Control in Complex Engineering Systems // Asian journal of applied sciences. – 2015. – Vol. 8. – i.1. – P. 86-91.

Исследование образования оксидов азота в дизелях и НССТ-двигателях

В.Г. Камалтдинов, профессор Южно-Уральского государственного университета (Челябинск), д.т.н.,

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

Представлена математическая модель процесса сгорания топлива в дизельном двигателе. С помощью разработанной модели выполнены расчетные исследования процесса сгорания гомогенной смеси воздуха и диметилового эфира. По результатам расчета проведен анализ влияния инертных составляющих рабочей смеси на параметры процесса сгорания и эмиссию оксидов азота в дизельном двигателе.

Ключевые слова:

дизельный двигатель, НССТ-двигатель, оксиды азота, дизельное топливо, природный газ, диметиловый эфир, процесс сгорания.

Рбота двигателей внутреннего сгорания (ДВС) оценивается целым комплексом эксплуатационно-технических показателей, среди которых мощностные и массогабаритные показатели, динамические и пусковые качества, показатели топливной экономичности, выбросы с отработавшими газами (ОГ) токсичных компонентов [1-3]. В настоящее время важнейшими из них являются показатели токсичности ОГ, что обусловлено как ухудшением экологической обстановки, так и ужесточением требований, предъявляемых к двигателям внутреннего сгорания современными нормативными документами на токсичность ОГ [4-6]. При этом по показателям токсичности ОГ дизельные двигатели имеют преимущество по сравнению с бензиновыми [7].

Отработавшие газы дизелей представляют собой сложную многокомпонентную смесь газов, паров, капель жидкостей и дисперсных твердых частиц. Всего ОГ ДВС включают около 280 компонентов, среди которых содержащиеся в воздушном заряде азот N_2 и кислород O_2 , продукты полного сгорания топлива (диоксид углерода CO_2 и водяной пар H_2O), вещества, образующиеся при термическом синтезе из воздуха и высоких температурах (оксиды азота NO_x), продукты неполного сгорания топлива (монооксид углерода CO , углеводороды CH , дисперсные твердые частицы, основным компонентом которых является сажа), а также оксиды серы, альдегиды, продукты конденсации и полимеризации (табл. 1) [7-9].

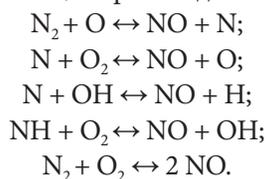
Наиболее значимыми газообразными токсичными компонентами ОГ дизелей вне зависимости от их типа, класса, размерности и конструктивных особенностей считаются оксиды азота NO_x : их доля в суммарных токсичных выбросах составляет 30...80 % по массе и 60...95 % по эквивалентной токсичности [7,10-12]. В камере сгорания (КС) дизеля химически инертный азот при повышенных давлениях и температурах выше 2000 К реагирует с кислородом воздуха,

Усредненный состав ОГ отечественных дизелей

Компонент ОГ	Концентрация в ОГ на различных режимах	Токсичные компоненты ОГ дизелей на режиме полной нагрузки	
		Концентрация, г/м ³	Удельный выброс, г/(кВт·ч)
Азот N ₂	74...78 %	–	–
Кислород O ₂	2...18 %	–	–
Водяной пар H ₂ O	0,5...9,0 %	15...100	–
Диоксид углерода CO ₂	1...12 %	40...240	–
Оксиды азота NO _x , в том числе	0,004...0,5 %	1...8	10...30
монооксид азота NO	0,004...0,5 %	1,0...4,5	6...18
диоксид азота NO ₂	0,0001...0,013 %	0,1...0,8	0,5...2,0
Монооксид углерода CO	0,005...0,4 %	0,25...2,5	1,5...12,0
Углеводороды CH	0,009...0,3 %	0,25...2,0	1,5...8,0
Бенз(а)пирен C ₂₀ H ₁₂	0,05...1,0 мкг/м ³	(0,2...0,5) · 10 ⁻⁶	(1...2) · 10 ⁻⁶
Сажа С	0,01...1,1 г/м ³	0,05...0,5	0,25...2,0
Диоксид серы SO ₂	0,0018...0,02 %	0,1...0,5	0,4...2,5
Триоксид серы SO ₃	(0,4...6) · 10 ⁻⁴ %	–	–
Альдегиды RCHO, в том числе	0,002 %	1,0...10,0	–
формальдегид HCHO	(1...19) · 10 ⁻⁴ %	–	–
акролеин CH ₂ CHCHO	(1...1,3) · 10 ⁻⁴ %	0,001...0,04	0,06...0,2

Примечание: «–» – показатель не приведен.

и образуется преимущественно монооксид азота NO. Окисляется азот за фронтом пламени в зоне образования продуктов сгорания. При этом наблюдается диссоциация молекул кислорода, азота, водорода и паров воды, продукты которой отличаются повышенной химической активностью, и происходят следующие реакции [7,9]:

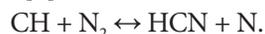


Первые две основные реакции идут по цепному механизму в соответствии с общепринятой теорией окисления азота воздуха, предложенной Я.Б. Зельдовичем, П.Я. Садовниковым и Д.А. Франк-Каменецким.

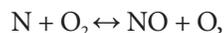
Поскольку большая часть приведенных реакций идет с поглощением теплоты, определяющее влияние на эмиссию NO с ОГ оказывает температура сгорания. Причем наибольшая концентрация NO имеет место в локальных зонах КС с низкими коэффициентами избытка воздуха α и максимальными температурами сгорания (локальные температуры газов в КС дизелей достигают 2500 К, а в КС двигателей с принудительным воспламенением – 3000 К) [4]. Наиболее интенсивно окисление азота происходит в первой фазе сгорания до момента достижения максимальной температуры процесса при углах φ поворота коленчатого вала (ПКВ) дизеля от 360 (ВМТ) до 380 °ПКВ [9]. На такте расширения охлаждение продуктов сгорания

происходит более резко, чем при естественном охлаждении с неизменным объемом. В результате резкого уменьшения температуры в процессе расширения образование NO_x прекращается (при температуре около 2000 К), происходит закалка продуктов реакций окисления азота. При дальнейшем снижении температуры изменение содержания NO_x в ОГ практически не происходит.

Рассмотренный механизм образования оксидов азота характерен для зон КС с высокой температурой и называется термическим. Наряду с «термическими» различают так называемые «быстрые» оксиды азота, образующиеся непосредственно в зоне горения в результате связывания молекул азота углеводородными радикалами, получаемыми при сгорании топлива. Основной реакцией в этом механизме является следующая [9]:



Далее образовавшийся атомарный азот быстро превращается в монооксид азота NO по реакции

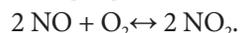


а соединение HCN переходит в монооксид азота с некоторой задержкой по схеме



Эти реакции характеризуются быстрым протеканием и слабой зависимостью от температуры сгорания. Поэтому «быстрые» оксиды азота образуются даже при сравнительно невысокой температуре сгорания (например, на режимах с неполной нагрузкой), но при повышенных концентрациях углеводородов. По данным В.А. Звонова – Г.С. Корнилова, при работе дизеля на режиме с полной нагрузкой и коэффициенте избытка воздуха $\alpha=1,8$ соотношение «термических» и «быстрых» оксидов азота составляет 72,0:28,0 %. На режимах с неполной нагрузкой при больших значениях коэффициента избытка воздуха α доля «быстрых» оксидов азота увеличивается. Так, при $\alpha=2,0$ указанное соотношение равно 69,2:30,8 %, при $\alpha=3,0$ – 55,9:44,1 %, при $\alpha=5,0$ – 37,9:62,1 %.

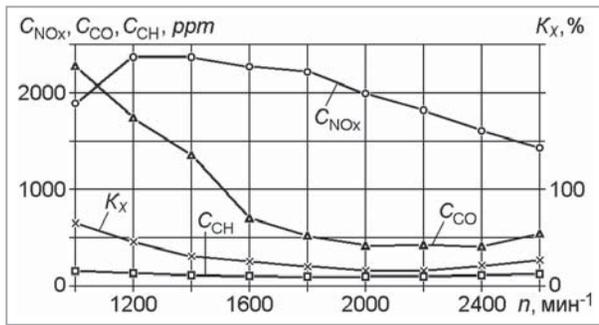
При температурах ниже 650...700 К монооксид азота NO окисляется до диоксида NO_2 в результате следующей реакции [7,8]:



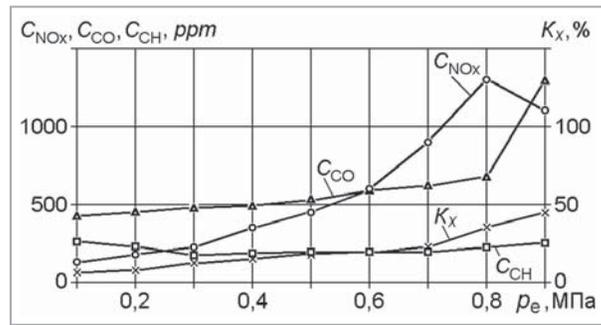
На большинстве эксплуатационных режимов быстроходных форсированных дизелей температура ОГ, как правило, выше указанных значений, поэтому из оксидов азота NO_x , содержащихся в ОГ дизелей, 80...90 % приходится на монооксид NO и 10...20 % – на диоксид NO_2 . Содержание других газообразных оксидов азота (N_2O , N_2O_3 , N_2O_4 , N_2O_5) в ОГ ничтожно мало. Монооксид азота является нестабильным компонентом – в атмосфере при нормальных условиях он окисляется до NO_2 в течение от 0,5...1,0 до 100 ч (в зависимости от концентрации в воздухе). Причем токсичность NO_2 в 7 раз выше токсичности NO.

Важными факторами, влияющими на содержание оксидов азота в ОГ дизелей, являются скоростной и нагрузочный режимы (частота вращения коленчатого вала n и среднее эффективное давление p_e , характеризующее нагрузку). Оценить это влияние можно по экспериментальным данным о дизеле типа КАМАЗ-740 (8 ЧН 12/12), приведенным на рис. 1а,б [4].

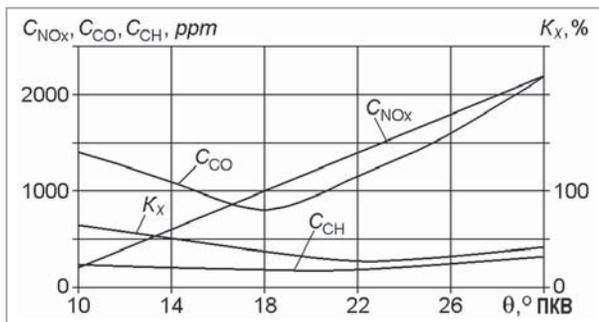
Одним из наиболее эффективных методов снижения эмиссии NO_x является регулирование угла опережения впрыскивания топлива (УОВТ) θ , что обусловлено сильной зависимостью максимальных температур сгорания от момента самовоспламенения рабочей смеси, который определяется УОВТ [7]. Об этом свидетельствуют, в частности, характеристики содержания в ОГ дизеля типа КАМАЗ-740 вредных веществ при различных УОВТ, показанные на рис. 1в [4]. В дизелях для



а



б



в

Рис. 1. Зависимость содержания в ОГ дизеля типа КАМАЗ-740 (8 ЧН 12/12) оксидов азота C_{NOx} , монооксида углерода C_{CO} , несгоревших углеводородов C_{CH} и дымности ОГ K_x от скоростного (а) и нагрузочного (б) режимов, а также от УОВТ на номинальном режиме (в)

регулирования УОВТ применяются различные устройства – муфты опережения впрыскивания топлива, устройства, встроенные в насосную секцию топливного насоса высокого давления (ТНВД), и др. [7]. В двигателях с самовоспламенением гомогенного заряда (двигатели с рабочим циклом HCCI – Homogeneous Charge Compression Ignition) регулирование момента воспламенения смеси может быть достигнуто путем добавления в нее различного количества высокоцетанового топлива, например, диметилового эфира (ДМЭ) [13].

Другим эффективным методом уменьшения выброса NO_x является разбавление свежего заряда инертными компонентами, например, диоксидом углерода CO_2 , что способствует затягиванию периода задержки воспламенения, смещению сгорания на такт расширения, уменьшению максимальных температур сгорания и эмиссии NO_x [14]. В дизелях этот эффект реализуется путем регулирования рециркуляции ОГ (возврат части ОГ в КС) дизеля [15]. Этот метод снижения выброса NO_x эффективен не только в традиционных дизелях, но и в двигателях, работающих на гомогенной рабочей смеси, – HCCI-двигателях [16-18]. Известны работы, посвященные моделированию рабочего процесса дизелей и HCCI-двигателей [19-21]. Однако недостаточно исследованным остается вопрос о закономерностях образования оксидов азота в этих двигателях. Для проведения аналитического исследования этого влияния разработана математическая модель сгорания топлива в ДВС.

Математическая модель процесса сгорания топлива в ДВС

Разработанная модель базируется на следующих основных положениях.

1. Весь процесс сгорания рассматривается как совокупность последовательных реакций окисления до диоксида углерода и воды групп активных молекул топлива, протекающих по закону Аррениуса и имеющих энергию, больше условной энергии активации при данной температуре.

2. Количество активных молекул топлива в группе, вступающих в реакцию, зависит от общего количества молекул топлива, текущей температуры смеси и условной энергии активации, изменяющейся в зависимости от доли выгоревшего топлива.

3. Условная продолжительность окисления этой группы активных молекул принимается зависящей не только от общего количества молекул топлива, но и от других важных для процесса горения параметров: объема КС, количества молекул кислорода, количества молекул инертных компонентов (азот, диоксид углерода, вода, оксид углерода и др.) и турбулентности внутри камеры сгорания.

4. Теплота, выделяющаяся при окислении каждой группы активных молекул топлива, определяется через низшую теплотворную способность топлива и расходуется на повышение температуры и давления смеси в зоне горения.

5. На каждом шаге расчета корректируется количество молекул всех веществ в результате выгорания топлива, расходования на это кислорода, образования диоксида углерода и воды, образования оксида углерода и кислорода при диссоциации, последующего окисления оксида углерода.

Согласно принятой схеме процесса сгорания топлива в ДВС его скорость определяется по выражению

$$w = \frac{dN}{dt} = \frac{Z_e}{\tau_y}, \quad (1)$$

где dN – изменение количества вещества в результате реакции; dt – интервал времени; Z_e – количество активных молекул топлива, энергия которых выше энергии активации и которые составляют группу одновременно реагирующих молекул; τ_y – условная продолжительность реакции окисления группы активных молекул топлива.

Количество активных молекул топлива определяется по закону Аррениуса

$$Z_e = Z_r e^{-\frac{E_a}{RT}}, \quad (2)$$

где Z_r – общее количество молекул топлива в рассматриваемом объеме V цилиндра двигателя; E_a – энергия активации; R – универсальная газовая постоянная; T – температура смеси.

Условная продолжительность реакции окисления группы активных молекул топлива τ_y определяется по новому выражению:

$$\tau_y = \frac{Z_r}{\text{const } K_1 K_2 V C_r^p C_{O_2}^q} = \frac{V}{\text{const } K_1 K_2 Z_r^{p-1} Z_{O_2}^q}, \quad (3)$$

где const – константа, учитывающая количество активных соударений молекул реагирующих веществ в единицу времени в единице объема; K_1 – коэффициент загазованности окислителя, учитывающий влияние инертных составляющих рабочего тела и продуктов сгорания; K_2 – коэффициент, учитывающий турбулентность внутри камеры сгорания, $K_2 \geq 1$; $C_r = Z_r/V$ и $C_{O_2} = Z_{O_2}/V$ – концентрации всех молекул топлива Z_r и кислорода Z_{O_2} в объеме V соответственно; p, q – показатели степени, причем $p+q=n$ (кинетический порядок реакции), $n=2$.

Таким образом, для получения численного значения скорости сгорания в любой момент времени достаточно определить количество активных, одновременно реагирующих группой, молекул топлива и разделить его на условную продолжительность реакции окисления этой группы.

Уточнение математической модели процесса сгорания

В модель процесса сгорания введена и проанализирована зависимость для расчета коэффициента загазованности окислителя K_1 , учитывающего влияние инертных составляющих рабочего тела и продуктов сгорания на условную продолжительность реакции окисления группы активных молекул топлива τ_r .

Коэффициент K_1 определяется по формуле, полученной на основании анализа зависимости периода задержки воспламенения топлива [22] от концентрации кислорода в окислителе (рис. 2):

$$K_1 = 1 - \left(1 - \frac{Z_{O_2}}{Z_{O_2} + Z_{N_2} + Z_{CO_2} + Z_{H_2O} + Z_{CO}} \right)^6, \quad (4)$$

где Z_{N_2} , Z_{CO_2} , Z_{H_2O} и Z_{CO} – количество молекул азота, диоксида углерода, воды и оксида углерода в расчетном объеме V соответственно.

Для возможности моделирования (при необходимости) влияния движения горючей смеси введен коэффициент турбулентности K_2 , который при моделировании НСЦИ-процесса сгорания принят равным $K_2=1$.

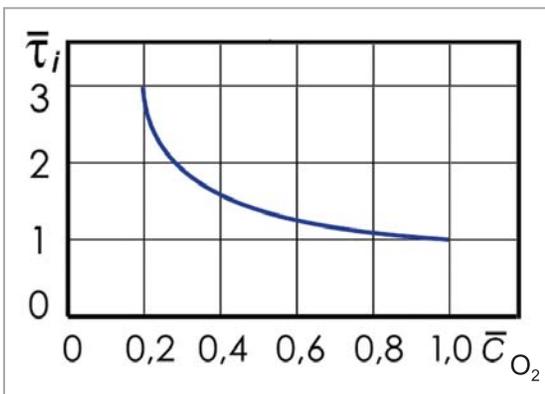


Рис. 2. Влияние концентрации кислорода в окислителе на относительную величину периода задержки воспламенения [22]

По уточненной модели выполнены расчетные исследования влияния различных параметров горючей смеси на скорость сгорания топлива. Исследования проводились на примере сгорания диметилового эфира в камере постоянного объема при следующих начальных параметрах топливно-воздушной смеси: коэффициент избытка воздуха $\alpha_v=2,0$; давление $p=1,5$ МПа; температура $T=700$ К. Объем смеси соответствовал объему КС двигателя с НСЦИ-процессом, созданного на базе двигателя типа 4 ЧН 13/15 ООО «ЧТЗ-Уралтрак» при геометрической степени сжатия 14 ед. Этот двигатель должен отвечать экологическим требованиям Евро-4 и Tier-4. Постоянный объем КС принимался для исключения влияния на процесс сгорания поджатия или расширения в результате движения поршня. В качестве топлива предложено использовать экологически чистое смесевое топливо, состоящее из ДМЭ и природного газа с массовой долей ДМЭ $\varphi_{\text{ДМЭ}}=0,27$.

Полученные результаты приведены на рис. 3-6. На рис. 3а видно, что без учета загазованности окислителя инертными газами ($K_1=1$) условная продолжительность реакции окисления группы активных молекул топлива (линия 2) в период задержки воспламенения на 25 % меньше, чем при учете загазованности окислителя коэффициентом K_1 ($K_1=\text{var}$). Это приводит к повышению частоты образования и окисления групп активных молекул топлива и, соответственно, увеличению скорости сгорания ДМЭ, определяемой по выражению (1), в первые $0,4 \cdot 10^{-3}$ секунд (рис. 4а).

По уточненной модели выполнены расчетные исследования влияния различных параметров горючей смеси на скорость сгорания топлива. Исследования проводились на примере сгорания диметилового эфира в камере постоянного объема при следующих начальных параметрах топливно-воздушной смеси: коэффициент избытка воздуха $\alpha_v=2,0$; давление $p=1,5$ МПа; температура $T=700$ К. Объем смеси соответствовал объему КС двигателя с НСЦИ-процессом, созданного на базе двигателя типа 4 ЧН 13/15 ООО «ЧТЗ-Уралтрак» при геометрической степени сжатия 14 ед. Этот двигатель должен отвечать экологическим требованиям Евро-4 и Tier-4. Постоянный объем КС принимался для исключения влияния на процесс сгорания поджатия или расширения в результате движения поршня. В качестве топлива предложено использовать экологически чистое смесевое топливо, состоящее из ДМЭ и природного газа с массовой долей ДМЭ $\varphi_{\text{ДМЭ}}=0,27$.

