



ТРАНСПОРТ

НА АЛЬТЕРНАТИВНОМ ТОПЛИВЕ

МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ

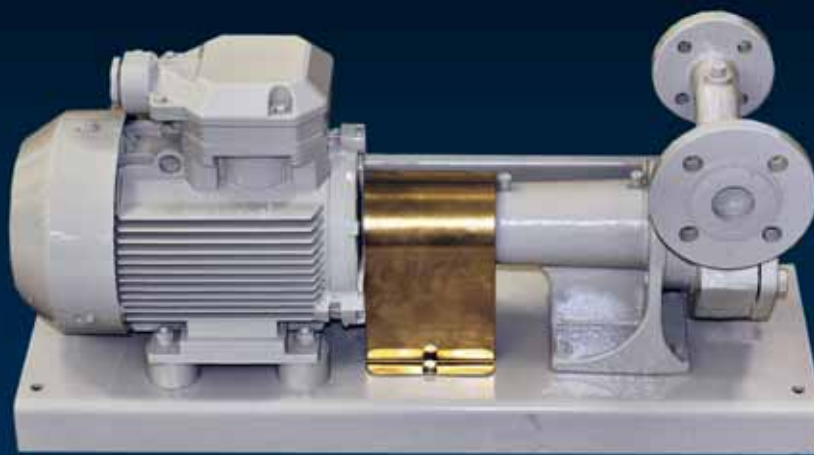
ЖУРНАЛ № 2 (32) 2013

ЖУРНАЛ ВКЛЮЧЕН В ПЕРЕЧЕНЬ ВАК

НАЦИОНАЛЬНАЯ ГАЗОМОТОРНАЯ АССОЦИАЦИЯ



АФФИЛИРОВАНА
С МЕЖДУНАРОДНЫМ ГАЗОВЫМ
СОЮЗОМ



Насосы и насосные агрегаты Corken FD-150

производительность – 90 л/мин • максимальное дифференциальное давление – 1,05 МПа • максимальная потребляемая мощность – 5,5 кВт

• лазерная центровка насосных агрегатов • постоянное наличие на складе в Санкт-Петербурге • цена – 79,9 тыс. руб.



(495) 647 0577 • (812) 335 4950 • 318 7580 • COMPRESSOR@FAS.SU • HGK@FAS.SU

WWW.FAS.SU

Моторное топливо для зон с холодным климатом

Кредитование создания двухтопливных вертолетов Ми-8

Подготовка специалистов для газомоторной отрасли

**Международный научно-технический журнал
«Транспорт на альтернативном топливе»
№ 2 (32) / 2013 г.**

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

Учредитель и издатель

НП «Национальная газомоторная
ассоциация» (НГА)

Периодичность

6 номеров в год

Главный редактор

П.Г. Цыбульский

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

Члены редакционной коллегии

Б.В. Будзуляк

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

В.И. Ерохов

профессор «МАМИ», д.т.н.

Н.Е. Игнатьева

заместитель главного редактора

Р.З. Кавтарадзе

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

Т.В. Климова

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

С.И. Козлов

профессор, д.т.н.

В.А. Марков

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

А.В. Николаенко

ректор «МАМИ», профессор, д.э.н.

Ю.В. Панов

профессор МАДИ, к.т.н.

Н.Н. Патрахальцев

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

Е.Н. Пронин

исполнительный директор НГА

В.Л. Стативко

вице-президент НГА, к.т.н.

В.Н. Фатеев

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

Редактор

О.А. Ершова

Отдел подписки и распространения

В.А. Ионова

Компьютерная верстка

Ф.А. Игнащенко

Адрес редакции:

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

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

E-mail: transport.1@ngvrus.ru

www.ngvrus.ru

Отпечатано с готовых диапозитивов в ООО «Принт-Лидер»,
117186, Москва, ул. Нагорная, д. 15, корп. 8

Номер заказа

Сдано на верстку 25.02.2013 г.

Подписано в печать 25.03.2013 г.