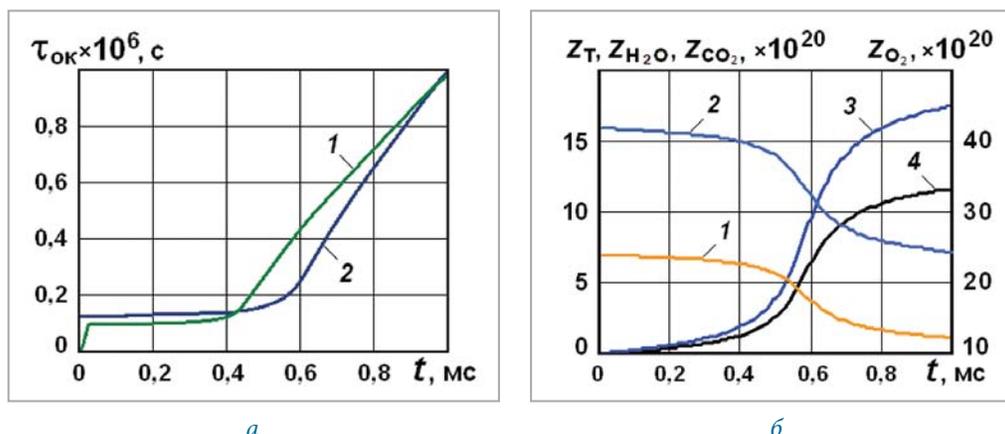


Рис. 3. Результаты расчета сгорания воздушной смеси ДМЭ в камере постоянного объема ($\alpha_b=2,0$; $p=1,5$ МПа; $T=700$ К):

a – изменение условной продолжительности окисления группы активных молекул ДМЭ при коэффициенте $K_1=1$ (1) и $K_1=var$ (2) (см. рис. 5); *б* – изменение содержания в смеси количеств молекул топлива Z_T (1), кислорода Z_{O_2} (2), воды Z_{H_2O} (3) и диоксида углерода Z_{CO_2} (4)

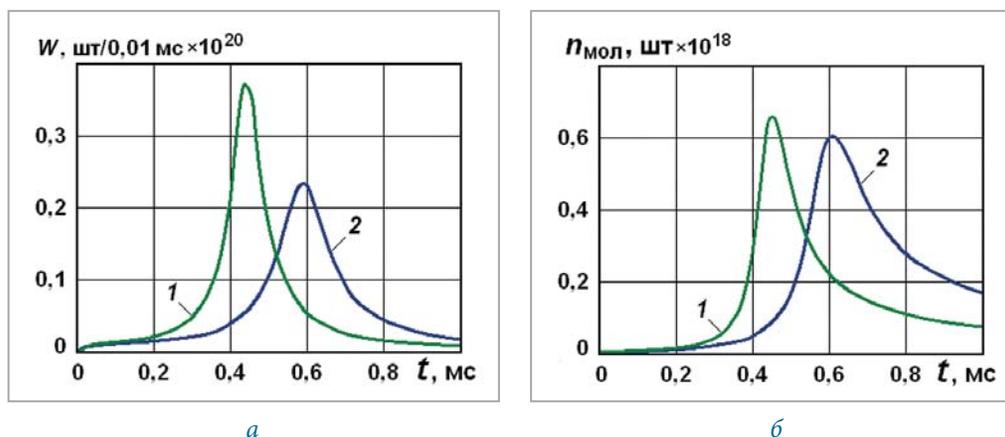


Рис. 4. Результаты расчета сгорания воздушной смеси ДМЭ в камере постоянного объема ($\alpha=2,0$; $p=1,5$ МПа; $T=700$ К):

a – изменение скорости сгорания ДМЭ; *б* – изменение количества активных молекул ДМЭ в группе; 1 – $K_1=1$; 2 – $K_1=var$ (см. рис. 5)

Характер изменения коэффициента загазованности окислителя K_1 , определяемого по выражению (4), приведен на рис. 5. Здесь видно, что в течение развития процесса сгорания и по мере увеличения инертных компонентов (Z_{CO_2} и Z_{H_2O}) в рабочем теле, изменение количества которых приведено на рис. 3б, коэффициент K_1 уменьшается от 0,74 до 0,52, то есть в 1,42 раза. В результате условная продолжительность реакции окисления группы активных молекул топлива, определенная с учетом коэффициента K_1 , не только больше на 25 % в период задержки воспламенения, но и в процессе сгорания увеличивается быстрее, чем без учета загазованности окислителя инертными газами (см. рис. 3а).

Характер изменения количества активных молекул ДМЭ в группе Z_e , определяемого по выражению (2), приведен на рис. 4б. Здесь видно, что в начальной фазе сгорания увеличение количества активных молекул ДМЭ в группе согласуется с ростом температуры смеси (рис. 6б). В дальнейшем по мере выгорания ДМЭ (уменьшение Z_T) и расходования на этот процесс молекул кислорода

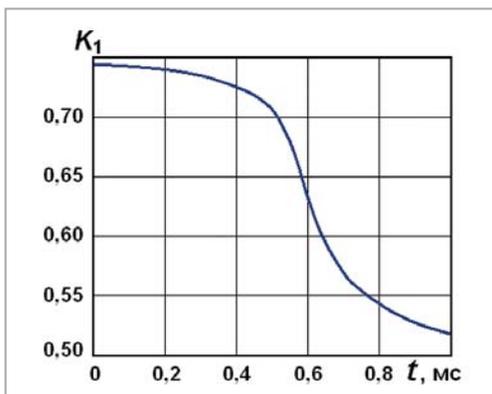


Рис. 5. Изменение коэффициента K_1 в процессе сгорания воздушной смеси ДМЭ в камере постоянного объема ($\alpha_g=2,0$; $p=1,5$ МПа; $T=700$ К)

(уменьшение Z_{O_2}) (см. рис. 3б) происходит увеличение условной продолжительности реакции окисления группы активных молекул топлива τ_y , определяемой по выражению (3) (см. рис. 3а), и снижение количества активных молекул Z_e (см. рис. 4б). Максимальная величина Z_e без учета загазованности окислителя инертными газами ($K_1=1$) достигается раньше. Это объясняется более ранним развитием процесса сгорания с соответствующим увеличением тепловыделения, давления (рис. 6а) и температуры рабочего тела (рис. 6б) в КС.

В результате развития самоускоряющейся реакции сгорания температура смеси повышается быстрее и до более высокого уровня – 2041 К (против 1944 К) за $1 \cdot 10^{-3}$ с, что приводит к увеличению максимальной скорости сгорания ДМЭ примерно в 1,6 раза.

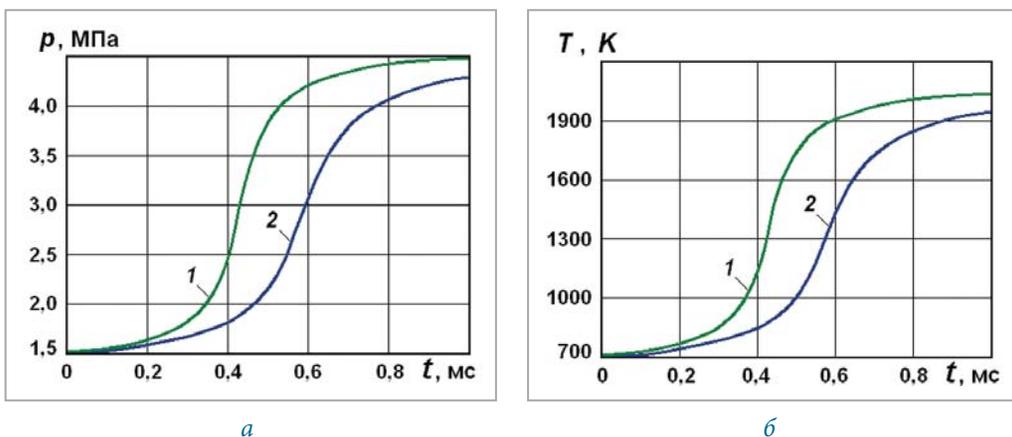


Рис. 6. Результаты расчета сгорания воздушной смеси ДМЭ в камере постоянного объема ($\alpha_g=2,0$; $p=1,5$ МПа; $T=700$ К):
а – изменение давления; б – изменение температуры; 1 – $K_1=1$; 2 – $K_1=var$ (см. рис. 5)

Далее вследствие увеличения условной продолжительности реакции окисления группы активных молекул топлива τ_y (см. рис. 3а) и снижения количества активных молекул Z_e (см. рис. 4б) несмотря на продолжающийся рост температуры (см. рис. 6б) происходит снижение скорости сгорания как в случае учета коэффициента K_1 загазованности окислителя инертными газами, так и без учета загазованности, когда $K_1=1$. Таким образом, введение коэффициента загазованности окислителя K_1 в выражение для определения условной продолжительности реакции окисления группы активных молекул топлива τ_y позволило корректировать количество активных соударений молекул реагирующих веществ (в единицу времени в единицу объема) за счет увеличения количества инертных молекул, образующихся при сгорании. В результате процесс сгорания стал более мягким и растянутым во времени – расчетный максимум скорости сгорания уменьшился примерно в 1,6 раза и сместился по времени примерно на 30 %.

Моделирование процесса диссоциации диоксида углерода

Модель диссоциации диоксида углерода, образовавшегося при сгорании топлива в цилиндре ДВС в условиях нестационарного тепло- и массообмена, включает уравнения для определения степени диссоциации для квазиравновесного состояния по рекомендациям В.В. Померанцева [23], количества молекул CO_2 , распавшихся на монооксид углерода и кислород, а также затрат энергии на этот процесс. При снижении температуры в зоне горения принимается, что процесс диссоциации идет в обратную сторону с выделением теплоты за счет окисления CO . Количество молекул диоксида углерода dZ_{CO_2} , распавшихся за шаг расчета, определяется через степень диссоциации α при текущих давлениях, температурах и составе рабочего тела.

Степень диссоциации α определяется при решении кубического уравнения

$$\alpha^3 + \alpha^2 \frac{2\beta}{1 - K_p^2 p} + \alpha \frac{(-3 - 4\beta)}{1 - K_p^2 p} + \frac{2 + 2\beta}{1 - K_p^2 p} = 0, \quad (5)$$

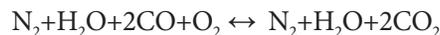
где p – давление в цилиндре; K_p – константа равновесия реакции, определяется из выражения

$$\lg K_p^2 = \frac{29791}{T} + 0,169 \cdot 10^{-3} T - \frac{0,324 \cdot 10^5}{T^2} - 9,495 \quad [24];$$

$$\beta = \frac{N_{\text{N}_2} + N_{\text{H}_2\text{O}}}{N_{\text{CO}_2}} \quad - \text{отношение суммарного числа молей азота } N_{\text{N}_2} \text{ и воды } N_{\text{H}_2\text{O}} \text{ к}$$

суммарному числу молей диоксида углерода N_{CO_2} .

Уравнение (5) получено для реакции



после установления равновесия. Обозначим $N_{\text{CO}_2}^0$ – количество молей CO_2 в исходной смеси, $N_{\text{N}_2}^0$ – количество молей азота в исходной смеси. Тогда

$$N_{\text{CO}} = \alpha N_{\text{CO}_2}^0, \quad N_{\text{CO}_2} = (1 - \alpha) N_{\text{CO}_2}^0, \quad N_{\text{O}_2} = \frac{\alpha}{2} N_{\text{CO}_2}^0, \quad \beta = \frac{N_{\text{N}_2}^0 + N_{\text{H}_2\text{O}}}{N_{\text{CO}_2}^0}.$$

Суммарное число молей после частичной диссоциации CO_2 определяется выражением

$$N_{\Sigma} = N_{\text{CO}_2} + N_{\text{CO}} + N_{\text{O}_2} + N_{\text{N}_2}^0 + N_{\text{H}_2\text{O}} = \left[(1 - \alpha) + \alpha + \frac{\alpha}{2} + \beta \right] N_{\text{CO}_2}^0 = \left(1 + \frac{\alpha}{2} + \beta \right) N_{\text{CO}_2}^0.$$

Мольные доли основных компонентов реакции обозначаются следующим образом:

$$x_{\text{CO}_2} = \frac{N_{\text{CO}_2}}{N_{\Sigma}} = \frac{1 - \alpha}{1 + \alpha/2 + \beta}; \quad x_{\text{CO}} = \frac{\alpha}{1 + \alpha/2 + \beta}; \quad x_{\text{O}_2} = \frac{\alpha/2}{1 + \alpha/2 + \beta}; \quad x_{\text{N}_2} = \frac{\beta}{1 + \alpha/2 + \beta}.$$

Для реакции $\text{CO} + 1/2 \text{O}_2 \leftrightarrow \text{CO}_2$ справедливо уравнение [23]

$$\frac{x_{\text{CO}_2} x_{\text{N}_2}}{x_{\text{CO}} x_{\text{O}_2}^{1/2} x_{\text{N}_2}} = K_p / P^{1+1-(1+1/2+1)} = K_p / P^{-1/2} = K_p / P^{1/2}$$

После его преобразования получаем

$$\frac{(1-\alpha)(1+\alpha/2+\beta)(1+\alpha/2+\beta)^{1/2}}{(1+\alpha/2+\beta)\alpha(\alpha/2)^{1/2}} = K_p / P^{1/2}$$

и далее уравнение (5).

Затраты энергии на диссоциацию этих молекул CO_2 определяются по выражению

$$dQ_d = dZ_{\text{CO}_2} \mu_{\text{CO}_2} A_0 E_d,$$

где μ_{CO_2} – молекулярная масса диоксида углерода; E_d – энергия, затрачиваемая на диссоциацию одной молекулы CO_2 .

График изменения расчетной степени диссоциации CO_2 , определенный по выражению (5), в зависимости от температуры приведен на рис. 7. Он построен по результатам расчета процесса сгорания метановоздушной смеси в камере постоянного объема при коэффициенте избытка воздуха $\alpha_b=0,807$, давлении $p=2,5$ МПа, температуре $T=1250$ К и хорошо согласуется с данными работы [23]. На рассматриваемом режиме достигается максимальная температура сгорания 3100 К при повышении давления до 6,28 МПа и максимальная степень диссоциации $\alpha=0,357$. Присутствие инертных добавок в метановоздушной смеси в виде молекул азота и воды заметно увеличивает степень диссоциации CO_2 , что проявляется в приближении расчетной кривой 4, построенной для давления от 2,5 до 6,28 МПа, к кривой 2, построенной для давления 0,1 МПа.

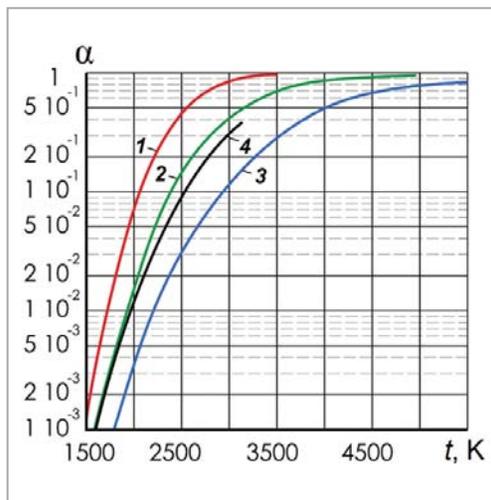


Рис. 7. Зависимость степени диссоциации диоксида углерода от температуры и давления:

1 – $p=0,001$ МПа; 2 – $p=0,1$ МПа;
3 – $p=10$ МПа без инертных добавок [23];
4 – расчетная кривая по выражению (5), полученная при повышении давления от 2,5 до 6,28 МПа с инертными добавками

рой становится заметной степень диссоциации CO_2 (0,01...0,02) (см. рис. 8), определенная по разработанной модели, практически совпадает с температурой (2150...2200 К), при которой начинает образовываться NO_x (рис. 9-11) [25-27]. Это указывает на связь процессов диссоциации CO_2 и образования NO_x . Причем диссоциация CO_2 происходит независимо от присутствия азота в горючей смеси. Для протекания этого процесса требуется лишь высокая температура горения.

Важность учета степени диссоциации CO_2 при сгорании смесей с коэффициентом избытка воздуха $\alpha < 2,5$ показана на рис. 8. Здесь видно, что при температурах сгорания, близких к 1800 К и ниже (T_{max} менее 1800 К), исключение учета диссоциации CO_2 и затрат на это энергии практически не влияет на результаты расчета: повышения максимальной температуры сгорания не происходит ($\Delta T_{\text{max}}=0$). При максимальных температурах более 2000 К степень диссоциации становится заметной и превышает 0,01. В результате затраты энергии на этот процесс существенно снижают максимальную температуру сгорания. Если не учитывать степень диссоциации CO_2 , то прирост максимальной температуры ΔT_{max} при сгорании ДМЭ может достигать 170 К, а при сгорании метана – до 290 К, что составляет 6,3 и 10 % соответственно. Здесь следует отметить, что уровень температуры сгорания (2100...2200 К), при кото-

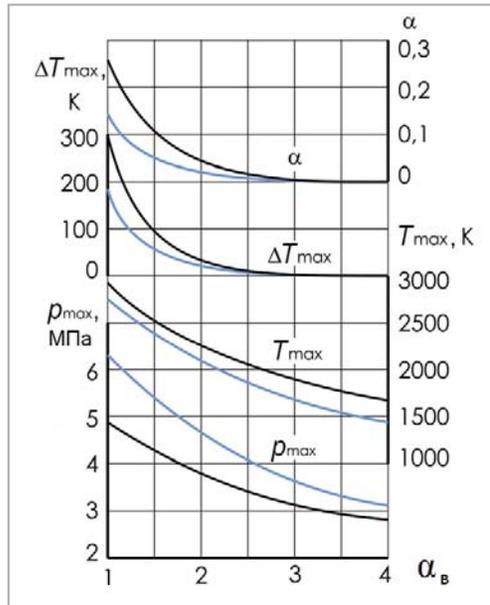


Рис. 8. Влияние состава воздушных смесей метана и ДМЭ на параметры процесса сгорания в камере постоянного объема: 1 – метановоздушная смесь ($p=1,5$ МПа, $T=900$ К); 2 – ДМЭ-воздушная смесь ($p=1,5$ МПа, $T=700$ К); ΔT_{\max} – повышение максимальной температуры смеси при отсутствии диссоциации

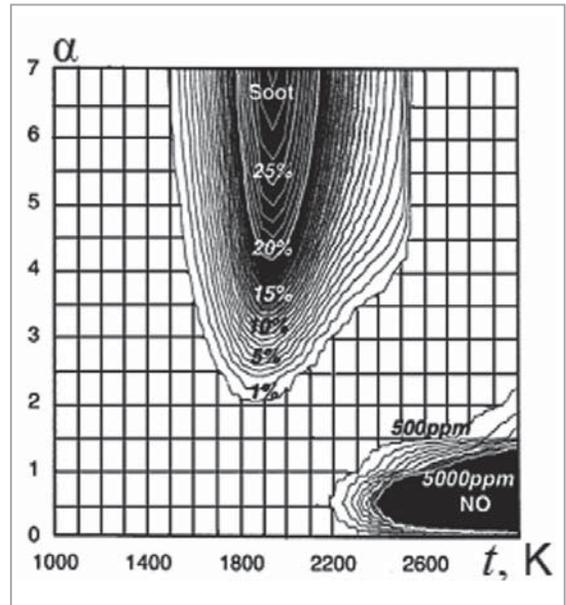


Рис. 9. Зависимость образования твердых частиц и содержания NO_x в ОГ от воздушного соотношения и температуры пламени [26]

Для образования NO_x , кроме высокой температуры, требуется присутствие молекул кислорода. Очевидно, что чем активнее будут молекулы (атомы) кислорода, тем интенсивнее будет процесс образования NO_x . Отсюда вытекает, что атомарный кислород, выделяющийся при диссоциации CO_2 , будет активно реагировать с молекулами азота с образованием NO_x . Следовательно процесс диссоциации CO_2 способствует образованию NO_x . Тогда однозначно прослеживается связь между повышением максимальной температуры сгорания в цилиндре, увеличением степени диссоциации CO_2 и повышением содержания NO_x в ОГ ДВС.

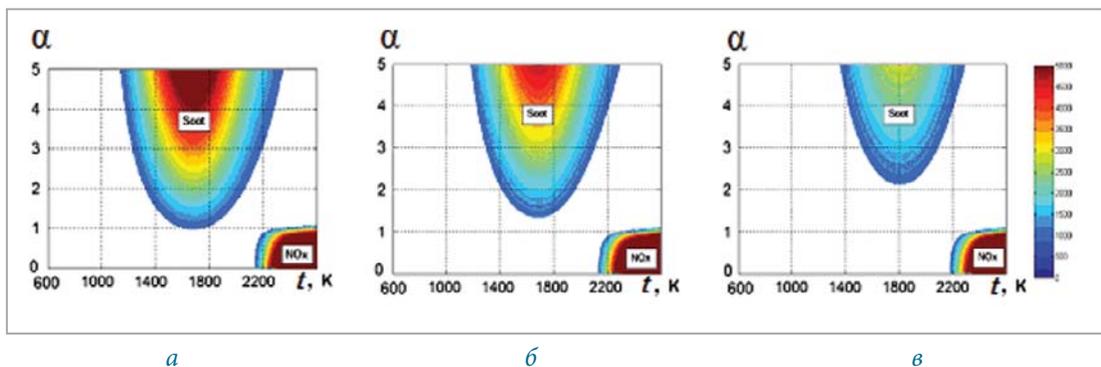


Рис. 10. Зависимость образования твердых частиц (Soot) и выделения NO_x , полученная с помощью фундаментальной (углубленная) кинетики реакций сгорания, от воздушного соотношения и температуры пламени при различных массовых долях кислорода: а – 0,233; б – 0,153; в – 0,073; концентрация NO_x в ppm [27]

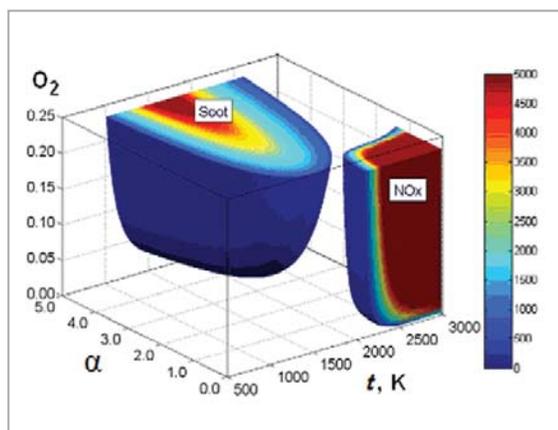


Рис. 11. Трехмерное представление зависимости образования твердых частиц и NO_x от воздушного соотношения, температуры пламени и массовой доли кислорода; концентрация NO_x в ppm [27]

Как показывают расчетные данные рис. 8, учет степени диссоциации CO_2 позволяет точнее определять температуру сгорания, что особенно важно с точки зрения образования NO_x . На рис. 9-11 видно, что при температуре горения выше 2200 К образование NO_x резко увеличивается, и уже при температуре 2400 К их концентрация достигает уровня 5000 ppm. Поэтому для обеспечения малотоксичного рабочего цикла НССИ важно ограничивать максимальную температуру сгорания на уровне 2150...2200 К.

Таким образом, моделирование процесса диссоциации CO_2 , образующегося при сгорании топлива, с учетом затрат энергии на этот процесс позволяет точнее определять максимальную температуру сгорания в цилиндре и контролировать ее на уровне 2150 К, практически исключая образование NO_x .

Литература

1. Двигатели внутреннего сгорания: Устройство и работа поршневых и комбинированных двигателей / В.П. Алексеев, В.Ф. Воронин, Л.В. Грехов и др. Под ред. А.С. Орлина, М.Г. Круглова. – М.: Машиностроение, 1990. – 288 с.
2. Машиностроение. Энциклопедия. Том IV. Двигатели внутреннего сгорания / Л.В. Грехов, Н.А. Иващенко, В.А. Марков и др. Под ред. А.А. Александрова, Н.А. Иващенко. – М.: Машиностроение, 2013. – 784 с.
3. Грехов Л.В., Иващенко Н.А., Марков В.А. Топливная аппаратура и системы управления дизелей. – М.: Легион-Автодата, 2005. – 344 с.
4. Кульчицкий А.Р. Токсичность автомобильных и тракторных двигателей. – Владимир: Изд-во Владимирского государственного университета, 2000. – 256 с.
5. Горбунов В.В., Патрахальцев Н.Н. Токсичность двигателей внутреннего сгорания. – М.: Изд-во РУДН, 1998. – 216 с.
6. Оценка и контроль выбросов дисперсных частиц с отработавшими газами дизелей / В.А. Звонов, Г.С. Корнилов, А.В. Козлов и др. – М.: Прима-Пресс-М, 2005. – 312 с.
7. Марков В.А., Баширов Р.М., Габитов И.И. Токсичность отработавших газов дизелей. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 376 с.
8. Лиханов В.А., Сайкин А.М. Снижение токсичности автотракторных дизелей. – М.: Колос, 1994. – 224 с.
9. Звонов В.А. Токсичность двигателей внутреннего сгорания. – М.: Машиностроение, 1981. – 160 с.
10. Смайлис В.И. Современное состояние и новые проблемы экологии дизелестроения // Двигателестроение. – 1991. – № 1. – С. 3-6.
11. Kind W., Jacob E., Muller W. NO_x – Verminderung bei Dieselmotoren // MTZ. – 2001. – Jg.62. – № 1. – S. 70-78.

12. Needham J.R., Doyle D.M., Nicol A.J. The Low NO_x Truck Engine // SAE Technical Paper Series. – 1991. – № 910731. – P. 1-10.
13. Гусаков С.В., Махмуд Мохамед Эльгобаши Эльхагар. Управление моментом воспламенения в двигателе с самовоспламенением от сжатия путем добавления диметилэфира при работе на СПГ // Транспорт на альтернативном топливе. – 2009. – № 4. – С. 22-27.
14. Камалтдинов В.Г., Марков В.А. Влияние содержания инертных компонентов в рабочей смеси на процесс сгорания в двигателях с воспламенением от сжатия // АГЗК+АТ. – 2013. – № 10. – С. 24-31.
15. Марков В.А., Сиротин Е.А. Управление рециркуляцией отработавших газов в транспортных дизелях // Вестник МГТУ. – 2002. – № 4. – С.85-97.
16. Гусаков С.В., Махмуд Мохамед Эльгобаши Эльхагар, Епифанов И.В. Оценка влияния ДМЭ в смеси с природным газом на работу ДВС с гомогенным самовоспламенением // Транспорт на альтернативном топливе. – 2010. – № 2. – С. 10-13.
17. Kong S.C. A study of natural gas/DME combustion in HCCI engines using CFD with detailed chemical kinetics // Fuel. –2007. – Vol. 86. – P. 1483-1489.
18. Chen Z., Konno M., Oguma M., Yanai T. Experimental study of CI natural-gas/DME homogeneous charge engine // SAE Technical Paper Series. – 2000. – № 2000-01-0329. – P. 1-10.
19. Ramos J.I. Internal combustion engine modeling. – New York: HPB, 1984. – 422 p.
20. Kuleshov A.S. Model for Predicting Air-Fuel Mixing, Combustion and Emissions in DI Diesel Engines over Whole Operating Range // SAE Technical Paper Series. – 2005. – № 2005-01-2119. – P. 1-10.
21. Злотин Г.Н., Федянов Е.А., Иткис Е.М., Кузьмин В.Н. Математическое моделирование индикаторного процесса в двигателе с самовоспламенением от сжатия гомогенной метановоздушной смеси // Сб. науч. трудов междунар. конф. «Двигатель-2007», посвященной 100-летию школы двигателестроения МГТУ им. Н.Э. Баумана. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2007. – С. 57-61.
22. Дубовкин Н.Ф. Справочник по теплофизическим свойствам углеводородных топлив и их продуктам сгорания. – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1962. – 288 с.
23. Основы практической теории горения: Учебное пособие / под ред. В.В. Померанцева. – Л.: Энергия, 1973. – 263 с.
24. Краткий справочник физико-химических величин / под ред. А.А. Равделя и А.М. Пономаревой. – 8-е изд., перераб. – Л.: Химия, 1983. – 232 с.
25. Kitamura T., Ito T., Kitamura Y., Ueda M., Senda J., Fujimoto H. Soot kinetic modeling and empirical validation on smokeless diesel combustion with oxygenated fuels // SAE Technical Paper Series. – 2003. – № 2003-01-1789.
26. Suyin G., Hoon Kiat N., Kar Mun P. Homogeneous Charge Compression Ignition (HCCI) combustion: Implementation and effects on pollutants in direct injection diesel engines // Applied Energy. – 2011. – Vol. 88. – P. 559-567.
27. Gao Z. Using a phenomenological computer model to investigate advanced combustion trajectories in a CIDI engine / Z. Gao, R.M. Wagner, C.S. Sluder, C.S. Daw, J.B. Green Jr. // Fuel. – 2011. – Vol. 90. – P. 1907-1918.

Тепловые режимы автомобильного баллона с полимерным лейнером при закачке и расходе метана

47

С.Ю. Белоусова, ведущий инженер ЗАО НПП «Маштест»,
В.С. Зарубин, профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана, д.т.н.,
Е.Н. Крылов, заместитель генерального директора ЗАО НПП «Маштест»,
Я.Г. Осадчий, генеральный директор ЗАО НПП «Маштест», д.т.н.

Статья является продолжением работ [1, 2, 3].

Разработана математическая модель тепловых процессов в автомобильном баллоне с полимерным лейнером при закачке и расходе метана. Эта модель в сочетании с вариантом уравнения состояния метана, наиболее близко коррелирующим с экспериментальными данными, использована для расчета изменения его температуры и элементов конструкции баллона при различных темпах закачки и расхода метана. Установлена связь параметров, определяющих режим закачки, с конечной массой метана в баллоне, а также выявлено влияние исходного состояния метана в баллоне на изменение во времени температур метана и элементов конструкции баллона при его опорожнении.

Ключевые слова:

тепловая модель, баллон с полимерным лейнером,
уравнение состояния метана.

Автомобильные баллоны с полимерным лейнером и силовой оболочкой из композиционного материала относят к четвертому конструктивному типу [4]. Одна из особенностей таких баллонов в отличие от баллонов трех остальных конструктивных типов состоит в том, что находящийся в них метан, составляющий основную часть используемого на транспорте сжатого природного газа (КПГ), отделен в тепловом отношении от внешней среды дополнительным, достаточно существенным по своей величине термическим сопротивлением, которым обладает полимерный лейнер. Эта особенность вызывает заметное отличие теплового режима баллона четвертого конструктивного типа при его заполнении метаном и при расходе метана от теплового режима баллонов второго и третьего типов с металлическими лейнерами, армированными по обечайке или по всей поверхности лейнера композиционным материалом. Еще более значительно отличие теплового режима такого баллона по сравнению с полностью металлическим баллоном первого конструктивного типа.

Учет термического сопротивления лейнера потребовал модификации ранее разработанной модели тепловых процессов в баллонах первых трех конструктивных типов [1] применительно к баллону с полимерным лейнером, что привело к ее усложнению, но позволило при ее количественном анализе получить достаточно полное

представление о тепловом режиме баллона с полимерным лейнером. В частности, модифицированная модель тепловых процессов дала возможность установить при заполнении баллона с полимерным лейнером связь темпа заполнения, параметров метана перед входом в баллон и температуры окружающего воздуха с конечной массой метана в баллоне при фиксированном конечном давлении.

Тепловая модель баллона с полимерным лейнером

Модифицируем ранее разработанную тепловую модель [1] применительно к баллону вместимостью $V=0,05 \text{ м}^3=50 \text{ л}$ с лейнером из высокоплотного полиэтилена низкого давления марки 273–79 [5]. Осевое сечение этого баллона представлено на рис. 1.

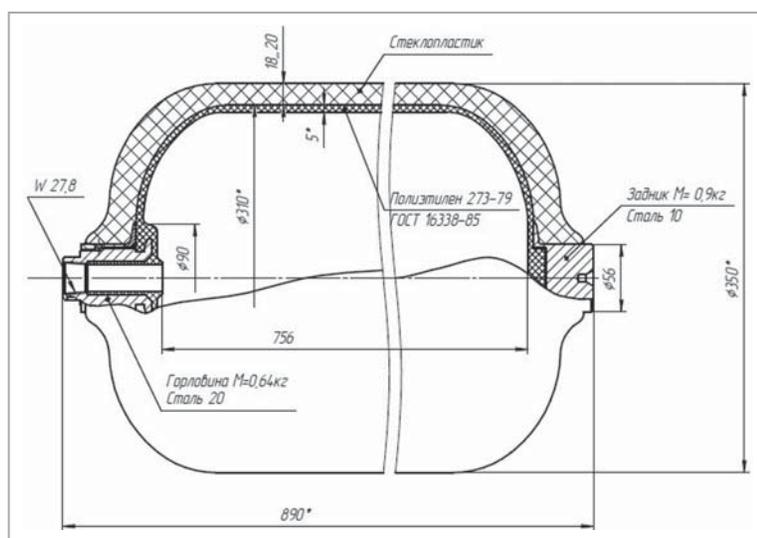


Рис. 1. Осевое сечение баллона с полимерным лейнером

На первом этапе построения тепловой модели рассматриваемого баллона необходимо выделить в его конструкции отдельные элементы и вычислить полные теплоемкости сосредоточенных теплоемких масс, соответствующих этим элементам. В конструкции баллона выделим в качестве составных элементов обечайку и днища полимерного лейнера, армирующие слои из стеклопластика на обечайке и днищах лейнера, а также стальные горловину и пробку в днищах. Кроме того, в модели необходимо учесть в виде сосредоточенной теплоемкой массы находящийся в баллоне метан. Каждой теплоемкой массе на расчетной схеме тепловой модели (рис. 2) соответствует светлый кружок, около которого указана полная теплоемкость выделенного элемента и его температура: C и T соответствуют метану, C_1 и T_1 – обечайке полимерного лейнера, C_2, T_2 и C_3, T_3 – соответственно его левому и правому днищам, C'_1 и T'_1 – армирующему слою из стеклопластика на обечайке лейнера, C'_2, T'_2 и C'_3, T'_3 – стеклопластиковым армирующим слоям соответственно на левом и правом днищах лейнера. Необходимо отметить, что полная теплоемкость метана $C=c \cdot m$ зависит от его температуры T в силу зависимости от T его изохорической теплоемкости c_v и, кроме того, может существенно изменяться в процессе заполнения или опорожнения баллона в силу изменения массы m метана.

Указанные обозначения совпадают с принятыми при построении тепловой модели баллона третьего конструктивного типа с металлическим лейнером [1]. Тогда полные теплоемкости пробки и переходника в горловине были присоединены к полным теплоемкостям соответствующих днищ лейнера, поскольку были сравнительно малы. Для рассматриваемого баллона четвертого конструктивного типа полные теплоемкости C_4 вкладыша горловины в левом днище и C_5 вкладыша с пробкой в правом днище (см. рис. 1) сопоставимы с полными теплоемкостями C_2 и C_3 днищ полимерного лейнера. Поэтому сосредоточенные теплоемкие массы с температурами T_4 горловины и T_5 пробки в расчетной схеме тепловой модели этого баллона целесообразно представить отдельно от сосредоточенных теплоемких масс днищ лейнера.

Стальной штуцер горловины в левом днище баллона с температурой T_4 и полной теплоемкостью C_4 контактирует с метаном в полости баллона лишь по цилиндрической поверхности внутреннего канала (см. рис. 1), что на рис. 2 отражено введением термического сопротивления R_4^* . В тепловом отношении штуцер также связан с левым днищем лайнера термическим сопротивлением R_{24} , с армирующим слоем на этом днище – термическим сопротивлением R_4 , а с окружающим воздухом – термическим сопротивлением R_{04} . Кроме этого, необходимо учитывать тепловую связь этого штуцера с окружающим воздухом и метаном в присоединенном к баллону трубопроводе, осуществляемую через стенки этого трубопровода. Если представить трубопровод как достаточно длинный тонкий полый стержень, температура торца которого совпадает с температурой T_4 штуцера, то путем решения соответствующей задачи теплопроводности в таком стержне можно определить термическое сопротивление \tilde{R}_{04} между штуцером и узловой точкой с приведенной температурой \tilde{T}_0 , зависящей от температуры T_0 окружающего воздуха и температуры метана в трубопроводе, а также от интенсивности теплообмена на внешней и внутренней поверхностях этого трубопровода.

Стальная пробка в правом днище баллона с температурой T_5 и полной теплоемкостью C_5 (см. рис. 2) непосредственно не контактирует с метаном в полости баллона, так как отделена от метана утолщенным дискообразным элементом правого днища полиэтиленового лайнера (см. рис. 1). Поскольку предварительные оценки показали, что влияние тепловой связи метана с окружающим воздухом через этот элемент лайнера и стальную пробку достаточно велико, дискообразный элемент был выделен в тепловой модели в самостоятельную теплоемкую массу с температурой T_6 и полной теплоемкостью C_6 . С пробкой этот элемент в тепловом отношении связан термическим сопротивлением R_{56} , а с метаном – последовательно соединенными термическими сопротивлениями R_6^* и R_6 , между которыми введена узловая точка с температурой T_6^* , соответствующей температуре поверхности дискообразного элемента, контактирующей с метаном. Помимо этого, указанный элемент связан с остальной частью правого днища лайнера термическим сопротивлением R_{36} . Тепловую связь пробки с армирующим слоем на правом днище определяет термическое сопротивление R_5 , а с окружающим воздухом – термическое сопротивление R_{05} .

При вычислении полных теплоемкостей выделенных на рис. 2 теплоемких масс были приняты значения масс обечайки лайнера 2,9 кг, каждого из днищ лайнера по 0,8 кг, армирующего слоя на обечайке лайнера 29,2 кг, каждого из армирующих слоев на днищах лайнера по 6,4 кг, штуцера в горловине 0,64 кг, пробки 0,9 кг, дискообразного элемента лайнера, отделяющего метан от пробки, 0,043 кг и значения удельных массовых теплоемкостей полиэтилена 2500 Дж/(кг · К), стеклопластика 1200 Дж/(кг · К) и стали 500 Дж/(кг · К). Масса $m=pV$ метана в баллоне зависит через плотность ρ метана от его давления p и температуры T . В расчетах использована зависимость $\rho(p, T)$, которая следует из уточненного варианта уравнения состояния метана [6]. Этот вариант наиболее близко коррелирует с экспериментальными данными. В работе [6] приведены также зависимость изохорической теплоемкости c_v метана от параметров его состояния и необходимые для расчета интенсивности теплообмена в полости баллона аналогичные зависимости теплопроводности и вязкости метана.

Для вычисления термических сопротивлений в тепловой модели помимо геометрических размеров конструктивных элементов баллона использованы коэффициенты теплопроводности полиэтилена 0,36 Вт/(м · К) и стеклопластика 0,43 Вт/(м · К). Поскольку коэффициент теплопроводности стали на два порядка выше по сравнению

с полиэтиленом и стеклопластиком, термическое сопротивление штуцера и пробки не учитывалось. Коэффициенты теплообмена в полости баллона и на его внешней поверхности определены по методике, представленной в работе [2].