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

Печать офсетная, печ. л. 10,5

При перепечатке материалов ссылка на журнал
«Транспорт на альтернативном топливе» обязательна.

Редакция не несет ответственности за достоверность информации,
опубликованной в рекламных материалах.

**На обложке:
реклама ООО «Химгазкомплект»**

В НОМЕРЕ:

Газификация российского автотранспорта 3

А.А. Евстифеев, М.Л. Балашов
Методика определения границы экономической эффективности
перехода на природный газ в качестве моторного топлива 4

**Л.А. Гнедова, К.А. Гриценко, Н.А. Лапушкин,
В.Б. Перетряхина, И.В. Федотов**
Применение различных видов моторного топлива
в условиях Сибири и Крайнего Севера 6

О.В. Тайлаков, Д.Н. Застрелов, В.О. Тайлаков, С.В. Соколов
Перспективы использования метана угольных пластов в Кузбассе 12

Газпром развивает рынок газомоторного топлива 15

От Урала до Парижа на КПП 16

П.Г. Теремьякин, А.И. Латыпов
Компримированный природный газ
в двухтопливных двигателях с искровым зажиганием 18

Стратегия Евросоюза 23

В.П. Зайцев
Сроки возврата кредита при модификации вертолетов Ми-8 в двухтопливные 24

А.С. Хачиян, И.Г. Шишлов, Д.М. Карпов
Сравнительный анализ циклов газового
и газодизельного двигателей большой размерности 30

Р.З. Кавтарадзе, А.А. Зеленцов, В.М. Краснов, Е.В. Климова
Исследование локального образования оксидов азота в водородном дизеле 34

В.М. Фомин, В.Ф. Каменев, М.В. Хергеледжи
Бортовое генерирование водородосодержащего газа
для транспортных двигателей 41

С.П. Горбачев, И.С. Медведков
Частичное сжижение природного газа в малотоннажных установках
с блоком низкотемпературной очистки 48

В.А. Марков, С.Н. Девянин, В.В. Маркова
Методики определения оптимального состава смесевых биотоплив
на основе растительных масел 52

И.Ф. Гумеров, Р.Х. Хафизов
Снижение выбросов твердых частиц с отработавшими газами на двигателях V8 60

Новости отрасли 63

В.И. Карагусов, В.Л. Юша, И.В. Карагусов
Термоакустический ожижитель природного газа для заправки речных судов 66

А.В. Николаенко, В.И. Ерохов
Подготовка специалистов и преподавателей
для газомоторного комплекса страны 69

Аннотации на английском языке 76

Авторы статей в журнале № 2 (32) 2013 г. 78



'Alternative Fuel Transport' international science and technology journal, No. 2 (32) 2013

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

Printed Matter Registration Certificate No. FS77-30114

Founder and Publisher

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

Published

6 issues a year

Editor-in-Chief

Tsybulsky, P.G.

Director General of Gazprom VNIIGAZ, PhD

Editorial board members

Budzulyak, B.V.

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

Erokhov, V.I.

MAMI Professor, Doctor of Engineering

Ignat'eva, N.E.

Deputy Editor-in-Chief

Kavtaradze, R.Z.

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

Klimova, T.V.

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

Kozlov, S.I.

Professor, Doctor of Engineering

Markov, V.A.

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

Nikolaenko, A.V.

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

Panov, Yu.V.

Professor of MADI (GTU), Candidate of Science

Prakhaltsev, N.N.

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

Pronin, E.N.

Executive Director, NGVRUS

Stativko, V.L.

vice-president, NGVRUS, Candidate of Science

Fateev, V.N.

Deputy Director of RNC Kurchatovsky Institute, Doctor of Chemistry

Editor

Ershova, O.A.

Subscription and Distribution

Department

Ionova, V.A.

Editorial office address:

304 - 11, Luganskaya str., 115304, Moscow

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

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

www.ngvrus.ru

Order number

Passed for press on 25.02.2013

Endorsed to be printed on 25.03.2013

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

Offset printing, 10,5 conditional printed sheets

When copying materials, a reference 'Alternative Fuel Transport' International Scientific and Technical Magazine is obligatory.