Система уравнений тепловой модели баллона

Изменение во времени t температур выделенных на рис. 2 десяти теплоемких масс описывает система уравнений теплового баланса [7, 8]. Эти уравнения образуют систему из десяти обыкновенных дифференциальных уравнений

$$\left. \begin{aligned}
 C \frac{dT}{dt} &= W + zRT\dot{m} + \frac{T_1 - T}{R_1 + R_1^*} + \frac{T_2 - T}{R_2 + R_2^*} + \frac{T_3 - T}{R_3 + R_3^*} + \frac{T_4 - T}{R_4^*} + \frac{T_6 - T}{R_6 + R_6^*}, \\
 C_1 \frac{dT_1}{dt} &= \frac{T - T_1}{R_1 + R_1^*} + \frac{T_1' - T_1}{R_1'} + \frac{T_2 - T_1}{R_{12}} + \frac{T_3 - T_1}{R_{13}}, \\
 C_1' \frac{dT_1'}{dt} &= \frac{T_1 - T_1'}{R_1'} + \frac{T_0 - T_1'}{R_1'' + R_{01}} + \frac{T_2' - T_1'}{R_{12}'} + \frac{T_3' - T_1'}{R_{13}'}, \\
 C_2 \frac{dT_2}{dt} &= \frac{T - T_2}{R_2 + R_2^*} + \frac{T_2' - T_2}{R_2'} + \frac{T_1 - T_2}{R_{12}} + \frac{T_4 - T_2}{R_{24}}, \\
 C_2' \frac{dT_2'}{dt} &= \frac{T_2 - T_2'}{R_2'} + \frac{T_1' - T_2'}{R_{12}'} + \frac{T_4 - T_2'}{R_4} + \frac{T_0 - T_2'}{R_2'' + R_{02}}, \\
 C_3 \frac{dT_3}{dt} &= \frac{T - T_3}{R_3 + R_3^*} + \frac{T_1 - T_3}{R_{13}} + \frac{T_3' - T_3}{R_3'} + \frac{T_6 - T_3}{R_{36}}, \\
 C_3' \frac{dT_3'}{dt} &= \frac{T_3 - T_3'}{R_3'} + \frac{T_1' - T_3'}{R_{13}'} + \frac{T_5 - T_3'}{R_5} + \frac{T_0 - T_3'}{R_3'' + R_{03}}, \\
 C_4 \frac{dT_4}{dt} &= \frac{T - T_4}{R_4^*} + \frac{T_2 - T_4}{R_{24}} + \frac{T_2' - T_4}{R_4} + \frac{T_0 - T_4}{R_{04}} + \frac{\tilde{T}_0 - T_4}{\tilde{R}_{04}}, \\
 C_3' \frac{dT_3'}{dt} &= \frac{T_3 - T_3'}{R_3'} + \frac{T_1' - T_3'}{R_{13}'} + \frac{T_5 - T_3'}{R_5} + \frac{T_0 - T_3'}{R_3'' + R_{03}}, \\
 C_4 \frac{dT_4}{dt} &= \frac{T - T_4}{R_4^*} + \frac{T_2 - T_4}{R_{24}} + \frac{T_2' - T_4}{R_4} + \frac{T_0 - T_4}{R_{04}} + \frac{\tilde{T}_0 - T_4}{\tilde{R}_{04}}, \\
 C_5 \frac{dT_5}{dt} &= \frac{T_3' - T_5}{R_5} + \frac{T_6 - T_5}{R_6} + \frac{T_0 - T_5}{R_{05}}, \\
 C_6 \frac{dT_6}{dt} &= \frac{T - T_6}{R_6 + R_6^*} + \frac{T_3 - T_6}{R_{36}} + \frac{T_5 - T_6}{R_6}.
 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где $W = (\dot{m} + |\dot{m}|)(H(p^*, T^*) - (H(p, T)))/2$; $\dot{m} = dm/dt$ – скорость изменения массы метана в баллоне, кг/с; $H(p^*, T^*)$ и $(H(p, T))$ – энтальпия единицы массы метана, зависящая соответственно от давления p^* и температуры T^* метана перед его поступлением в баллон при заполнении и от давления p и температуры T в баллоне. В случае заполнения баллона на автомобильной газонаполнительной компрессорной станции (АГНКС) p^* и T^* – давление и температура в контрольно-измерительном участке [9].

Графики зависимости $H(p, T)$ от p при различных значениях T приведены в работе [2]. В первое уравнение системы (1) входит коэффициент сжимаемости $z=z(m/V, T)=z(p, T)$ метана, который следует из указанной выше зависимости $\rho(p, T)$.

Для однозначного решения этой системы необходимо в момент времени $t=0$, принимаемый за нуль отсчета, задать начальные значения температур всех десяти сосредоточенных теплоемких масс, представленных на рис. 2. Текущее значение температуры наружной поверхности армирующего слоя на обечайке лайнера зависит от текущих значений T_0 и T'_1 и равно

$$T_{01}^* = (T_0 R_1'' + T'_1 R_{01}') / (R_1'' + R_{01}').$$

Аналогично для текущих значений температур наружных поверхностей армирующих слоев на днищах получим

$$T_{02}^* = (T_0 R_2'' + T'_2 R_{02}') / (R_2'' + R_{02}'); \quad T_{03}^* = (T_0 R_3'' + T'_3 R_{03}') / (R_3'' + R_{03}').$$

Температуры на участках внутренней поверхности лайнера равны

$$T_1^* = (T_1 R_1^* + T R_1) / (R_1^* + R_1); \quad T_2^* = (T_2 R_2^* + T R_2) / (R_2^* + R_2);$$

$$T_3^* = (T_3 R_3^* + T R_3) / (R_3^* + R_3); \quad T_6^* = (T_6 R_6^* + T R_6) / (R_6^* + R_6).$$

Результаты численного моделирования

Численное моделирование тепловых режимов рассматриваемого баллона при его заполнении и опорожнении проведено путем решения системы (1) обыкновенных дифференциальных уравнений с учетом информации о теплофизических характеристиках метана и его уравнения состояния [6, 2]. С целью сопоставления результатов моделирования данного баллона и баллона второго конструктивного типа с металлическим лайнером, армированным только на обечайке, во всех вариантах расчетов процесса заполнения давление метана в контрольно-измерительном участке АГНКС принято одинаковым с работой [3] и равным абсолютному давлению $p^*=20,69$ МПа. Заполнение баллона происходит до давления $p^*=19,71$ МПа.

Согласно [9], полное время заполнения баллона, включающее продолжительность подъезда и отъезда автомобиля, подсоединение и отсоединение запорочного шланга и непосредственно сам процесс заполнения, не должно превышать 10 мин. На рис. 3 представлены результаты численного моделирования при предельном времени заполнения баллона, равном 10 мин (600 с), и температуре $T^*=293$ К метана в контрольно-измерительном участке, совпадающей с температурой T_0 окружающего воздуха и температурой баллона перед началом его заполнения. Как и в случае баллона второго конструктивного типа принято, что перед заполнением в баллоне находится 1 кг метана. При указанной начальной температуре и вместимости баллона 51 л это соответствует начальному абсолютному давлению $p_0=2,88$ МПа.

Графики изменения во времени t абсолютного давления p и температуры T метана в баллоне при его заполнении представлены на рисунке соответственно кривой с темными кружками и сплошной красной кривой. Сплошная синяя кривая со светлыми кружками соответствует зависимости от времени средней температуры T_1 обечайки полиэтиленового лайнера, а сплошная синяя кривая – температурам T_2 и T_3 днищ лайнера (разность значений этих температур не превышает нескольких сотых долей градуса). Разность средних температур T'_2 и T'_3 армирующих слоев на днищах лайнера также мала, и поэтому зависимость этих температур от времени отмечена одной кривой зеленого цвета, а зеленая кривая со светлыми кружками описывает изменение во времени средней температуры T'_1 армирующего слоя

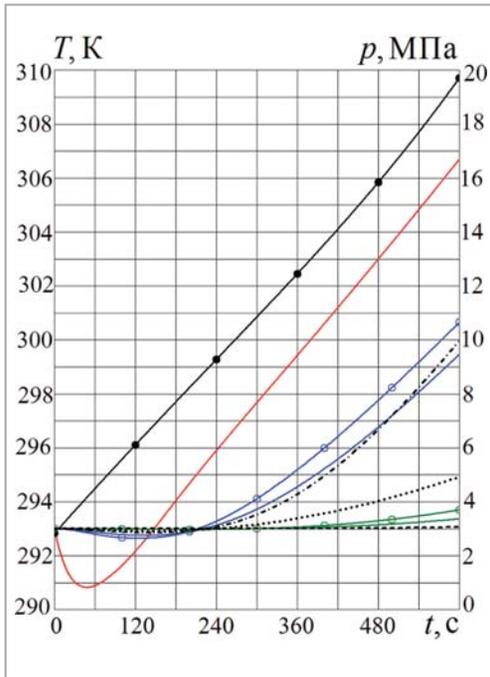


Рис. 3. Результаты численного моделирования заполнения баллона метаном за время 10 мин при $T^*=T_0=293$ К:

- температура метана;
- температура обечайки лейнера;
- температура днищ лейнера;
- давление в баллоне;
- температура обечайки;
- температура днищ;
- температура штуцера;
- температура пробки;
- температура диска

на обечайке лейнера. Штрихпунктирной, штриховой и пунктирной линиями представлены зависимости температур T_4 , T_5 и T_6 соответственно штуцера, пробки и утолщенного диска правого днища лейнера (см. рис. 1 и 2). Указанные обозначения кривых использованы на всех последующих рисунках.

Из рис. 3 видно, что при выбранных исходных данных в первый период заполнения вследствие значительного начального перепада p^*-p_0 давления существенно проявление положительного эффекта Джоуля – Томсона [10], приводящее в данном случае к понижению температуры метана примерно на 2 градуса. Затем с уменьшением разности p^*-p_0 температура метана возрастает за счет теплоты, выделяемой при его сжатии. К моменту окончания процесса заполнения баллона температура метана равна 306,7 К, что на 2,5 градуса выше, чем для баллона второго конструктивного типа [3]. Следует отметить, что температура T_5 пробки практически сохраняет свое начальное значение. После заполнения баллона суммарная масса метана составляет 7,51 кг в отличие от 7,62 кг для баллона второго конструктивного типа.

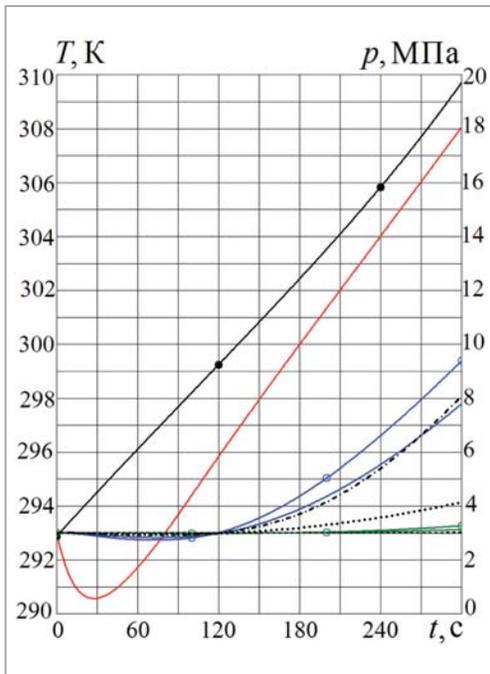


Рис. 4. Результаты численного моделирования заполнения баллона метаном в течение 5 мин при $T^*=T_0=293$ К

На рис. 4 при тех же исходных данных и обозначениях кривых (см. рис. 3) приведены результаты численного моделирования процесса заполнения баллона за время 5 мин (300 с). Более высокий темп заполнения вызвал несколько

большее понижение температуры метана в начальный период и ее увеличение до 308 К к завершению процесса заполнения. Суммарная масса метана в баллоне составила 7,30 кг (для баллона второго конструктивного типа 7,57 кг при температуре 305,3 К в конце процесса заполнения). Дальнейшее повышение темпа заполнения баллона с полиэтиленовым лейнером мало влияет на конечную температуру и суммарную массу метана. Например, при заполнении рассматриваемого баллона за 2,5 мин (150 с) суммарная масса метана в баллоне составила 7,23 кг при конечной температуре 309 К.

Целесообразно провести выборочное сравнение результатов количественного анализа используемой модели тепловых процессов в баллоне с полимерным лейнером с данными таблицы для определения количества заправляемого в баллоны КПП [9]. В этой таблице предусмотрена возможность различия значений температур T^* и T_0 при давлении p_0 перед заполнением от 0,2 до 12 МПа. Один из фрагментов таблицы содержит значения количества заправляемого КПП (в нм^3) при фиксированном избыточном давлении в контрольно-измерительном участке АГНКС, соответствующем абсолютному давлению $p^*=20,692$ МПа, и температуры T^* КПП в этом участке в интервале от -25 до 45 °С. Например, для заправляемого баллона вместимостью 200 л с остаточным давлением в нем 5,2 МПа и при температуре окружающей среды в интервале от -15 до -10 °С конечному избыточному давлению 20 МПа должно соответствовать 44 нм^3 КПП при $T^*=-25\dots-20$ °С, 32 нм^3 при $T^*=16\dots20$ °С и 27 нм^3 при $T^*=41\dots45$ °С. Если принять, что заправляемое количество КПП пропорционально вместимости баллона, то в рассматриваемый баллон с полимерным лейнером вместимостью 50 л будет добавлено при указанных условиях 11 $\text{нм}^3=7,885$ кг, 8 $\text{нм}^3=5,734$ кг и 6,75 $\text{нм}^3=4,838$ кг КПП соответственно.

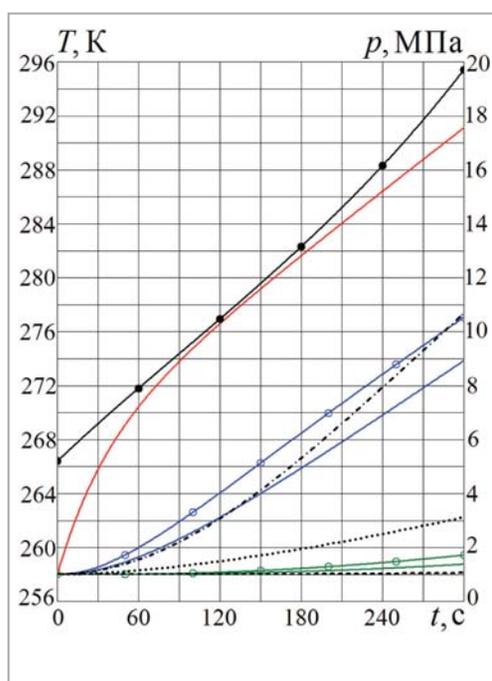


Рис. 5. Результаты численного моделирования заполнения баллона метаном за время 5 мин при $T^*=293$ К и $T_0=258$ К

Избыточному давлению соответствует абсолютное давление $p_0=5,198$ МПа, которому при температуре $T_0=-15$ °С (258 К) метана, совпадающей с температурой окружающей среды, отвечает начальная масса метана в рассматриваемом баллоне, равная 2,284 кг. Из представленных на рис. 5 результатов численного моделирования при $p^*=20,692$ МПа и $T^*=293$ К видно, что изменение температуры метана во времени происходит монотонно, то есть влияние эффекта Джоуля – Томсона в данном случае при $T_0 < T^*$ оказалось недостаточным для того, чтобы понизить температуру КПП в первый период заполнения баллона. Температура метана при завершении процесса заполнения за 5 мин (300 с) равна примерно 291 К. Благодаря более низкой конечной температуре метана по сравнению с вариантом заполнения при $T_0=T^*$ (см. рис. 4) его суммарная масса в баллоне составила 8,133 кг, то есть больше на 0,833 кг. При этом

добавленная масса метана равна 5,849 кг, что близко к значению 5,734 кг, которое следует из упомянутого выше фрагмента таблицы [9].

При $T^*=318$ К и прежних значениях остальных параметров, определяющих процесс заполнения рассматриваемого баллона, температура метана также растет монотонно и достигает значения 306,6 К (рис. 6), а конечная масса метана в баллоне составляет 7,367 кг, то есть прирост равен 5,083 кг, что также можно считать достаточно близким к значению 4,838 кг, которое получается пересчетом из данных, указанных в таблице [9]. При $T^*=248$ К (рис. 7) в начальный период заполнения баллона влияние эффекта Джоуля – Томсона усиливается подводом метана с более низкой температурой по сравнению с начальным значением $T_0=258$ К. Вследствие этого через 75 с после начала заполнения температура метана уменьшается примерно до 241 К и лишь затем начинает возрастать, достигая в конце процесса заполнения около 254 К. В итоге конечная масса метана в баллоне составляет 10,775 кг, а ее прирост равен 8,491 кг, что на 0,606 кг больше по сравнению со значением 7,885 кг, которое следует из таблицы [9]. Таким образом, все три выбранных варианта сравнения результатов моделирования с данными указанной таблицы, пересчитанными применительно к рассматриваемому баллону, привели к более высоким значениям заправляемой массы метана, хотя существенное расхождение получено лишь для последнего варианта, соответствующего неравенству $T^* < T_0$.

При моделировании процесса опорожнения рассматриваемого баллона с полимерным лейнером выбран период расходования метана из этого баллона, равный двум часам. Предполагается, что этот период может соответствовать пробегу автомобиля в 150...200 км. За это время в баллоне с начальными давлением $p_0=19,71$ МПа и температурой метана $T_0=293$ К, совпадающей с температурой окружающей среды, при запасе метана 8,03 кг и принятом его секундном расходе $\dot{m} = 0,001$ кг/с давление снижается до 2,23 МПа, а температура метана – до 273,5 К (рис. 8). В начальный период опорожнения баллона при достаточно высокой плотности метана вследствие высокой интенсивности его теплообмена с лейнером на снижение температур обечайки лейнера и его днища влияет уменьшение температуры метана. Но в заключительный период опорожнения в силу уменьшения плотности метана интенсивность теплообмена на внутренней поверхности лейнера падает, что приводит к заметному различию температур метана и лейнера.

Запас метана в рассматриваемом баллоне с начальными давлением $p_0=19,71$ МПа и температурой $T_0=258$ К, совпадающей с температурой окружающей среды, составляет 10,428 кг. При расходе $\dot{m} = 0,001$ кг/с давление снижается до 6,42 МПа, а температура метана – до 246,4 К (рис. 9), причем его охлаждение по отношению к начальной температуре оказалось существенно меньше, чем в предыдущем варианте расчета. В данном случае плотность метана и интенсивность его теплообмена с внутренней поверхностью лейнера остаются достаточно высокими на протяжении всего периода расходования метана. Поэтому к концу этого периода разность между температурами обечайки лейнера и метана не превышает двух градусов, тогда как в предыдущем варианте расчета она составляет около шести градусов.

Модификация ранее разработанной тепловой модели автомобильных баллонов первых трех конструктивных типов позволяет путем численного моделирования процесса заполнения метаном автомобильного баллона четвертого конструктивного типа с полимерным лейнером выявить влияние температур окружающего воздуха и КПП в контрольно-измерительном участке АГНКС на суммарную массу КПП в баллоне.

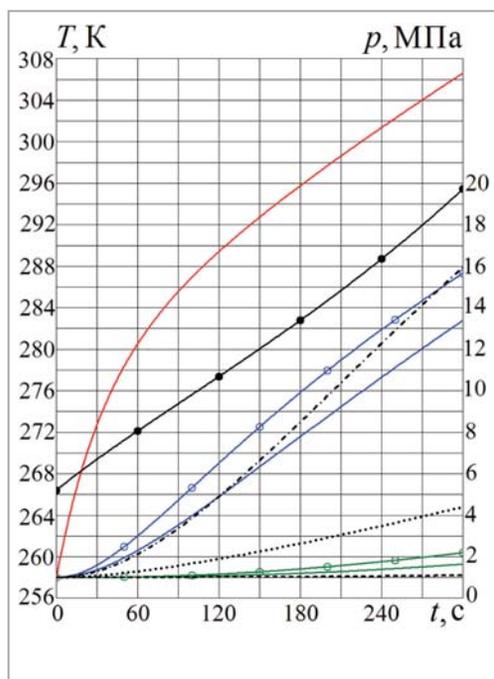


Рис. 6. Результаты численного моделирования заполнения баллона метаном в течение 5 мин при $T^* = 318\text{ K}$ и $T_0 = 258\text{ K}$

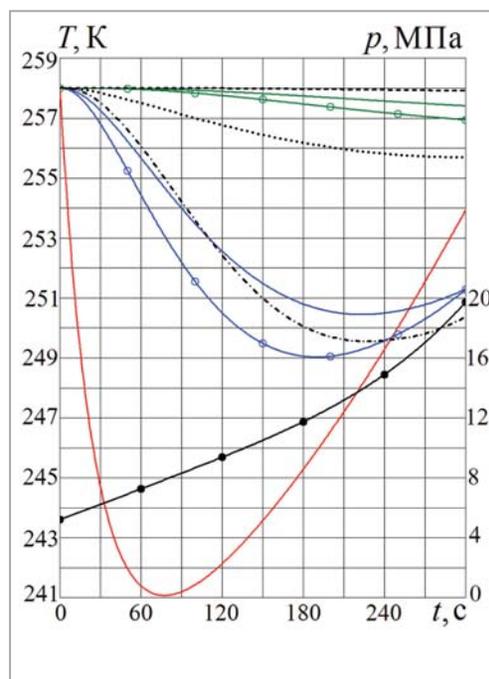


Рис. 7. Результаты численного моделирования заполнения баллона метаном за время 5 мин при $T^* = 248\text{ K}$ и $T_0 = 258\text{ K}$

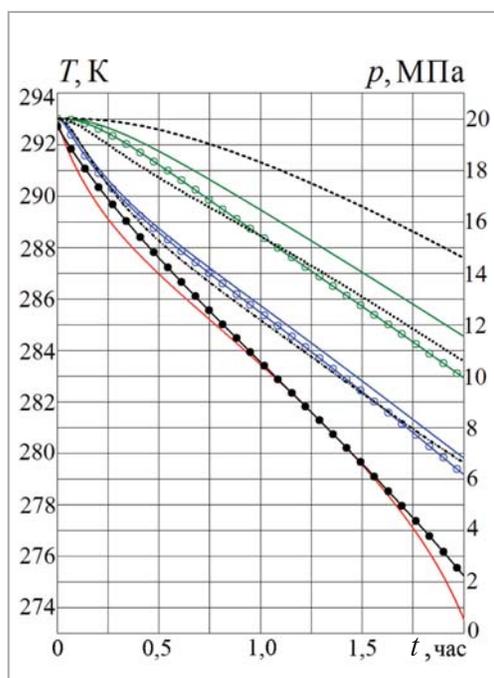


Рис. 8. Результаты численного моделирования расхода метана в течение двух часов при начальной температуре $T_0 = 258\text{ K}$

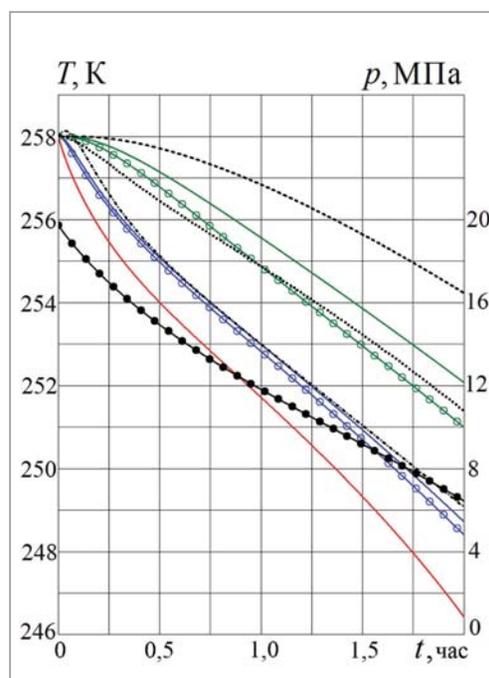


Рис. 9. Результаты численного моделирования расхода метана в течение двух часов при начальной температуре $T_0 = 258\text{ K}$

Установлено приемлемое совпадение результатов численного моделирования с пересчитанными табличными данными [9], определяющими количество заправленного КПП при температуре метана в контрольно-измерительном участке АГНКС, превышающей начальную температуру метана в баллоне. При опорожнении баллона выявлено влияние параметров, характеризующих исходное состояние в нем метана, на изменение во времени температур метана и элементов конструкции баллона.