The editors are not responsible for accuracy of the information contained in advertising matter.

CONTENTS

Andrey Evstifeev, Michael Balashov

Technique of definition of border of economic efficiency of transition to natural gas as motor fuel 4

Lyudmila Gnedova, Kirill Gritsenko, Nikolay Lapushkin, Vera Peretryakhina, Igor Fedotov

Application of various kinds of motor fuel in the conditions of Siberia and the 6

Oleg Taylakov, Denis Zastrelov, Vitaly Taylakov, Sergey Sokolov

Prospects of Coal Mine Methane in Kuzbass 12

Pavel Teremyakin, Artur Latypov

Regarding CNG applying in bi-fuel engines with spark ignition 18

Vjacheslav Zajtsev

Terms of credit repayment referring to two-fuel modification of helicopter Mi-8 24

Alexey Khachian, Ivan Shishlov, Danila Karpov

Comparative Analyses of Cycles in Case Gas and Dual Fuel Engines as Applied to Big Size Application 30

Revaz Kavtaradze, Andrey Zelentsov, Vladimir Krasnov, Yevgeniya Klimova

Investigation of Local Formation of Nitric Oxides in Hydrogen Diesel Engine 34

Valery Fomin, Vladimir Kamenev, Mikhail Hergeledzhi

Onboard generation of hydrogen-containing gas for vehicle engines 41

Stanislav Gorbachev, Ilya Medvedkov

Partial liquefying of natural gas in small-scale installations with the unit of low-temperature purification 48

Vladimir Markov, Sergey Devyanin, Vera Markova

Evaluation Method for Optimized Composition of Mixture Fuels Based on Vegetable Oils 52

Irek Gumerov, Rinat Khafizov

How to achieve the required levels of PM emissions in V8 engines 60

Vladimir Karagusov, Vladimir Yusha, Ivan Karagusov

Thermoacoustic Liquefier of Natural Gas for Filling of River Vessels 66

Andrey Nikolaenko, Viktor Yerokhov

Methodological problems and the practical results of training teachers and NGV industry of the country 69

Abstracts of articles 76

Contributors to journal issue No. 6 (30) 2012 79



Газификация российского автотранспорта

В 2012 г. ОАО «Газпром» активизировал работу по развитию региональных рынков газомоторного топлива. Предложения по совместному развитию газомоторной инфраструктуры были направлены в 69 субъектов РФ, участвующих в Программе газификации. В настоящее время в 10 регионах сформирован перечень пилотных инвестиционных проектов по строительству АГНКС, разработаны ТЭО и приняты решения о начале строительных работ уже в текущем году. В шести регионах завершается разработка ТЭО. В 23 регионах проводится работа по определению мест предполагаемого строительства АГНКС.

В феврале председатель совета директоров ОАО «Газпром» Виктор Зубков провел ряд рабочих встреч, на которых обсуждались вопросы развития рынка газомоторного топлива в России. Участниками встреч стали руководители российских и зарубежных компаний, занимающихся производством автомобильной техники, оборудования для АГНКС, автоперевозками, производством и продажей газомоторного топлива: ОАО «КАМАЗ», ООО «РариТЭК», УК «Группа ГАЗ», ООО «Волгабас», ОАО «АВТОВАЗ», ООО «СТОПК», ООО «Газпром экспорт», Gazprom Germania GmbH, MAN Truck & Bus Rus, Bauer compressors Ltd, Iveco Russia. Во встречах принимал участие заместитель председателя правления ОАО «Газпром» Виталий Маркелов.

Состоялся обмен информацией по вопросам производства

газомоторной автомобильной и специальной техники, обсуждались меры по стимулированию его развития, организации сервисного обслуживания и газомоторной инфраструктуры в регионах, а также предложения по изменению отечественного законодательства в этой сфере.

В ходе встреч Виктор Зубков отметил, что главная задача сегодня – систематизировать разрозненную работу по газификации автотранспорта в России, скоординировать усилия автопроизводителей, газовиков и субъектов Российской Федерации, а также внести необходимые изменения в нормативно-правовую базу.

Основную роль здесь должна сыграть недавно созданная компания ООО «Газпром газомоторное топливо»

– единый оператор Газпрома в этой области, где будут консолидированы все профильные активы производства и сбыта газомоторного топлива.

Виктор Зубков подчеркнул, что Газпром в 2013 г. включил в Программу газификации российских регионов пилотные проекты строительства АГНКС и газификации автотранспорта. Пилотные проекты будут реализовываться в регионах, уже имеющих опыт газификации автотранспорта и обладающих необходимыми финансово-экономическими возможностями. Он также определил основные целевые группы газификации: муниципальный автотранспорт, жилищно-коммунальное хозяйство, предприятия агропромышленного комплекса, средний и мелкий бизнес. Замещение традиционного топлива в этих секторах позволит избежать роста тарифов в общественном транспорте, снизить себестоимость продукции агропрома, сэкономить средства эксплуатации техники, улучшить экологическую обстановку.

Участники встреч договорились о проведении регулярных тематических совещаний в регионах, избранных для реализации пилотных проектов программы по газификации автотранспорта.

**Управление информации
ОАО «Газпром»**



Пункт по переводу автотранспорта на метан ООО «Газпром трансгаз Ставрополь»

Методика определения границы экономической эффективности перехода на природный газ в качестве моторного топлива

А.А. Евстифеев, директор центра ООО «Газпром ВНИИГАЗ»,

М.Л. Балашов, ведущий инженер ООО «Газпром ВНИИГАЗ»

Предложена методика предварительной оценки и обоснования выбора вида топлива, используемого транспортным средством, на основании суточного пробега.

Ключевые слова: суточные затраты на топливо, сжиженный природный газ, компримированный природный газ, дизельное топливо.

Во многих странах мира природный газ (метан) широко используется в качестве моторного топлива, имеется достаточно развитая сеть заправочных станций и значительный парк автотранспортных средств, работающих на этом топливе. Национальная газомоторная ассоциация в своих исследованиях показывает, что Россия по численности парка газомоторной техники занимает 20 место в мире [1].

Данная ситуация сложилась исторически из-за наличия большого объема дешевого дизельного топлива низкого качества. В последнее десятилетие с появлением в стране потребности интегрироваться в мировое сообщество и модернизацией нефтеперерабатывающих заводов стоимость дизельного топлива превысила стоимость бензина. Вместе с тем в России в настоящее время действует постановление правительства [2], устанавливающее предельную отпускную цену на компримированный природный газ (КПГ), производимый автомобильными газонаполнительными компрессорными станциями (АГНКС), в размере не более 50 % цены реализуемого в данном регионе бензина А-76, включая налог на добавленную стоимость.

Это обстоятельство делает природный газ привлекательным для использования в автомобилях с экономической точки зрения, даже с учетом роста объемов его потребления в 1,25 раза по сравнению с объемом бензина, потребляемого традиционными аналогичными автомобилями. С другой стороны стоимость транспортного средства, оборудованного газовой аппаратурой и баллонами, выше того же транспортного средства без них. Так, для грузового автомобиля отечественного производства разница в стоимости составляет от 10 до 30 %.

Правильность выбора маршрутов и соотношения числа транспортных средств, использующих классические жидкие топлива и природный газ, крайне важна для руководителей предприятий, занимающихся автомобильными перевозками.

Самым удобным показателем для определения экономической выгоды от использования транспортного средства на природном газе являются суточные расходы на топливо в зависимости от пробега. Для любого транспортного средства можно провести оценку минимального суточного пробега, ниже которого перевод на природный газ не выгоден с экономической точки зрения.