Работа выполнена по гранту НШ-1432.2014.8 программы Президента РФ государственной поддержки ведущих научных школ и в рамках проекта 1712 государственного задания № 2014/104 Минобрнауки РФ.

Литература

1. Белоусова С.Ю., Зарубин В.С., Осадчий Я.Г. Математическая модель тепловых процессов в автомобильных баллонах с метаном // Транспорт на альтернативном топливе. – 2014. – № 4. – С. 5–13.
2. Белоусова С.Ю., Зарубин В.С., Осадчий Я.Г. Численное моделирование теплового состояния металлокомпозитного автомобильного баллона при расходовании метана // Транспорт на альтернативном топливе. – 2015. – № 1. – С. 12–21.
3. Белоусова С.Ю., Зарубин В.С., Осадчий Я.Г. Численное моделирование теплового состояния металлокомпозитного автомобильного баллона при заполнении метаном // Транспорт на альтернативном топливе. – 2015. – № 3. – С. 15–24.
4. ГОСТ Р 51753–2001. Баллоны высокого давления для сжатого природного газа, используемого в качестве моторного топлива на автомобильных транспортных средствах. Общие технические условия. 01.01.2002. Код ОКС 43.020. Госстандарт России. Москва.
5. ГОСТ 16338–85. Полиэтилен низкого давления. Технические условия. 01.01.87. ОКП 22 1112, 22 4391. КГС Л27. Госстандарт России. Москва.
6. Setzmann U., Wagner W. A new equation of state and tables of thermodynamic properties for methane covering the range from melting line to 625 K at pressures up to 100 MPa / J. Phys. Chem. Ref. Data. 1991. – V. 20. 6. – P. 1061–1155.
7. Зарубин В.С. Математическое моделирование в технике. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. – 496 с.
8. Зарубин В.С. Моделирование. – М.: Издательский центр «Академия», 2013. – 336 с.
9. РД 3112194-1095–03. Руководство по организации и эксплуатации газобаллонных автомобилей, работающих на сжатом природном газе. Министерство транспорта РФ. Департамент автомобильного транспорта. ФГУП НИИАТ. – 2002. – 59 с.
10. Справочник по физико-техническим основам криогеники / Под ред. М.П. Малкова. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 432 с.

Научно-квалификационные работы

58

Успешная защита кандидатской диссертации Е.В. Красновой «Улучшение экологических характеристик водородного дизеля усовершенствованием рабочего процесса» (специальность 05.04.02 – Тепловые двигатели) состоялась в июне 2015 г. в Диссертационном совете Д 212.141.09 в Московском государственном техническом университете им. Н.Э. Баумана, научный руководитель – доктор технических наук, профессор Р.З. Кавтарадзе.

Целью диссертационной работы стало моделирование и сравнительный анализ процессов смесеобразования, сгорания и образования оксидов азота в водородном дизеле с непосредственным впрыскиванием газообразного водорода и в базовом варианте дизеля, работающего на традиционном дизельном топливе, а также определение регулировочных и конструктивных параметров, обеспечивающих улучшение экологических характеристик водородного дизеля.

Актуальность исследования, по мнению автора, обусловлена угрозой истощения природных запасов жидких углеводородных топлив, стабильным ростом затрат на моторное топливо и общую эксплуатацию транспортных средств, а также тем обстоятельством, что поршневые двигатели являются одними из основных загрязнителей окружающей среды. Автор прогнозирует, что одним из надежных путей для решения экологических и энергетических проблем, связанных с поршневыми двигателями, является переход на альтернативное топливо, на первом этапе – на природный газ, запасы которого достаточно велики, но в дальнейшем – на водород, запасы которого практически неисчерпаемы. Автор предполагает, что постепенно будет осуществлен и расширен частичный перевод, а позже и полный перевод поршневых двигателей на водород с сохранением возможности работы на базовом топливе.

В диссертационной работе рассматривается конвертированный на водород дизель с непосредственным впрыскиванием в цилиндр газообразного водорода. Очевидно, что в продуктах сгорания исследуемого водородного дизеля отсутствуют СН, СО, СО₂ и твердые частицы сажи. Их образование в результате горения смазочного масла не учитывается. Таким образом, основной экологической проблемой является минимизация концентраций оксидов азота.

Перспективным путем использования горючих сланцев в качестве сырья для получения моторных топлив и химических продуктов является их газификация с дальнейшей переработкой полученных газообразных продуктов.

Автором впервые в трехмерной постановке были исследованы нестационарные процессы движения рабочего тела, смесеобразования, сгорания и образования оксидов азота в водородном дизеле с непосредственным впрыскиванием в цилиндр газообразного водорода, а также изучено влияние конструктивных (конструкция форсунок) и регулировочных (коэффициент избытка воздуха, цикловая подача и продолжительность впрыска водорода, температура впускного воздуха) параметров на образование оксидов азота базового двигателя и его водородной модификации. В итоге автором создан инструмент, позволяющий с достаточной точностью прогнозировать экологические характеристики, в частности эмиссию оксидов азота, водородного дизеля с непосредственным впрыскиванием газообразного водорода на

стадии его проектирования, и определены значения конструктивных и регулировочных параметров, обеспечивающих улучшение экологических показателей водородного дизеля.

По итогам защиты диссертации решением Диссертационного совета Е.В. Красновой была присвоена ученая степень кандидата технических наук.

* * *

Успешная защита кандидатской диссертации Э.Р. Раенбагиной по теме **«Совершенствование технической эксплуатации газобаллонных автомобилей путем обеспечения возможности слива газа»** (научная специальность 05.22.10 – Эксплуатация автомобильного транспорта) состоялась в феврале 2015 г. в Диссертационном совете Д 212.250.02 ФГБОУ ВПО «СибАДИ». Научный руководитель диссертанта – доктор технических наук, профессор Н.Г. Певнев.

Актуальность работы обусловлена расширением использования сжиженных углеводородных газов в качестве бытового и технологического топлива, а также топлива для автомобильного транспорта, так как при прочих равных условиях газ является экономически более выгодным топливом.

Перечнем поручений Президента РФ от 14 мая 2013 г. предусмотрен комплексный план расширения использования газа в качестве моторного топлива, включающий внедрение и эксплуатацию техники, работающей на газомоторном топливе, а также внесение изменений в нормативно-правовую базу, регуливающую требования к объектам, предназначенным для производства, хранения и использования газомоторного топлива.

В процессе технического обслуживания газобаллонных автомобилей приходится выполнять ряд специфических операций, указанных в нормативном документе РД 03112194-1094-03, к которым относится слив сжиженного газа из автомобильных газовых баллонов. Эту операцию разрешается проводить только на посту слива СУГ для исключения загрязнения окружающей среды и скопления взрывоопасных газовых облаков в низинах и ямах.

Анализируя современные конструкции газобаллонного оборудования и автомобильных газовых баллонов, имеющих различную запорно-предохранительную арматуру, автор выявила, что осуществить слив газа из автомобильного газового баллона, оборудованного мультиклапаном и смонтированной системой питания, невозможно, так как это приводит к нарушению технологического процесса эксплуатации ГБА и отрицательно влияет на экологическую обстановку, а также может явиться причиной взрыва и повлечь материальные убытки и человеческие жертвы. Следовательно, исследование вопросов совершенствования технологических процессов технической эксплуатации ГБА и конструкции двухтопливной системы питания для обеспечения возможности слива СУГ из автомобильного газового баллона является острой и крайне актуальной проблемой.

Целью своего исследования автор ставила совершенствование конструкции системы питания и технологических процессов технической эксплуатации ГБА для обеспечения возможности слива СУГ из автомобильных газовых баллонов.

В процессе исследования автором был разработан комплекс взаимосвязанных технических решений по обеспечению безопасного слива СУГ из автомобильного газового баллона при технической эксплуатации аппаратуры. Также разработана математическая модель технологического процесса слива СУГ из автомобильного газового баллона с мультиклапаном, установлена закономерность



влияния параметров состояния СУГ на параметры технологического процесса слива СУГ из автомобильного газового баллона с мультиклапаном и влияния конструктивных параметров магистрали слива СУГ на параметры технологического процесса слива СУГ из автомобильного газового баллона с мультиклапаном.

Разработанный автором исследования пост слива СУГ на автотранспортном предприятии и модернизированная система питания двигателя с газобаллонной аппаратурой внедрены на предприятиях г. Омска.

По итогам защиты диссертации решением Диссертационного совета Э.Р. Раенбагиной была присвоена ученая степень кандидата технических наук.

* * *

Успешная защита кандидатской диссертации Б.В. Тупова по теме «**Разработка методов снижения шумового загрязнения окружающей среды газовоздушными трактами тягодутьевых машин ТЭС**» (научная специальность 05.14.14 – Тепловые электрические станции, их энергетические системы и агрегаты) состоялась в мае 2015 г. в Диссертационном совете 212.157.07 ФГБОУ ВПО «НИУ «МЭИ». Научный руководитель диссертанта – Заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор В.Т. Медведев.

Актуальность работы обусловлена растущим вниманием к борьбе с шумовым загрязнением окружающей среды, характерным для различных энергетических систем и комплексов. Проблематика особенно актуальна для энергетических комплексов, которые находятся в городах и расположены в непосредственной близости от жилых районов. Такие ТЭС подразумевают большое количество различного оборудования, излучающего шум, а одним из самых массовых и интенсивных источников шума для окружающего района являются газовоздушные тракты, которые излучают шум от тягодутьевых машин. Это во многих случаях является причиной превышения санитарных норм по шуму. Объем энергетических мощностей увеличивается в связи с необходимостью обеспечения возрастающих потребностей в условиях роста численности населения и урбанизации.

Автор исследования ставил своей целью разработку методов снижения шумового загрязнения окружающей среды газовоздушными трактами тягодутьевых машин ТЭС. Ему удалось впервые показать влияние расположения объектов на территории предприятия и зданий в окружающем районе на уровни звукового давления от газовоздушных трактов тягодутьевых машин, в том числе в 3D моделях с помощью специальной программы, а также разработать на основе минимума дисконтированных затрат методику определения длин многоступенчатых глушителей с разной толщиной пластин.

Проведенные визуализированные акустические расчеты в 3D на примере типичной ТЭЦ показали влияние расположения построек и промышленных зданий, дымовых труб, жилых домов, а также их высот на уровни звукового давления для производственных зон и селитебной территории. Это позволяет определить необходимость мер как по охране труда для территории ТЭС, так и по снижению шума в окружающем районе.

Результаты исследования использованы при разработке конструкции глушителей шума газового тракта котлов (БКЗ-320-140ГМ) №№ 6,7,8 ТЭЦ-9 – филиала ОАО «Мосэнерго», а также при разработке рекомендаций по снижению шума газовоздушных трактов тягодутьевых машин ОАО «Новолипецкий металлургический комбинат».

По итогам защиты диссертации решением Диссертационного совета Б.В. Тупову была присвоена ученая степень кандидата технических наук.

Топливная экономичность и мощность судовых пародизельных установок

Ю.А. Антипов, доцент кафедры теплотехники и тепловых двигателей инженерного факультета РУДН, к.т.н.,
Н.Н. Патрахальцев, профессор РУДН, д.т.н.,
И.К. Шаталов, профессор РУДН, к.т.н.,
К.Н. Жемчужникова, студент инженерного факультета РУДН

Использование теплоты отработавших газов судовых дизелей для выработки пара позволяет создать пародизельную силовую установку, у которой топливная экономичность и мощность на 20...25 % может превысить аналогичные показатели дизеля.

Ключевые слова:

судовой дизель, паротурбинная установка, мощность и экономичность.

Рост стоимости топлива требует повышения экономичности судовых силовых установок. Эффективный КПД η_e наиболее экономичных малооборотных судовых дизелей («Бурмейстер и Вайн», «Зульцер», «Гётаверкен») на номинальном режиме составляет до 47 %, а удельный эффективный расход топлива $b_e=0,178$ кг/(кВт·ч), у среднеоборотных четырехтактных дизелей («Зульцер», 4Н 26/26 Коломзавода и др.) $\eta_e=43...45$ %, а $b_e=0,186...0,195$ кг/(кВт·ч). Перспективы дальнейшего роста экономичности дизелей в настоящее время достаточно ограничены. Поэтому заслуживает внимания применение на судах пародизельных установок (ПДУ), в которых отработавшие газы (ОГ) дизеля используются в специальном теплообменнике для выработки пара. Пар расширяется в паровой турбине, соединенной с винтом.

В настоящее время стационарная энергетика перешла на использование парогазовых установок (ПГУ), КПД которых при отсутствии потерь давления на входе и выходе составляет 53...56 % [1,2]. При этом следует иметь в виду, что такие цифры достигаются за счет очень высоких КПД газотурбинных установок (ГТУ) $\eta_{ГТУ}$ достигающих 38...40 %, что возможно только на установках мощностью 50...100 тыс. кВт и более. Мощность судовых установок меньше, а КПД таких ГТУ не превосходят 33...35 %. В итоге КПД ГТУ (приблизительно $\eta_{ПГУ} \approx 1,5 \eta_{ГТУ}$) не превосходит 50...52 %. При отсутствии винта регулируемого шага (ВРШ) недостатком судовых ГТУ является необходимость в турбине заднего хода, которая дополнительно снижает экономичность.

Схема пародизельной установки показана на рис. 1. Отработавшие газы дизеля с температурой t_r поступают в теплообменник, где из конденсата, подаваемого насосом, образуется пар с давлением p_0 и температурой t_0 . Пар расширяется в турбине, приводящей винт через редуктор (турбозубчатый агрегат).

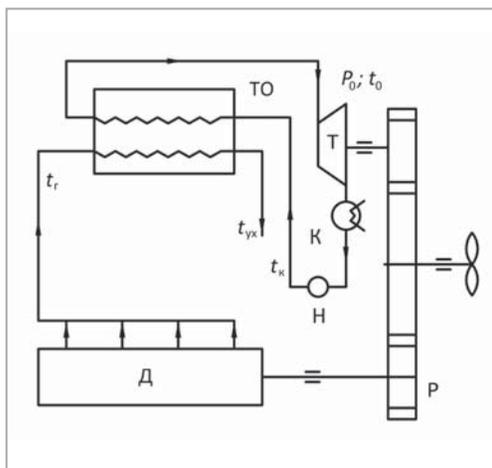


Рис. 1. Схема пародизельной установки:
 Д – дизель; ТО – теплообменник;
 К – конденсатор; Н – насос; Т – турбина;
 Р – редуктор

Отработавший пар из турбины идет в конденсатор (К), где давление равно 0,007...0,005 МПа, а температура конденсата $t_k=20...40$ °С.

Если судно не имеет ВРШ, то при реверсе дизеля прекращается подача пара в турбину. Если дизель не имеет реверса, то необходима паровая турбина заднего хода.

Мощность ПДУ $N_{ПДУ}$ равна сумме мощностей дизеля N_e и турбины N_T :

$$N_{ПДУ} = N_e + N_T = B Q_n^P \eta_e + Q_t \eta_t \eta_v \eta_m \quad (1)$$

где B – расход топлива, кг/с; $Q_n^P=43000$ кДж/кг – низшая теплотворность топлива; Q_t – тепловая мощность (тепловой поток) в теплообменнике; $\eta_t=f(p_0, t_0, p_k)$ – термический КПД цикла

Ренкина; η_v и η_m – внутренний и механический КПД турбины.

Тепловой поток в теплообменнике

$$Q_t = G_r C_p (t_r - t_{yx}) + q_w \xi B Q_n^P, \quad (2)$$

где G_r – расход ОГ; $C_p=1,15$ кДж/(кг К) – теплоемкость ОГ; t_r и t_{yx} – температуры ОГ и газа, выходящего из теплообменника; $q_w=Q_w/BQ_n^P=0,10...0,20$ – отношение теплоты охлаждающей дизель воды, используемой в теплообменнике; $\xi=0,08...0,10$ – доля теплоты охлаждающей воды, используемой в теплообменнике.

Расход газа связан с расходом воздуха уравнением

$$G_r = G_0 + B = B (G_0/B + 1) = B (\alpha \varphi L_0 + 1), \quad (3)$$

где $\alpha = G_0/B L_0$ – коэффициент избытка воздуха дизеля; $L_0=14,7$ – стехиометрическое отношение; φ – коэффициент продувки.

Зная α , можно найти среднее эффективное давление p_e и мощность N_e дизеля [3]:

$$p_e = Q_n^P / (\alpha L_0) = \eta_e \eta_v \rho_k,$$

$$N_e = p_e i V_h n / (30 \tau),$$

где $\eta_v=0,85...0,95$ – коэффициент наполнения; $\rho_k=p_k/(287 T_k)$ – плотность воздуха на входе в дизель; p_k и T_k – давление и температура во впускном коллекторе дизеля; i – число цилиндров; V_h – рабочий объем одного цилиндра, л; n – частота вращения, мин⁻¹; $\tau=4$ или 2 – тактность.

Разделив обе части уравнения (1) на BQ_n^P с учетом (3), получим уравнения для вычисления КПД ПДУ:

$$\eta_{ПДУ} = \eta_e + [(1 + \alpha \varphi L_0) C_p (t_r - t_{yx}) / Q_n^P + q_w \xi] \eta_t \eta_v \eta_m. \quad (4)$$

Температура ОГ t_r вычисляется по уравнению, приведенному в [4]:

$$t_r = [1,005 \alpha \varphi L_0 + Q_n^P (1 - \eta_e - q_w - q_m - q_{ок})] / [C_p (1 + \alpha \varphi L_0)], \quad (5)$$

где q_m и $q_{ок}$ – относительное количество теплоты, отдаваемой дизелем в масло, и охлаждаемый наддувочный воздух.

В большинстве случаев можно принимать, что $q_m=q_{ок}=0$, и считать, что тепло масла и наддувочного воздуха отдается в воду.

Уравнение (5) можно использовать для двух- и четырехтактных дизелей с наддувом и без него. У первых t_r будет заметно ниже, так как у них значительно больше коэффициент продувки φ . Снижение t_r вызывает уменьшение температуры пара t_0 и термического КПД цикла Ренкина η_t .

Для увеличения η_i необходимо повысить давление p_0 и температуру пара. Однако рост температуры пара ограничен величиной температуры ОГ ($t_0 \leq t_i - 50^\circ\text{C}$), а рост давления ограничен уменьшением высоты лопаток турбины и как следствие падением внутреннего КПД турбины η_i . Поэтому увеличение p_0 более чем до 3...4 МПа нецелесообразно. Расчет показывает, что при $p_0=4$ МПа, $t_0=400$ °С и давлении в конденсаторе 0,007 МПа $\eta_i = 0,37$.

Был проведен расчет параметров пародизельной установки с четырехтактным дизелем с газотурбинным наддувом номинальной мощностью $N_e=4000$ кВт при степени повышения давления в компрессоре $\pi_k=2$, коэффициенте избытка воздуха $\alpha=2$, коэффициенте продувки $\phi=1,1$. Температура ОГ на этом режиме $t_r=500$ °С, температура исходящих из теплообменника газов $t_{yx}=100$ °С, $\eta_i=0,37$, $\eta_r=0,8$.

На рис. 2 приведена зависимость основных параметров ПДУ от произведения $\phi\alpha$ и коэффициента избытка воздуха α . Видно, что при снижении α эффективный КПД дизеля η_e снижается с 0,45 до 0,40, однако КПД пародизельной установки меняется мало, составляя $\eta_{\text{ПДУ}}=0,56$ при $\alpha=2$ и $\eta_{\text{ПДУ}}=0,55$ при $\alpha=1,45$. Это объясняется ростом температуры ОГ с 500 до 650 °С. Отношение мощностей $N_e/N_{\text{ПДУ}}$ меняется мало и составляет 0,82...0,83. Абсолютная мощность ПДУ возрастает с 4900 кВт при $\alpha=2$ до 6000 кВт при $\alpha=1,45$. При этом надо иметь в виду, что снижение α до 1,8 и ниже неблагоприятно скажется на надежности и долговечности дизеля.

Тем не менее при $\alpha=1,8...2,0$ эффективный КПД ПДУ увеличивается за счет паровой турбины в 1,2 раза, на столько же увеличивается эффективная мощность установки, а ее удельный расход топлива снижается до 0,152 кг/(кВт · ч).

Расчеты также показали, что при снижении коэффициента продувки с 1,1 до 1,02 за счет увеличения t_r можно повысить экономичность и мощность ПДУ в 1,25 раза по сравнению с дизелем.

Подводя итог вышеизложенному, можно сделать следующие выводы.

1. Использование теплоты ОГ дизеля с целью выработки пара для ПТУ позволит увеличить мощность и экономичность судовой силовой установки на 20...25 %.
2. Величина коэффициента избытка воздуха дизеля сравнительно мало влияет на экономичность ПДУ, но сильно отражается на ее мощности.

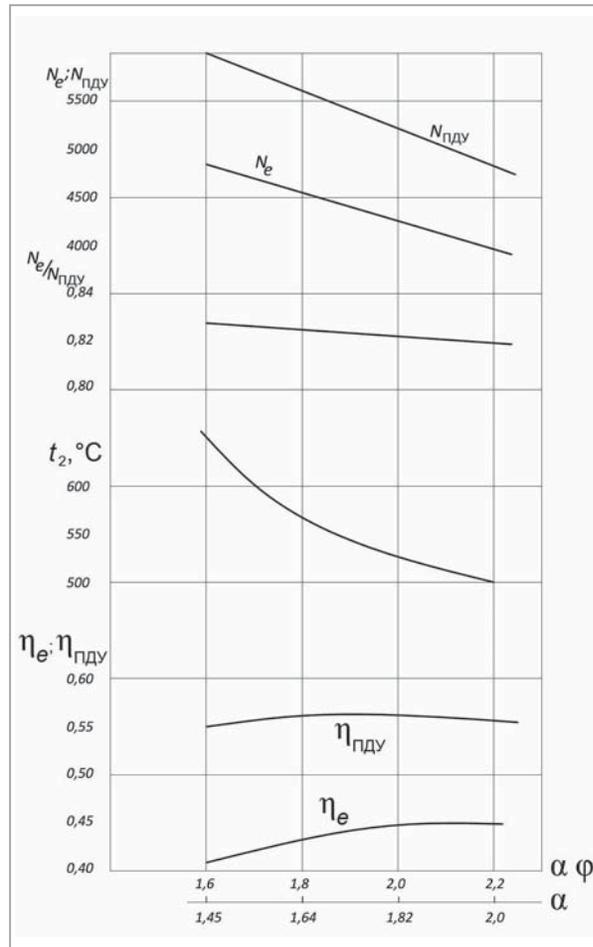


Рис. 2. Зависимость КПД дизеля η_e , КПД пародизельной установки $\eta_{\text{ПДУ}}$, температуры ОГ t_2 , мощности дизеля N_e и пародизельной установки $N_{\text{ПДУ}}$ от коэффициента избытка воздуха дизеля α и коэффициента продувки дизеля ϕ :

$t_b = 15$ °С; $\pi_k = 2$; $t_{yx} = 100$ °С

1. Цанев С.В., Буров В.Д., Ремизов А.Н. Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций. – М.: Издательский дом МЭИ, 2006. – 584 с.
2. Шаталов И.К., Барский И.А. Регулировочные характеристики газотурбинных установок, схемы и определение основных параметров ПТУ. – М.: Изд-во РУДН, 2003. – 122 с.
3. Ваншейдт В.А. Судовые двигатели внутреннего сгорания. – Л.: Судпромгиз, 1970. – 639 с.
4. Антипов Ю.А., Барский И.А., Кирюшкин А.А. Температура отработавших газов двигателей // Вестник Российского университета дружбы народов, серия «Инженерные исследования». – 2007. – № 2. – С. 42-44.

Газовые автобусы «НЕФАЗ» для пассажиров Набережных Челнов

В Набережных Челнах на линии вышли газомоторные автобусы большой вместимости НЕФАЗ. Городом было закуплено 122 полунизкопольных автобусов НЕФАЗ-5299-30-51 и 68 низкопольных НЕФАЗ-5299-40-51 у официального дистрибьютора ПАО «КАМАЗ» по продукции с газовыми двигателями компании «РариТЭК». Реализация данных автомобилей проводилась по Программе государственного субсидирования на приобретение ГБА. Кроме того, техника передана по лизинговому продукту от АО «Лизинговая компания «КАМАЗ».

В рамках торжественного открытия после реконструкции проспектов Дружбы Народов и Сююмбике ВРИО президента Татарстана Рустам Минниханов в сопровождении руководителя исполнительного комитета г. Набережные Челны Наиля Магдеева проехал в одном из автобусов по новому маршруту № 10. Также в пробной поездке приняли участие генеральный директор ПАО «КАМАЗ» Сергей Когогин, депутат Государственной Думы Альфия Когогина и генеральный директор ООО «РариТЭК» Рафаэль Батыршин.



Новый автобус на 10-м маршруте



Автобус 26-го маршрута

Новые городские автобусы курсируют по городу с интервалом движения в 6-12 мин и вмещают до 116 пассажиров. Они оснащены современными элементами подвески и тормозной системы, что позволяет осуществлять перевозки с максимальной безопасностью и комфортом для пассажиров. Для удобства в каждом автобусе установлены специальные электронные устройства – валидаторы, предназначенные для оплаты поездки проездными, картами или наличными средствами.

Пассажиры старшего возраста уже успели отметить, что большие автобусы куда удобнее и комфортнее привычных маршруток, в частности, при посадке и высадке на остановках. Такое преимущество обусловлено системой опускания пола. Это в первую очередь большой плюс для пожилых или маломобильных людей и пассажиров с детьми. Также здесь установлен пандус, который при необходимости можно опустить до земли.

Каждый НЕФАЗ приводится в движение турбированным газовым двигателем Mercedes-Benz M906 (Евро-5) мощностью 206 кВт. Мотор работает на природном газе – метане, что позволяет снизить затраты на топливо в 2...2,5 раза по сравнению с ДТ.

Рынок КПП в Турции: особенности и перспективы

Ю.В. Данович, аналитик

Статья посвящена исследованию рынка газомоторного топлива в Турции. Хотя объемы потребления КПП в этой стране еще малы, а инфраструктура развита слабо, рынок КПП демонстрирует устойчивую тенденцию к росту. В перспективе турецкий рынок ГМТ может представлять интерес для России в связи с планируемым увеличением экспорта природного газа в эту страну.

Ключевые слова

компримированный природный газ,
газомоторный рынок, АГНКС.

Рынок моторного топлива Турции существенно отличается от большинства стран Европы. Около 41 % парка легковых автомобилей составляют транспортные средства (ТС), использующие сжиженные углеводородные газы (СУГ), при этом доля прочих ТС, использующих СУГ, не достигает и 1 %. Пропан-бутановая смесь активно внедрялась топливными компаниями, чему способствовала высокая цена на бензин и дизельное топливо. В результате с 2004 по 2010 г. доля автомобилей на СУГ выросла с 15 до 40 %, а численность за период 2004-2014 гг. выросла с 0,8 до 4,1 млн.

Компримированный природный газ (КПП) как моторное топливо, напротив, применяется в крайне ограниченных масштабах (до 0,1 % автопарка), что, впрочем, сравнимо с такими странами, как ФРГ, Австрия или Чехия. Главной причиной низкой популярности КПП на транспорте является состояние инфраструктуры, необходимой для развития этой сферы.

Природный газ используется в Турции с 1970-х гг., но относительно массовое его потребление населением и промышленностью было начато только в 1989 г. До 2003 г. природный газ применялся, в основном, для нужд электрогенерации и населения в крупнейших городах, поскольку высокая стоимость инвестиций и ограниченные возможности государства препятствовали развитию этой отрасли. В 2003 г. была запущена программа приватизации, которая привлекла значительный объем частных инвестиций и способствовала резкому росту потребления газа.

Несмотря на то, что природный газ составляет значительную долю (35 %) в энергобалансе страны, его потребление сосредоточено лишь в небольших по площади, но густонаселенных регионах на берегу Мраморного моря и в Анкаре. Восточная Турция, особенно Юго-Восточная Анатолия, практически не имеют доступа к природному газу.

В то же время преимущества природного газа способствуют поиску альтернативных вариантов обеспечения этим недорогим и экологичным топливом потребителей в удаленных районах. Одним из наиболее популярных способов является доставка природного газа в сжатом виде от компрессорной станции компании-продавца конечному потребителю при помощи специальных автомобилей-газовозов.

Продажи КПП осуществляются как на разовой основе, так и по абонентскому договору. Некоторые компании имеют в регионах так называемые дочерние компрессорные станции – они тоже служат для снабжения потребителей (в частности, автотранспорта) компримированным природным газом, но в отличие от материнских не имеют подключения к газопроводу, а снабжаются от них газом, привезенным в сжатом виде.

Для осуществления деятельности по торговле КПП в Турции существует два вида лицензий: на продажу КПП и на его транспортировку. Обе лицензии выдает Государственная служба по регулированию рынка энергии (EPDK). Лицензии выдаются на продолжительный срок (до 30 лет). По состоянию на июнь 2015 г. лицензиями на транспортировку КПП обладали 38 компаний, 30 компаний владели суммарно 77 лицензиями на продажи (компании необходимо получить несколько лицензий, если она осуществляет продажи в нескольких регионах или на нескольких объектах).

Таким образом, сфера применения природного газа в Турции значительно шире, чем в других странах, и доля КПП, закупаемого стационарными потребителями, традиционно выше, чем доля, используемая в качестве моторного топлива. Поэтому многие компании-продавцы КПП еще даже не оборудовали свои компрессорные станции для заправки автомобилей ввиду отсутствия потребителей.

В табл. 1 представлена структура потребления различных видов моторных топлив в Турции.

Таблица 1

Объем продаж КПП и других моторных топлив

Год	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	1-6/2015
Всего КПП, млн м ³ В том числе автоКПП	29,1 –	36,5 –	33,9 –	46,2 –	55,5 –	54,9 11,1	76,9 24,5	120,1 16,7	73,3 9,3
Всего СУГ, тыс. т В том числе автоСУГ	3525,2 2006,3	3460,4 2111,6	3620,3 2305,2	3659,4 2489,5	3745,8 2642,0	3705,6 2694,9	3663,9 2726,9	3724,0 2838,4	1884,3 1405,1
Дизельное топливо, тыс. т	13394,2	13574,5	13714,9	13896,9	14728,4	15448,0	16721,0	17430,3	9287,9
Бензин, тыс. т	2490,4	2227,7	2186,7	2075,2	1978,5	1847,3	1856,7	1916,2	958,5

Из таблицы видно, что объем продаж КПП демонстрирует устойчивую тенденцию к росту. Падение продаж КПП на транспорте в 2014 г. вызвано скорее всего особенностями учета и техническими причинами, нежели рыночными: в марте 2014 г. взрыв уничтожил АГНКС в Болу, что остановило продажи КПП на несколько месяцев. Кроме того, строительство новых АГНКС и условия концессионных соглашений приводят к тому, что потребность некоторых транспортных компаний в КПП начинает решаться не путем покупки-продажи топлива, а через внутреннее потребление на собственных станциях, которое не отражено в статистике продаж.

В табл. 2 представлена динамика потребления и продаж компримированного природного газа транспортом в 2015 г.

Рынок КПП в Турции поделен неравномерно. Три крупнейших игрока уже много лет подряд контролируют 70...80 % рынка, причем более 50 % продаж традиционно приходится на бессменного лидера отрасли (рис. 1, 2).

Таблица 2

Продажи и потребление КПП на транспорте в 2015 г., млн м³

Месяц	Продажа	Потребление
Январь	1,74	7,25
Февраль	1,50	6,59
Март	1,56	6,89
Апрель	1,54	6,78
Май	1,54	6,89
Июнь	1,46	9,38
Итого	9,34	43,78

Крупнейшим продавцом КПП является компания Naturelgaz Sanayi ve Ticaret A.Ş. (Naturelgaz), основанная в 2004 г. Она же обладает наибольшими в стране мощностями по хранению и транспортировке КПП. Своим основанием она обязана группе Goldenberg Group, которая ранее успешно осуществила внедрение СУГ в Турции (переоборудовала более 850 тыс. автомобилей и запустила около 150 АГЗС). Глава Goldenberg Group Аксель Голденберг до сих пор возглавляет Naturelgaz и владеет в ней 20 % долей, в то время как другие члены этого семейства продали свои доли в компании. Главным собственником компании (80 %) является многоотраслевой холдинг Global Investment Holdings.

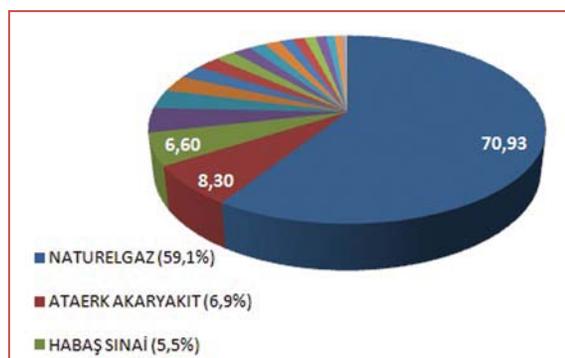


Рис. 1. Объем продаж КПП по компаниям в 2014 г.

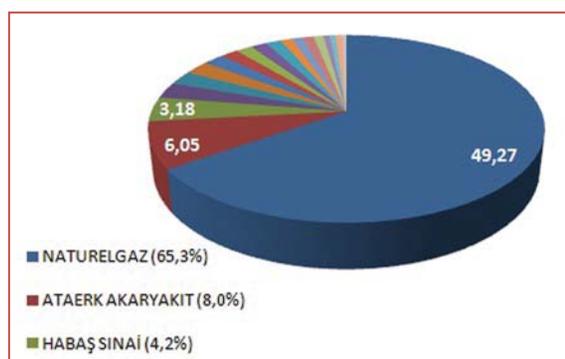


Рис. 2. Объем продаж КПП по компаниям в первом полугодии 2015 г.

Naturelgaz не только занимается реализацией КПП, но и содействует его популяризации, применяя, подчас, нестандартный подход к этой задаче. Так, в компании было создано техническое подразделение по переоборудованию топливной системы автомобилей для использования КПП и государственной регистрации таких транспортных средств. Совместно с компанией NGV Motori (Италия) были разработаны проекты по переоборудованию наиболее популярных моделей ТС на турецком рынке. Мощность конвертационного центра, открытого в январе 2013 г. в Курткёй (Kurtköy, Стамбул), достигает 3200 автомобилей в год. В августе 2013 г. компания стала эксклюзивным дистрибьютором битопливных модулей итальянского производителя Landi Renzo для переоборудования автомобилей в Турции. В 2015 г. заключено партнерское соглашение с фирмой Teknosis, которая представляет инженеринговую компанию Omnitek Engineering Corp. (США, Калифорния) на территории Турции.

В настоящее время Naturelgaz управляет большей частью АГНКС в стране. Строительство газовых заправочных станций ведется, главным образом, на основе концессионных договоров, а заказчиком выступают муниципальные власти крупных городов и агломераций. О намерении построить АГНКС неоднократно заявляли муниципалитеты Эскишехира, Гебзе (ил Коджаэли), Самсуна, Диярбакыра и др. Однако реальная работа по поиску инвесторов или кредиторов, объявлению тендера на строительство и эксплуатацию, закупке или переоборудованию автопарка и т.д. ведется гораздо медленнее, чем об этом заявляют в СМИ, и численность АГНКС остается крайне низкой. Тем не менее, с 2011 г. общее число АГНКС удвоилось, и новые станции, что немаловажно, открыты для публичного доступа (табл. 3).

Таблица 3

АГНКС в Турции (2015 г.)

Провинция	Район	Оператор/бренд	Примечание
Анкара	Чанкая	EGO	Непубличная, 4400 м ³ /ч
Анкара	Енимахалле	EGO	Непубличная, 4400 м ³ /ч
Анкара	Мамак	EGO	Непубличная, 4400 м ³ /ч
Анкара	Алтындаг	EGO	Непубличная, 4400 м ³ /ч
Анкара	Синджан	EGO	Непубличная, 4400 м ³ /ч
Анкара	Мамак	Ataerk Akaryakit/ OMV Petrol Ofisi	
Газиантеп	Шехиткамиль	Ataerk Akaryakit	3 900 м ³ /ч
Кайсери	Коджасинан	Ataerk Akaryakit	
Бурса	Османгази	Tofaş/Habaş Sinai	Непубличная, при заводе Tofaş
Анталья	Дёшемеалты	Naturelgaz	
Бурса	Гюрсу	Naturelgaz	
Сакарья	Адапазары	Naturelgaz	
Измир	Торбалы	Naturelgaz	
Айдын	Герменджык	Naturelgaz	
Текирдаг	Чорлу	Naturelgaz	
Османие	Топраккале	Naturelgaz	
Болу	Болу	Naturelgaz	Взорвалась 24.03.2014 г., восстановлена
Афьонкарахисар	Афьонкарахисар	Naturelgaz	
Маниса	Маниса	Naturelgaz	1500 м ³ /ч
Конья	Каратай	Naturelgaz	
Кайсери	Коджасинан	Naturelgaz	
Ризе	Ризе	Naturelgaz	Нет сведений об открытии для публичного пользования
Дюздже	Дюздже	Naturelgaz	
Коджаэли	Чайырова	Naturelgaz	
Стамбул	Эюп	Naturelgaz	
Стамбул	Байрампаша		Закрыта

Парк газобаллонных автомобилей (ГБА) пока еще очень мал. При регистрации государственными органами ГБА не выделяются в отдельную категорию, и потому статистика таких транспортных средств не ведется. Тем не менее, согласно мониторингу, проводимому Ассоциацией операторов АГНКС (Odider), в марте 2010 г. в стране насчитывалось 3056 ГБА (в том числе 1492 автобуса и 1564 легковых автомобиля). К декабрю 2011 г. их численность увеличилась до 3850 ед. (2000 автобусов и 1850 легковых). С учетом того, что рост парка газомоторных транспортных средств в Турции в 2012-2014 гг. значительно ускорился, в настоящий момент их численность должна составлять около 10 тыс. ед.

Среди наиболее значимых контрактов последних лет по закупке автотехники на ГМТ можно назвать следующие.

Анкара. Крупнейшим оператором автобусов на метане в Турции является перевозчик EGO. С 2006 г. его парк пополняется метановыми автобусами MAN. В настоящее время их насчитывается 1289 ед. (200 сочлененных и 1089 обычных). Компания пользуется пятью собственными АГНКС (по одной в каждом депо), закрытыми для публичного доступа.