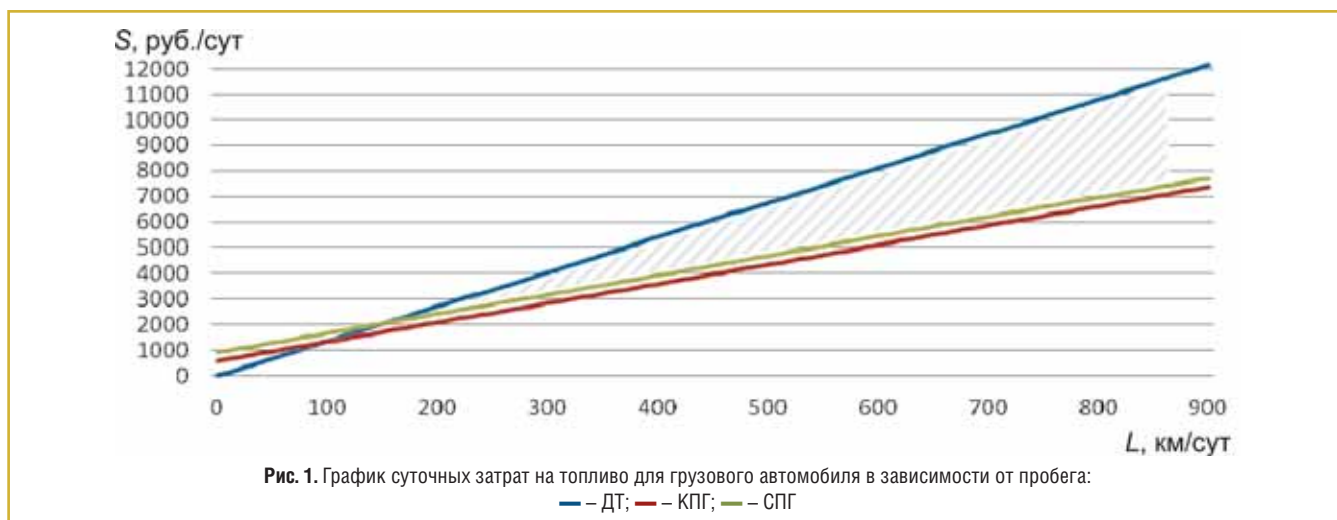
Минимальный суточный пробег рассчитывается по формуле

$$L_{\min} = \frac{\Delta S / T_3}{(S_{\text{ЖТ}} - k_f S_{\text{ПГ}}) R_{\text{ЖТ,сп}}},$$

где ΔS – разность между стоимостями транспортных средств на жидком моторном топливе и на природном газе, руб.; T_3 – паспортный срок эксплуатации транспортного средства, сут; $S_{\text{ЖТ}}$ – стоимость жидкого топлива, руб./л; $S_{\text{ПГ}}$ – стоимость природного газа, руб./м³; $R_{\text{ЖТ,сп}}$ – норма расхода топлива для данного вида транспортного средства, л/100 км; k_f – коэффициент замещения жидкого топлива газом.

Безразмерная величина k_f для природного газа зависит от его калорийности, характеристик двигателя внутреннего сгорания, герметичности и качества газобаллонного оборудования, состава газа. Для дизельного топлива по отношению к КПГ $k_f=0,97...1,05$ [4], а по отношению к СПГ $k_f=1,20...1,25$ [5]. Для бензина по отношению к КПГ $k_f=0,8...0,9$, а по отношению к СПГ $k_f=0,95...1,125$ [3].

Расчеты показали, что при увеличении базовой стоимости грузового автомобиля КАМАЗ на 600 тыс. руб. за счет газового оборудования его минимальный суточный пробег должен составлять не менее $L_{\min \text{ КПГ}}=86,152$ км



и $L_{\min \text{ СПГ}} = 152,875$ км. Если автомобиль имеет меньший суточный пробег, затраты на его приобретение в течение эксплуатации не окупятся. На графике суточных затрат на топливо для грузового автомобиля (рис. 1) заштрихованная область определяет суточные пробеги, при которых появляется экономическая выгода от эксплуатации автомобилей на природном газе. Приведенные на диаграммах кривые построены для следующих исходных данных: $S_{\text{жт}} = 30,05$ руб./л.; $S_{\text{пг}} = 13,70$ руб./м³; $R_{\text{жтср}} = 45$ л/100 км.; $k_r = 1,02$ (КПГ), $k_r = 1,22$ (СПГ); $T_3 = 3$ года.

Ключевыми являются точки пересечения графиков суточных затрат на топливо для различных его видов

(рис. 2). Можно выделить три области: область эффективности классических видов жидкого топлива, интервал пробегов от 0 до 86 км/сут; область эффективного применения КПГ от 86 км/сут; область эффективного применения СПГ свыше 160 км/сут.

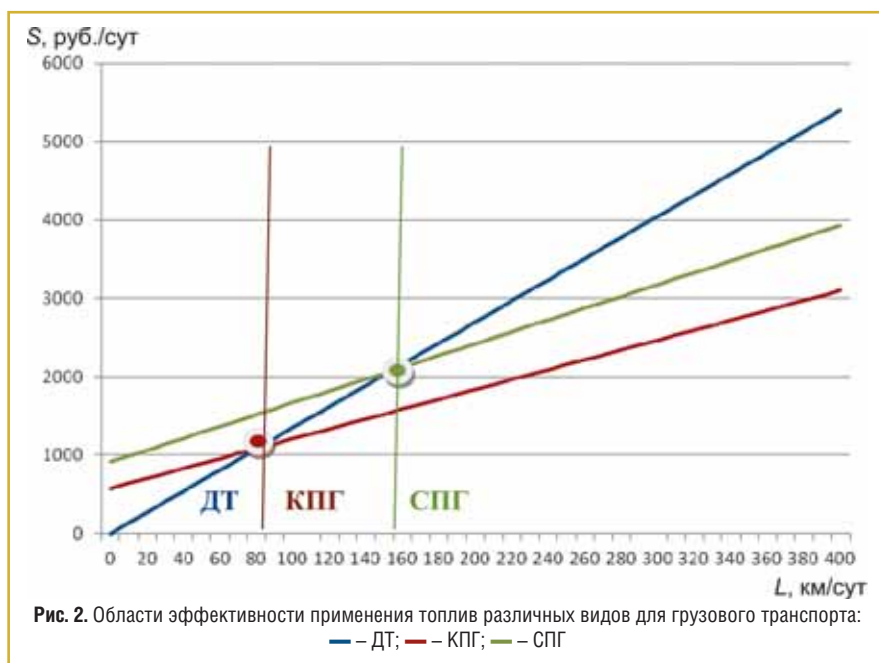
Существующие оценки средней дальности суточного пробега и полученные области эффективности применения природного газа на транспорте позволяют выделить целевые направления, наиболее подходящие для перевода на природный газ. Например, применение СПГ рационально на международных и междугородных грузовых перевозках, а также на соединяющих областные центры

автобусах, у которых суточный пробег более 250 км.

Существенным вкладом в повышение привлекательности использования в качестве моторного топлива на транспорте природного газа может стать разработка и применение на транспортных средствах газобаллонного оборудования меньшей стоимости отечественного производства.

Литература

1. Статистическая информация. Мировой рынок КПГ в июле 2012 года. http://www.ngvrus.ru/stat_2012_july.shtml, дата просмотра 12 сентября 2012.
2. Постановление Правительства Российской Федерации от 15.01.1993 г. № 31 «О неотложных мерах по расширению замещения моторных топлив природным газом».
3. **Васильев Ю.Н., Гриценко А.И., Чириков К.Ю.** Заправка транспорта. – М.: Недра, 1995, ISBN 5-247-03535-6.
4. ОАО «КАМАЗ». Основная информация о газовых автомобилях. <http://www.kamaz.ru/ru/vehicle/gas>, дата просмотра 12.09.2012.
5. Серия оборудования для автомобильных заправочных СПГ-станций и топливных СПГ-систем автомобилей (кораблей), Zhangjiagang Cims Sanctum Cryogenic Equipment Co., 2012, Китай.