Стамбул. В 2012 г. был заключен контракт между перевозчиком IETT и турецким автопроизводителем Karsan на поставку газовых автобусов KARSAN В Avancity+ CNG. На 2015 г. их число в парке IETT составляет 240 ед. Парк второго по величине перевозчика İOŞ в 2012-2013 гг. пополнился 66 газовыми автобусами TCV Karat (на одном из них произошло возгорание в 2015 г.), 18 MAN Lion's City CNG, а также 110 газовыми Temsa Avenue LF. В 2014 г. перевозчик получил еще 24 таких автобуса.

Кайсери. В 2009 г. в городе началась замена парка маршрутных такси, был заключен контракт на приобретение 191 газового миниавтобуса BMC 260 CB. Также в 2009 г. для муниципального автобусного перевозчика были поставлены первые автобусы Belde 281-CB CNG. В декабре 2013 – январе 2014 г. его парк пополнился 16 автобусами TCV Karat L CNG, а в феврале 2014-го еще пятью автобусами MAN. В 2015 г. парк пополнился 30 автобусами Temsa Avenue.

Афьонкарахисар. В 2013 г. в сотрудничестве с Naturelغاز на метан переведены 100 общественных автобусов Otokar Sultan 125S. Результатом стало снижение цены билета на 25 %.

Конья. В июле 2014 г. был заключен контракт на 40 газовых автобусов для муниципального перевозчика. В феврале 2014 г. парк составлял уже 100 ед.

Коджаэли. В 2015 г. муниципалитет объявил тендер на закупку и поставку в течение 210 дней 200 газовых автобусов. Предположительно, все они будут турецкого производства.

Болу. Муниципалитетом были приобретены в июне 2012 г. девять мусороуборочных машин Iveco Stralis. Экономический эффект от внедрения КПП стимулировал власти начать перевод на ГМТ и другого служебного транспорта. Кроме того, в 2012-2014 гг. около 60 частных легковых автомобилей было переведено на КПП.

Одной из первых частных компаний, переоборудовавших часть своих автомобилей на КПП, стала крупная транспортная компания Reysaş Lojistik. В 2012 г. конвертационный центр Naturelغاز осуществил перевод 30 грузовиков Mercedes Ахор с дизельного топлива на метан. В результате топливные затраты на каждый грузовик сократились на 30 %. В 2013 г. был заключен контракт на перевод еще 80 грузовиков, а всего проектом предусматривалось конвертировать 200 машин.

В центре Naturelغاز были переоборудованы и 60 мусороуборочных машин холдинга Albayrak.

Но до сих пор во многих крупных городах и агломерациях, даже имеющих доступ к газовой сети, ТС на метане практически не встречаются.

Текущая непопулярность КПП в качестве автомобильного топлива связана, как и во многих других странах, с неразвитостью сети АГНКС и сервисов по обслуживанию ГБА. В стране отсутствуют газомоторные коридоры, позволяющие пересекать ее территорию без необходимости дозаправки традиционным топливом. Тем не менее на рынке присутствуют компании, заинтересованные в развитии этой отрасли. Опыт внедрения СУГ на транспорте показывает, что эта цель вполне достижима, причем, в умеренные сроки. Высокая стоимость бензина и дизельного топлива (около 1,8 долл. США за литр) является существенным стимулом для поиска путей снижения расходов на топливо, способным преодолеть предубежденность населения по отношению к КПП и удобству его использования.

Неожиданным образом неразвитость газотранспортной системы в Турции сыграла роль не препятствующего, как в большинстве иных стран, а стимулирующего фактора в развитии рынка ГМТ. Высокая потребность в природном газе при невозможности подключения к газопроводу привела к тому, что основным потребителем КПП является не транспорт, а стационарные предприятия. С одной стороны, это привело к появлению в регионах большого числа высокопроизводительных компрессорных станций, с другой – ликвидировало одно из серьезнейших препятствий к развитию сети АГНКС, характерное для европейских стран, – проблему окупаемости АГНКС, связанную с низким спросом на газомоторное топливо из-за ограничения сферы его применения и малочисленности потребителей.

Рынок ГМТ в Турции обладает высоким потенциалом. Уровень автомобилизации населения остается довольно низким, и это послужило причиной создания хорошо развитой сети общественного транспорта, который считается главной сферой роста для парка ТС на ГМТ. В стране насчитывается 211 тыс. автобусов и 427 тыс. микроавтобусов, ежегодно на дорогах прибавляется по 15 тыс. новых единиц таких транспортных средств. В последние годы доля автобусов, оснащенных газобаллонным оборудованием, неуклонно растет.

По ряду причин в стране слабо развит железнодорожный транспорт, и автомобильные грузоперевозки часто не имеют альтернативы. Опыт Reysaş Lojistik показывает, что и в этом сегменте газомоторный транспорт имеет хорошие перспективы.

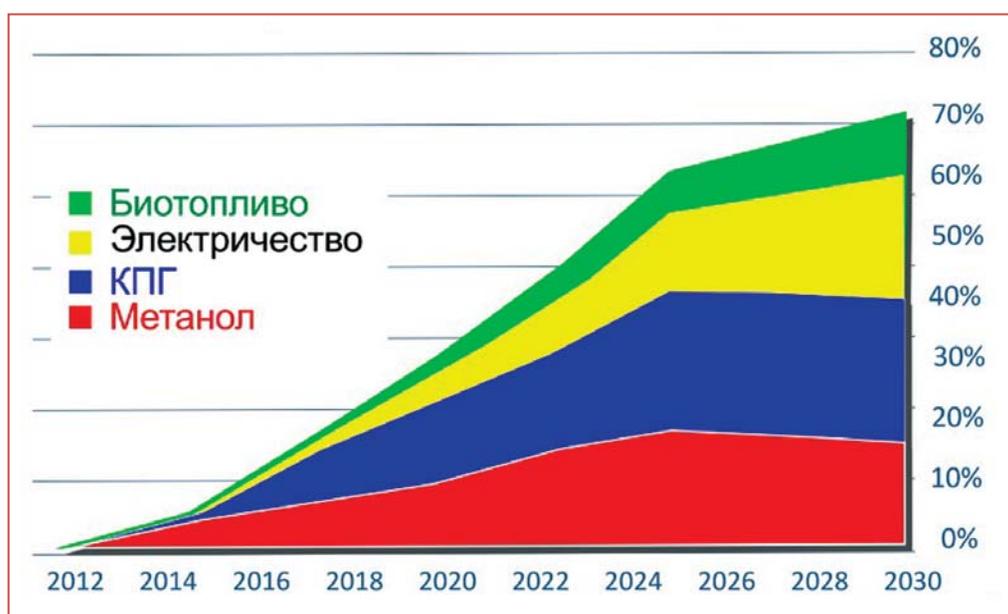
Массовый спрос на ГМТ может сформироваться при внедрении его на водном транспорте. В настоящее время более 30 тыс. судов, зарегистрированных в Турции, в год потребляют около 700 тыс. т топлива.

Власти на всех уровнях признают пользу внедрения ГМТ, однако до сих пор не выработали единой стратегии развития этой сферы. В правительстве страны считают, что после приватизации газовой отрасли расходы на инфраструктуру и обновление газомоторного парка должны нести бенефициары – частные и муниципальные компании, а местные власти ждут от правительства решений по вопросам развития газотранспортной системы внутри страны и строительства (при участии иностранных партнеров) новых мощностей по импорту газа, в частности, проекта «Турецкий поток».

Развитие рынка ГМТ в Израиле

Природный газ как моторное топливо привлек внимание специалистов в Израиле несколько лет назад после открытия нефтегазовых месторождений в Левантском бассейне. В принципе эти запасы (3,45 трлн м³ природного газа и 235 млн т нефти, по оценке американских геологов) во многом предназначены для экспорта. Однако и в самом Израиле этим углеводородам найдется применение. Один из перспективных потребителей – автомобильный транспорт.

Израиль активизирует работы по развитию национального рынка использования природного газа в качестве моторного топлива. Стратегическая задача – к 2025 г. на 60 % сократить потребление импортной нефти, от которой израильский транспорт сегодня зависит на 99 %. Доля природного газа в топливном балансе автотранспорта может к 2030 г. вырасти с сегодняшнего нулевого значения до 20 % и более.



Планируемая структура баланса моторного топлива в Израиле

Израильские эксперты убедились в том, что отработавшие газы (ОГ) метанового двигателя содержат на 95 % меньше частиц, чем ОГ дизельных двигателей, и на 35 % меньше оксидов азота. КПГ открывает возможность снизить выбросы CO₂ на 10...100 %. Мировая практика показывает, что совокупная стоимость владения транспортным средством (total cost of ownership – TCO) при переходе на КПГ сокращается на 10 % и в том числе по топливной составляющей – на 40 %.

Израильская компания Delek Israel в 2014 г. начала строительство национальной сети АГНКС. По первоначальному плану до 2020 г. должны быть построены 40 метановых заправок. Она же заключила семилетний контракт стоимостью 105 млн долл. США на поставку газа с месторождения Тамар.

Крупный израильский автоперевозчик Fridenson Group, эксплуатирующий парк грузовиков и прицепов числом более 140 ед., принял решение о переводе части машин на компримированный природный газ. В частности, планируется покупка грузовиков Iveco Stralis с колесной формулой 4×2 и восьмицилиндровым двигателем Iveco Cursor на КПГ, отвечающим экологическим требованиям Euro VI engine.

Покупка состоится в рамках 10-летней программы Израильской инициативы выбора топлива (Israel's Fuel Choices Initiative – IFCI) с бюджетом 1,5 млрд шекелей (430 млн долл. США). Эту программу курирует служба премьер-министра Израиля, которая подписала с компаниями Fiat/Chrysler, Iveco и Magneti Marelli Меморандум о намерениях создать для Израиля линейку газовых автомобилей. Программа призвана снизить зависимость транспортной индустрии от нефти и поддержать внедрение альтернативных видов моторного топлива.

Кроме грузовиков, Iveco выводит на рынок Израиля городские 12-метровые автобусы на КПП. Эксплуатационные испытания уже начались.

Компания Iveco – не единственный автопроизводитель, желающий завоевать израильский рынок для своих газовых машин. За оформлением соответствующих разрешительных документов также обратились Mercedes Benz и Scania.

Еще в 2012 г. Узи Ландау, в то время бывший министром энергетики и водных ресурсов страны, сказал, что открытие израильского природного газа позволяет побороть зависимость от черного золота. Вместо того, чтобы продолжать загрязнять воздух и финансировать нефтяные корпорации, используя их нефть, израильтяне вскоре смогут переключиться на использование собственного природного газа для своих автомобилей.

В июле 2015 г. в Израиле побывала российская делегация (с участием представителей ООО «Газпром газомоторное топливо») во главе с заместителем министра энергетики Антоном Инюцыным, который среди прочего обсудил с министром национальной инфраструктуры, энергетики и водных ресурсов Израиля Ювалем Штейницем сотрудничество в области использования газомоторного топлива.

По словам А. Инюцына, Россия накопила существенный опыт в части совершенствования законодательства в области регулирования рынка газомоторного топлива, планирования и развития производственно-сбытовой инфраструктуры и технического оснащения ее объектов, который может быть интересен израильской стороне. Россия готова выступить партнером Израиля по запуску пилотных проектов в области использования газомоторного топлива на транспорте. Стороны договорились в ближайшее время разработать дорожную карту по запуску совместного пилотного проекта.

По материалам компаний CNH Industrial N.V,
NGV Global, NGV Today, Минэнерго РФ

Метан на катерах

Использование природного газа на морских и речных судах становится все более популярным. В основном речь идет о замене традиционных видов морского топлива сжиженным природным газом (СПГ) на больших судах различного назначения. О применении КПП на маломерных судах известно немного, хотя работы в этом направлении ведутся уже лет двадцать.

В городке Апекс (Северная Каролина, США) набирает силу компания Blue Gas Marine (BGM), поставившая цель сформировать и развить новый сегмент газомоторного рынка – перевод на КПП и СПГ маломерных судов. Компания разработала комплекты инжекторного оборудования для подвесных моторов Yamaha и Mercury. Переоборудованный двигатель может работать в трех топливных режимах:

на газобензиновой смеси, чистом газе и бензине. Для хранения КПП применяются баллоны 3-го и 4-го типов.

Не будет преувеличением сказать, что одной из первых на этом пути была итальянская фирма Lovato, которая уже более 10 лет назад показывала опытные образцы катеров на СУГ и КПП. Однако в то время в Италии эти работы не получили дальнейшего развития. Может быть, было просто слишком рано.



Катер на КПП с оборудованием компании BGM

А вот на восточном побережье США компания BGM намерена активно развивать этот рынок. Главными преимуществами оборудования BGM являются следующие:

- Снижение удельного расхода топлива на 40 % за счет перевода двигателя на работу на бедных смесях. По убеждению разработчиков, двигатель практически не теряет мощность.
- Интегральное снижение токсичности отработавших газов на 90 %. Этот показатель инженеры компании определяют так: выбросы в атмосферу снижены на 70 %, а выбросы в воду ликвидированы полностью.
- Сокращение затрат на топливо на 70 %. Бензин для лодочных моторов стоит почти 5 долл. США за литр.

Еще одним преимуществом создатели системы называют то, что газовые катера можно заправлять на обычных АГНКС, ведь зачастую их перевозят по шоссе на трейлерах и прицепах.

Кстати, в Самарском РКЦ «Прогресс» по программе выпуска конверсионной продукции делают прогулочные катера «Аквалайн» типа «река–море». При неоднократных посещениях этого славного предприятия (там строили транспортно-заправочный комплекс для СПГ) мы спрашивали заводчан, не планируют ли они сделать газовую версию. Хотя бы один демонстрационный катер? Судя по всему, ЦСКБ пока не созрел. А жаль.

По материалам Fleets & Fuels,
Blue Gas Marine, Boating Industry

КПГ для карьерных самосвалов

74

Калифорнийская компания Quantum Fuel Systems Technologies Worldwide, Inc. объявила о создании и сертификации баллона 4-го типа для КПГ вместимостью по воде 640 л и рабочим давлением 35 МПа. Во время испытания баллон не получил повреждений после того, как по нему проехал самосвал CAT 789C массой 140 т.



Испытание баллона (баллон под передним левым колесом)

Баллон, изготовленный по технологии Q-Lite®, предназначен для комплектации газовых транспортировщиков «Виртуальная труба». Эти машины не следует путать с ПАГЗами, поскольку у них различное назначение. Руководство компании Quantum рассчитывает на рост спроса на баллоны повышенного давления в связи с наличием огромных мировых запасов нерентабельного газа (stranded gas).

Концепция «Виртуальная труба» подразумевает использование автомобилей для доставки потребителям природного газа из различных источников: компрессорные станции, АГНКС, ГРС, истощенные малодебитные (низконапорные) месторождения. Виртуальная труба используется прежде всего там, куда экономически нецелесообразно прокладывать газопровод и где добыча традиционными способами нерентабельна. Такая схема газоснабжения используется во многих странах. В частности, в Болгарии, где по условиям рельефа местности строительство распределительных газопроводов не предполагается.



Самосвал Caterpillar на КПГ

Баллоны компании Quantum для КПГ с рабочим давлением 20 МПа широко используются на американских грузовых автомобилях 6-8-го классов (машины общей массой от 8,8 до 14,9 т и более). Теперь на рынок выведены баллоны

повышенного (35 МПа) давления: первая партия из 100 баллонов уже отгружена одному зарубежному покупателю.

На базе этих баллонов по заказу австралийских горняков компания Quantum ведет разработку бортовой системы хранения КПГ для установки на карьерных самосвалах. Прототип системы повышенного давления (high density CNG system) испытывается на газодизельном самосвале CAT 789C. Вопреки расхожему мнению, горняки вовсе не делают ставку исключительно на СПГ: австралийский опыт показывает, что КПГ также может эффективно применяться на сверхтяжелой технике.

В Австралии прошли успешные испытания автомобиля и баллонов на самосвале Caterpillar 789C с двигателем CAT 3516B.

Работы по газификации карьерных самосвалов с той или иной степенью интенсивности ведутся в Австралии, Белоруссии, Канаде, Китае, России, США. В России, например, прошли испытания газодизельного самосвала Caterpillar на КПГ (на фото). На самосвал были установлены 90 баллонов из легированной стали вместимостью 50 л каждый. Общий запас газа составлял 1000 м³, а вес баллонной кассеты – почти 5 т.



Станция заправки автомобилей компримированным водородом в Германии

В настоящее время осуществляется подготовка проекта по переводу на сжиженный метан карьерных самосвалов на Ковдорском ГОКе (входит в группу ЕвроХим) в Мурманской области. По проекту до конца 2015 г. на СПГ будут переведены несколько самосвалов от различных производителей. В проекте Ковдорского ГОКа участвуют белорусский «БелАЗ», немецкий «Хайнцман», российские «Гелиймаш» и «РариТЭК», американский «Катерпиллар».

Газовые баллоны повышенного давления применяются давно. Например, в СССР газозарядные аэродромные автомобильные станции имели рабочее давление 60 МПа. Российские ПАГЗы работают с давлением 25 и 32 МПа. В Германии построена станция заправки автомобилей компримированным водородом на давления 35 и 70 МПа.

По материалам

NGV Global News, Quantum Fuel Systems Technologies, Gas Energy Australia

Природный газ для пожарных

Чешские пожарные из Края Высочина присоединились к газомоторному клубу. В разных странах – Германии, Италии, России, США, Франции, Чехии и ряде других – уже много лет используют специальную технику на компримированном природном газе. Известно о применении метана на военных, полицейских автомобилях, каретах скорой помощи, почтовых машинах. И вот пожарные Йиглавы – столицы Чешской Высочины – приняли на вооружение две пожарных машины на КПГ.

Спецавтомобили собраны на шасси газового Iveco Daily и предназначены для тушения пожаров на объектах с наличием электрооборудования и в электроустановках.



Передача пожарным ключей от новых машин

На машинах стоят углекислотные пеногенераторы. Углекислый газ под давлением хранится в 12 баллонах, каждый из которых вмещает по 30 кг газа. При тушении пожара газ с высокой скоростью истекает из баллонов, расширяется, переходит в твердое состояние и образует на очаге пламени шапку белой холодной пены. Это дало повод назвать машину «Белоснежка».



Пожарная машина Ivesco Daily на КПГ

Природный газ находится в штатной системе хранения, вмещающей 34 кг природного газа. Этого запаса хватает на 350 км. Стоимость этого пробега на метане теперь сократится вдвое по сравнению с дизельным топливом. Экономические преимущества природного газа наряду с повышенной экологической безопасностью являются главным мотивом бюджетных организаций для перехода на этот вид топлива.

В Высочинском проекте приняла участие немецкая компания E.ON, которая спонсировала проект на 128 тыс. евро – половину стоимости двух автомобилей.

По материалам <http://www.vysocinasetrienergii.cz>, <http://www.ngvglobal.com>,
Czech Gas Association

Автомобиль на водородных топливных элементах

В продолжение работ, начатых в 2005 г., компания BMW в этом году создала на базе модели пятой серии Gran Turismo демонстрационный электромобиль на водородных топливных элементах (Fuel Cell Electric Vehicle – FCEV). Топливные элементы осуществляют превращение химической энергии топлива непосредственно в электричество, которое используется для электродвигателя машины.

На автомобиле BMW Gran Turismo FCEV установлены:

- аккумулятор, используемый в рамках корпоративных концепций eDrive и iDivision;
- криогенный (-210...-230 °С) баллон 3-го типа для сжатого водорода;
- двухступенчатая гидравлическая АКПП;
- топливные элементы компании Toyota.

Баллон имеет сложную конструкцию, включающую усиленную сталью алюминиевый лайнер, силовую обмотку из углеродистого волокна, изотермический экран, внешний вакуумный контейнер, приваренные днища из литого алюминия. Рабочее давление баллона – 35 МПа. Баллон вмещает 7,1 кг водорода (237 кВт), что обеспечивает пробег в 500 км. Бездренажное хранение водорода исчисляется неделями. Порог переключения АКПП – на скорости 80...90 км/ч.

Топливные элементы для автомобиля разработаны компанией Toyota. Они собираются в блоки по 200-400 панелей в зависимости от требуемой мощности. Блок имеет ресурс 5 тыс. часов, что обеспечивает пробег 200 тыс. км.

Современные электромобили, как правило, относятся к категории мини- и микроавтомобилей, предназначенных для внутригородских поездок. Общим недостатком таких электромобилей является ограниченный пробег – 130 км и длительное время подзарядки аккумуляторов – до 3 часов. А вот BMW Grand Turismo – это уже пятидверный хэтчбек большого класса для дальних поездок с минимальным временем заправки водородом.