Применение различных видов моторного топлива в условиях Сибири и Крайнего Севера

Л.А. Гнедова, старший научный сотрудник ООО «Газпром ВНИИГАЗ»,
К.А. Гриценко, старший научный сотрудник ООО «Газпром ВНИИГАЗ»,
Н.А. Лапушкин, начальник лаборатории АГНК ООО «Газпром ВНИИГАЗ», к.т.н.,
В.Б. Перетряхина, старший научный сотрудник ООО «Газпром ВНИИГАЗ»,
И.В. Федотов, ведущий научный сотрудник ООО «Газпром ВНИИГАЗ», к.т.н.

Проанализированы особенности работы автотехники на различных видах моторного топлива в зонах с холодным климатом. Оценены эффективность и целесообразность их применения в суровых условиях Сибири.

Ключевые слова: компримированный природный газ (КПГ), сжиженный углеводородный газ (СУГ), дизельное топливо, бензин, качество топлива, Крайний Север.

Технико-экономическая эффективность применения различных моторных топлив в зимних условиях Сибири и Крайнего Севера определяется особенностями зимней эксплуатации автотехники, наличием ресурсов традиционного топлива и его качеством, к которому предъявляется ряд дополнительных требований.

По прогнозам ФГУП «Научно-исследовательский автомобильный и автомоторный институт» (НАМИ), к 2020 г. автомобильный парк страны будет составлять около 49 млн ед. В настоящее время автотранспорт нашей страны потребляет примерно 70 млн т бензина и дизельного топлива, и это количество будет удвоено. Сегодня объем переработки бензина и дизельного топлива составляет около 100 млн т с учетом всех мощностей [1]. Таким образом, при имеющихся мощностях нефтепереработки с 2016 г. будет ощущаться дефицит моторного топлива, который в периоды пикового сезонного потребления уже существует.

Сегодня в нашей стране нефтяные моторные топлива вырабатываются в соответствии со стандартами и другими нормативно-техническими документами (ТУ и СТО). Автомобильные бензины производят, в основном, по двум стандартам – ГОСТ Р 51105–97 и ГОСТ Р 51866–2002, гармонизированным с европейским стандартом EN 228–2004. Дизельные топлива также выпускают по двум стандартам – межгосударственному ГОСТ 305–82 и ГОСТ Р 52368–2005 «Топливо дизельное Евро», который полностью соответствует европейскому стандарту EN 590:2004–9.

Сегодня российская нефтепереработка состоит из двух больших сегментов. Первый – это 28 нефтеперерабатывающих заводов, которые принадлежат вертикально интегрированным компаниям, и второй – около 186 официально зарегистрированных мини-НПЗ [2].

На севере зачастую производят топливо из местного сырья (газовый конденсат) по ТУ и СТО, в которых предусмотрены отступления от

стандартов по важнейшим показателям качества. Это облегчает производство, однако применение этих топлив связано с увеличением жесткости процесса, нагрузок на детали цилиндропоршневой группы вплоть до их поломки и даже выхода из строя топливной аппаратуры.

В Европе достаточно давно производят топлива из газового конденсата, соответствующие европейским требованиям за счет ввода определенного количества различных присадок. Таким образом, проблема не в газоконденсате. Действительно, источником некачественного топлива являются так называемые заводики-блендеры (от английского «смешивать»), которых в нашей стране насчитывается не менее 1,5 тыс. с производством топлива около 5 млн т/год при общем объеме производства всеми НПЗ около 100 млн т/год.

При таком количестве игроков на рынке традиционного моторного топлива трудно осуществить полноценный контроль его качества, особенно зимних сортов. О том, что

управление качеством моторных топлив вышло из-под контроля, говорит и то, что сроки нахождения в обращении топлив 2-го и 3-го классов и переход на топливо для АТС экологического класса Евро-4 неоднократно переносились.