При работе на малых нагрузках и движении вперед КПД топливных элементов составляет 65 %. При повышении нагрузки КПД снижается до 45 %, что, однако, лучше, чем у дизельного и тем более бензинового двигателя – 36 %. Экспериментальная машина разгоняется с 0 до 100 км/ч за 8,4 сек.

Работы над водородными электромобилями ведутся в Германии, КНР, США, Южной Кореи, Японии. Последняя не только работает над автомобилем и топливными элементами, но и водородной инфраструктурой. На Олимпийских играх 2020 г. Япония планирует продемонстрировать прорыв в этом направлении. В Германии же работают 50 водородных заправок, а к 2023 г. их должно быть минимум 400.

По материалам Horatiu Voeriu. Test Drives | July 2nd, 2015. <http://www.bmwblog.com/>



Баллон для криокомпримированного водорода



Заправка автомобиля BMW водородом

Abstracts of articles

P. 12

Improving the efficiency of the economy through technology using CNG and LNG

Boris Rachevsky

The urgency of the problem of the Russian economy efficiency increase is shown in the article. The suggestions on solving the problem by substituting technologies of used oil with compressed and liquefied natural gas are given.

Keywords: economy, the use of oil, gas-vehicle market, CNG, LNG, training.

References

1. Rachevsky B.S. Liquefied petroleum gas LPG, LNG, GTL. – M.: Oil and Gas, 2009. – 640 p.
2. The prospect of Russian gas vehicle market in figures. <http://www.gazpronin.ru/GazPronin2013.shtml>.
3. The global market for CNG as of April 2015 // *Alternative Fuel Transport*. – 2015. – № 3 (45). – S. 76–77.
4. Blue Corridor – 2014: The road to Milan. <http://www.gazpronin.ru/GazPronin2013.shtml>.
5. Methane in military vehicles // *Alternative Fuel Transport*. – 2015. – № 3 (45). – S. 70–71.

P. 18

An effective tool for gas-vehicle trend development in Russia

Maxim Korotkov

The discussion of topics covered in number 2 (44) 2015 is continued. In particular, we are talking about energy service contracts as an effective tool of development of gas utilization in Russia as a motor fuel, proposed by the Group of companies “Gazprom Gazenergoset.”

Keywords: energy service contracts, gas fuel, economic efficiency, market gas fuel development.

P. 27

Analysis of the efficiency of the production process at CNG filling station

Andrew Evstifeev

The results of processing and analysis of statistical data from existing stations are given. The main reasons for rejecting the conventional unit volume refueling vehicle compressed natural gas, the approach to the analysis of the energy efficiency of the production process on CNG are analyzed.

Keywords: gas motor fuel; NGV filling stations; traffic flow; filling volume of the unit; charging efficiency.

References

1. L.M. Shugurov Cars of Russia and USSR. Volume 1. – M.: ILBI, 1993. – 256 p.
2. Transport of Russia. Information and statistical bulletin. January–December 2014 the Ministry of Transport of the Russian Federation. http://www.mintrans.ru/upload/iblock/5cd/stat_2014.pdf
3. Evstifeev A.A. Provision of municipal bus fleets metropolis gas motor fuel // *Gas industry*. – 2014. – № 2. – S. 86–89.
4. Evstifeev A.A. A mathematical model of the process refueling CNG vehicles on CNG // *Alternative Fuel Transport*. – 2014. – № 1. – S. 24–31.
5. Evstifeev A.A. The methodology for constructing efficient and continuous improvement of the regional network // *Alternative Fuel Transport*. – 2014. – № 3. – S. 53–60.
6. Hovorov G.A. Kozlov S.I., Akopova G.S., A.A. Evstifeev Reduction of losses of natural gas for transportation through trunk pipelines of JSC “Gazprom” // *Gas industry*. – 2013. – № 12. – S. 66–69.
7. Evstifeev A.A. Calculation of system reliability of gas supply of motor fuel to consumers // *Alternative Fuel Transport*. – 2013. – № 4 (34). – S. 61–65.
8. Evstifeev A.A. Zaeva M.A., Y.A. Hetagurov The use of mathematical modeling in testing and testing of complex technical systems // *Bulletin of the National Research Nuclear University MEPI*. – 2013. – T. 2. – № 1. – S. 115.
9. Evstifeev A.A. Multi-Criteria Equipment Control in Complex Engineering Systems // *Asian journal of applied sciences*. – 2015. – Vol. 8. – i.1. – P. 86–91.

P. 34

Research of nitrogen oxydes synthesis in diesel engines and HCCI-engines

Vjacheslav Kamaltdinov, Vladimir Markov

A mathematical model of fuel combustion processes in a diesel engine is presented. Using this model calculation analysis for the combustion process of a homogeneous air-dimethyl ether mixture is carried out. According to the results of calculation, the analysis of influence of inert components of air-fuel mixture on the combustion process characteristics and emission of nitrogen oxides in a diesel engine is carried out.

Keywords: diesel engine, HCCI-engine, nitrogen oxides, diesel fuel, natural gas, dimethyl ether, combustion process.

References

1. Internal combustion engines: Design and operation of reciprocating engines and combined / V.P. Alekseev, V.F. Voronin, L.V. Grekhov et al., Ed. A.S. Orlin, M.G. Kruglov. – M.: Engineering, 1990. – 288 p.
2. Engineering. Encyclopedia. Volume IV. Internal combustion engines / L.V. Grekhov, N.A. Ivashchenko, V.A. Markov et al., Ed. A.A. Alexandrov, N.A. Ivashchenko. – M.: Engineering, 2013. – 784 p.
3. Grekhov L.V., Ivashchenko N.A., Markov V.A. Fuel equipment and control systems of diesel engines. – M.: Publishing House of the “Legion Avtodata”, 2005. – 344 p.
4. Kulchytsky A.R. The toxicity of automobile and tractor engines. – Vladimir: Publishing House of Vladimir State University, 2000. – 256 p.
5. Gorbunov V.V., Patrahaltsev N.N. Toxicity of internal combustion engines. – M.: Publishing House of the Peoples’ Friendship University, 1998. – 216 p.
6. Evaluation and control particulate matter emissions from the exhaust gases of diesel engines / V.A. Zvonov, G.S. Kornilov, A.V. Kozlov and others. – M.: Publishing House of the “Prima-M-Press”, 2005. – 312 p.
7. Markov V.A., Bashirov R.M., Gabitov I.I. The toxicity of the exhaust gases of diesel engines. – M.: Publishing House of the MSTU. Bauman, 2002. – 376 p.
8. Likhanov V.A., Saykin A.M. Reduced toxicity of automotive diesel engines. – M.: Kolos, 1994. – 224 p.
9. Zvonov V.A. Toxicity of internal combustion engines. – M.: Engineering, 1981. – 160 p.
10. Smaylis V.I. Current status and problems of the new diesel-engine ecology // *Engine building*. – 1991. – № 1. – PP. 3–6.
11. Kind W., Jacob E., Muller W. NO_x – Verminderung bei Dieselmotoren // *MTZ*. – 2001. – Jg.62. – № 1. – S. 70–78.
12. Needham J.R., Doyle D.M., Nicol A.J. The Low NO_x Truck Engine // *SAE Technical Paper Series*. – 1991. – № 910731. – P. 1–10.
13. Gusakov S.V., Mahmoud Mohamed Elgobashi Elhagar. Torque control ignition engine with spontaneous ignition by compression by adding dimethyl ether at work on LNG // *Alternative Fuel Transport*. – 2009. – № 4. – PP. 22–27.
14. Kamaltdinov V.G., Markov V.A. Effect of inert components in the working mixture in the combustion process in engines with

- compression ignition // AGZK + AT. – 2013. – № 10. – S. 24–31.
15. Markov V.A., Sirotin E.A. Management EGR diesel vehicles // Vestnik MSTU. – 2002. – № 4. – S. 85–97.
16. Gusakov S.V., Mahmoud Mohamed Elgobashi Elhagar, Epifanov I.V. Assessing the impact of DME in the mixture of natural gas to work with homogeneous self-ignition internal combustion engines // Alternative Fuel Transport. – 2010. – № 2. – S. 10–13.
17. Kong S.C. A study of natural gas / DME combustion in HCCI engines using CFD with detailed chemical kinetics // Fuel. – 2007. – Vol. 86. – P. 1483–1489.
18. Chen Z., Konno M., Oguma M., Yanai T. Experimental study of CI natural-gas / DME homogeneous charge engine // SAE Technical Paper Series. – 2000. – № 2000-01-0329. – P. 1–10.
19. Ramos J.I. Internal combustion engine modeling. – New York: HPB, 1984. – 422 p.
20. Kuleshov A.S. Model for Predicting Air-Fuel Mixing, Combustion and Emissions in DI Diesel Engines over Whole Operating Range // SAE Technical Paper Series. – 2005. – № 2005-01-2119. – P. 1–10.
21. Zlotin G.N., Fedyanov E.A., Itkis E.M., Kuzmin V.N. Mathematical modeling of indicator process engine with spontaneous ignition by compression of a homogeneous mixture of methane // Coll. scientific. Intern works. Conf. “Engine 2007”, dedicated to the 100th anniversary of the school engine MSTU. NE Bauman. – M.: MSTU Bauman, 2007. – C. 57–61.
22. Dubovkin N.F. Handbook on thermos-physical properties of hydrocarbon fuels and their combustion products. – M.–L.: Gosenergoizdat, 1962. – 288 p.
23. Basics of practical combustion theory: Textbook / Ed. V.V. Pomerantsev. – L.: Energy, 1973. – 263 p.
24. Quick Reference physico-chemical variables / Ed. A.A. Ravdel and A.M. Ponomareva. – 8th ed., Rev. – L.: Chemistry, 1983. – 232 p.
25. Kitamura T., Ito T., Kitamura Y., Ueda M., Senda J., Fujimoto H. Soot kinetic modeling and empirical validation on smokeless diesel combustion with oxygenated fuels // SAE Technical Paper Series. – 2003. – № 2003-01-1789.
26. Suyin G., Hoon Kiat N., Kar Mun P. Homogeneous Charge Compression Ignition (HCCI) combustion: Implementation and effects on pollutants in direct injection diesel engines // Applied Energy. – 2011. – Vol. 88. – P. 559–567.
27. Gao Z. Using a phenomenological computer model to investigate advanced combustion trajectories in a CIDI engine / Z. Gao, RM Wagner, C.S. Sluder, C.S. Daw, J.B. Green Jr. // Fuel. – 2011. – Vol. 90. – P. 1907–1918.

P. 47

Thermal modes of motor cylinder with a polymer liner when downloading and expenditure of methane

Svetlana Belousova, Vladimir Zarubin, Evgeny Krylov, Jacov Osadchiy

This article is a continuation of [1, 2, 3].

A mathematical model of thermal processes in the automotive cylinder liner polymer during injection and expenditure of methane is developed. This model is combined with the equation of state for this methane is most closely correlated with the experimental data used to calculate the change in its temperature and cylinder design elements at different rates of injection and consumption of methane. The connection parameters defining the mode of injection, with a final weight of methane in the tank and found the impact of the initial state of the methane in the cylinder at the time variation of the temperature and the structural elements of the cylinder when it is empty are given.

Keywords: thermal model, the balloon with a polymer liner, the equation of state of methane.

References

1. Belousova S.Y., Zarubin V.S., Osadchiy Y.G. Mathematical model of thermal processes in automotive methane cylinders // Alternative Fuel Transport. – 2014. – № 4. – Pp. 5–13.
2. Belousova S.Y., Zarubin V.S., Osadchiy Y.G. Numerical modeling of the thermal state of the metal-cylinder car in spending methane // Alternative Fuel Transport. – 2015. – № 1. – Pp. 12–21.
3. Belousova S.Y., Zarubin V.S., Osadchiy Y.G. Numerical modeling of the thermal state of the metal-cylinder car in filling methane // Alternative Fuel Transport. – 2015. – № 3. – Pp. 15–24.
4. GOST R 51753–2001. High pressure cylinders for compressed natural gas used as a fuel for automotive vehicles. General specifications. 01.01.2002. Code ACS 43,020. State Standard of Russia. Moscow.
5. GOST 16338–85. Low-pressure polyethylene. Technical conditions. 1.1.87. OKP 22 1112 22 4391. CSC L27. State Standard of Russia. Moscow.
6. Setzmann U., Wagner W. A new equation of state and tables of thermodynamic properties for methane covering the range from melting line to 625 K at pressures up to 100 MPa / J. Phys. Chem. Ref. Data. 1991. – V. 20. 6. – P. 1061–1155.
7. Zarubin V.S. Mathematical modeling technique. – M.: Publishing House of the MSTU N.E. Bauman, 2010. – 496 p.
8. Zarubin V.S. Simulation. – M.: Publishing center “Academy”, 2013. – 336 p.
9. RD 3112194–1095–03. Guidelines for the organization and operation of natural gas vehicles operating on compressed natural gas. The Ministry of Transport of the Russian Federation. Road Department. FSUE NIIAT. – 2002 – 59.
10. Handbook of physical and technical fundamentals of cryogenics / Ed. M.P. Malkov. – M.: Energoatomizdat, 1985. – 432 p.

P. 61

Fuel efficiency and output of combined diesel-steam power plants for ships

Jury Antipov, Nikolay Patrakhaltsev, Ivan Shatalov, Xenia Zhemchuzhnikova

The use of diesel exhaust gases for turbine steam preparing allows to construct power plant with efficiency and output on 20-25 % higher, than by diesel.

Keywords: diesel for ships, steam turbine installation, output and efficiency.

References

1. Tsaneva S.V., Burov V.D., Remizov A.N. Gas turbine combined-cycle plants and thermal power plants. – M.: Publishing House MPEI, 2006. – 584 p.
2. Shatalov I.K., Barsky I.A. Control characteristics gas turbines, circuits and determination of the main parameters of vocational schools. – M.: Publishing House of the Peoples’ Friendship University of Russia, 2003. – 122 p.
3. Vansheydt V.A. Ship internal combustion engines. – L.: Sudpromgiz, 1970. – 639 p.
4. Antipov Y.A., Barsky I.A., Kiryushkin A.A. The temperature of the exhaust gas of engines // Bulletin of the Peoples’ Friendship University of Russia, a series of “Engineering Research”. – 2007. – № 2. – S. 42–44.

P. 65

Features and Prospects of Turkish CNG Market

Juriy Danovich

Although CNG consumption volumes in Turkey are still low, and infrastructure remains undeveloped, the market of CNG displays a stable growth trend. Looking forward, Turkish CNG market is of high interest for Russia in the context of planned natural gas exports expansion.

Keywords: compressed natural gas, gas-vehicle market, CNG filling station.

Авторы статей в журнале № 5 (47) 2015 г.

Антипов Юрий Александрович, к.т.н., доцент кафедры теплотехники и тепловых двигателей инженерного факультета РУДН, р.т.: (495) 952-60-41, e-mail: rudn-tit@yandex.ru

Белюсова Светлана Юрьевна, ведущий инженер ЗАО НПП «Маштест», тел. (495) 513-46-92, e-mail: svtlnbelousova@gmail.ru

Данович Юрий Владимирович, аналитик, м.т. (921) 352-12-76, e-mail: ydanovich@gmail.com

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

Жемчужникова Ксения Николаевна, студент магистратуры кафедры теплотехники и тепловых двигателей инженерного факультета РУДН, м.т.: 905 125-91-12, e-mail: kseniazhemchuzhnikova@bk.ru

Зарубин Владимир Степанович, д.т.н., Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, профессор кафедры «Прикладная математика», м.т. (915) 427-36-11, e-mail: zarubin@bmstu.ru

Камалтдинов Вячеслав Гилимянович, д.т.н., профессор кафедры «Двигатели внутреннего сгорания» Южно-Уральского государственного университета, г. Челябинск, тел. (951) 777-00-11

Коротков Максим Владиславович, начальник отдела розничной реализации КПП и СПГ АО «Газпром газэнергосеть», к.т.н., доцент, в.т.: 7 (495) 777-77-97 (доб. 1220), м.т.: 8 915 248-46-87; e-mail: M.Korotkov@gazpromlpg.ru

Крылов Евгений Николаевич, заместитель генерального директора ЗАО НПП «Маштест», тел. 8 (495) 513-40-41, 513-40-98, 513-46-92, e-mail: mashtest@mashtest.ru,

Марков Владимир Анатольевич, д.т.н., профессор кафедры «Теплофизика» МГТУ им. Н.Э. Баумана, м.т. 8 917 584-49-54, р.т. (499) 263-69-18, e-mail: markov@power.bmstu.ru

Осадчий Яков Григорьевич, д.т.н., генеральный директор ЗАО МАШТЕСТ, р.т. (495) 513-40-98, e-mail: mashtest@mashtest.ru

Патрахальцев Николай Николаевич, профессор кафедры теплотехники и тепловых двигателей инженерного факультета Университета дружбы народов, д.т.н., р.т. 952-62-47, д.т. 680-16-88, м.т. 8-915-278-54-06, e-mail: nikpatrah@mail.ru

Пронин Евгений Николаевич, главный специалист ООО «Газпром экспорт», руководитель РК5 Международного газового союза, тел.: (499) 503 62 52, e-mail: e.pronin@mail.ru

Рачевский Борис Семенович, профессор Российского государственного университета нефти и газа имени И.М. Губкина, ген. дир. ЗАО «НефтеГазТоп», д.т.н., (499) 782-31-95, 782-33-62, 782-34-27, м.т. 210-65-34, e-mail: info@neftegaztop.ru

Шаталов Иван Касьянович, к.т.н., профессор кафедры теплотехники и тепловых двигателей инженерного факультета Российского университета дружбы народов (РУДН), д.т.: (495) 313-53-06, р.т.: (495) 952-60-41, м.т. 916 684-76-03, e-mail: rudn-tit@yandex.ru

Contributors to journal issue № 5 (47) 2015

Antipov Yuriy, PhD, Associate Professor of Russian Peoples' Friendship University (RPFU), Moscow, phone: +7 (495) 952-60-41, e-mail: rudn-tit@yandex.ru

Belousova Svetlana, senior engineer, JSC Scientific and Production Enterprise «Mashtest», phone: +7 (495) 513-46-92, e-mail: svtlnbelousova@gmail.ru

Danovich Iurii, analyst, phone: +7 (921) 352-12-76, e-mail: ydanovich@gmail.com,

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

Kamaltdinov Vjacheslav, D. Sc. (Eng.), professor of «Internal combustion engines» department of the South Ural State University, Chelyabinsk, phone: +7 (951) 777-00-11

Korotkov Maxim, Head of the Gas Usage and Development Department «Gazprom gazenergoset», Ph.D., Russian Federation, Moscow, st. Profsoynaya, b. 125, 117647 phone: +7 (495) 777-77-97 (ext. 1220), e-mail: m.korotkov@gazpromlpg.ru

Krylov Eugeny, deputy general manager, JSC Scientific and Production Enterprise «Mashtest», phone: +7 (495) 513-40-41, 513-40-98, 513-46-92, e-mail: mashtest@mashtest.ru

Markov Vladimir, D. Sc. (Eng.), professor of «Heat Physics» department of the Bauman Moscow State Technical University, phone: +7 917 584-49-54

Osadchy Yakov, PhD, Engng. general manager, JSC Scientific and Production Enterprise «Mashtest», phone: +7 (495) 513-40-98, e-mail: mashtest@mashtest.ru

Patrakhaltsev Nikolay N., Dr.Sc., prof. of Department of Thermotechnics and Thermal Engines of RPFU, Russian Peoples' Friendship University (RPFU), Moscow, e-mail: nikpatrah@mail.ru

Pronin Eugene, Chief Specialist, Gazprom Export, IGU WOC5 Chairman, +7 499 503 62 52, e-mail: e.pronin@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

Shatalov Ivan, PhD, prof. of Department of Thermotechnics and Thermal Engines of RPFU, Russian Peoples' Friendship University (RPFU), Moscow, phone: +7 (495) 952-60-41, 916 684-76-03, e-mail: rudn-tit@yandex.ru

Zarubin Vladimir, Doctor of Technical Sciences, professor of the Bauman Moscow State Technical University, phone: +7 (915) 427-36-11, e-mail: zarubin@bmstu.ru

Zhemchuzhnikova Xenia, graduate student of Department of Thermotechnics and Thermal Engines of RPFU, Russian Peoples' Friendship University (RPFU), Moscow, phone: +7 905 125-91-12, e-mail: kseniazhemchuzhnikova@bk.ru