Необходимо отметить, что до 80 % территории России находится в зоне холодного климата, а на Крайнем Севере температура зимой опускается ниже -60°C . Продолжительность осенне-зимнего периода эксплуатации машин колеблется от 6 до 9 мес. Эффективность использования автотехники в таких условиях во многом определяется видом и качеством применяемого моторного топлива.

Промышленный бензин представляет собой смесь углеводородов в интервале температур кипения $30\text{...}200^{\circ}\text{C}$. У современных сортов бензина предусмотрены более жесткие нормы содержания бензола, нормирование ароматических углеводородов и добавление моющих присадок. Однако фракции углеводородов с высокой детонационной стойкостью, производящиеся с применением риформинга, имеют относительно высокую температуру застывания, что создает трудности при производстве зимних сортов бензина и приводит к увеличению их стоимости. Пусковые качества бензинов нормирует ГОСТ Р 51866–2002 «Топлива моторные. Бензин неэтилированный. Технические условия», в котором выделены 12 классов испаряемости бензинов (от А до F). Последний, обладающий максимальной испаряемостью, рекомендован, в частности, для использования в Республике Саха (Якутия) в период с 15 октября по 15 мая. Зимние сорта сохраняют прокачиваемость, как минимум, до температуры -35°C .

Нефтеперерабатывающей промышленностью вырабатывается дизельное топливо по ГОСТ 305–82 трех марок: летнее (Л), зимнее (З) и арктическое (А). Топливо Л предназначено для дизелей, эксплуатирующихся при температуре 0°C и выше. Дизельное топливо марки З выпускается двух видов: с температурами застывания не выше -35°C и -45°C . Температура застывания арктического топлива не выше -55°C , оно предназначено для дизелей, работающих в суровых условиях Крайнего Севера и Сибири при температуре воздуха -50°C . Добавкой так называемых депрессорных присадок в количествах, составляющих доли процента, можно понизить температуры застывания и помутнения на $5\text{...}10^{\circ}\text{C}$.

Эксплуатация дизелей в условиях Крайнего Севера приводит к снижению показателей эффективности работы установок и машин. Так, при температурах окружающего воздуха $-20\text{...}-30^{\circ}\text{C}$ рекомендуется снижать рабочие нагрузки на 25 %, а при температуре $-30\text{...}-40^{\circ}\text{C}$ – даже на 50 % [3–5].

Температуры замерзания (застывание) бензинов и дизельного топлива должны быть достаточно низкими, чтобы обеспечить возможность эксплуатации двигателя даже в суровых зимних условиях. Застывание дизельного топлива начинается с выделения кристаллов углеводородов, имеющих наиболее высокие температуры плавления, а также льда растворенной воды, что определяется температурой помутнения. При дальнейшем понижении температуры застывает остальная часть углеводородов, что соответствует температуре застывания. Еще одной проблемой является повышенное содержание воды в топливе, которая отслаивается, собирается внизу

бака и застывает, образуя ледяную пробку в топливоподающей магистрали и полностью блокируя работу двигателя.

Экологические свойства моторных топлив характеризуются в первую очередь содержанием соединений серы. В странах ЕС и РФ установлены следующие требования к максимальному их содержанию в моторном топливе: для АТС класса Евро-4 – 50 мг/кг, Евро-5 – 10 мг/кг. Для дизельного топлива этих экологических классов цетановое число, которое характеризует воспламеняемость дизельного топлива, должно возрасти с 45 до 51. Этого требует применение топливной аппаратуры нового поколения, так называемой Common Rail, позволяющей гибко управлять топливоподачей, что обеспечивает существенное снижение вредных выбросов с отработавшими газами, улучшает пусковые качества. Однако чем меньше сернистых соединений в топливе, тем ниже его смазывающие свойства и тем хуже работает топливная аппаратура, из-за чего снижается ее ресурс. Для дизельного топлива с ультранизким содержанием серы, особенно для арктического, имеющего пониженную вязкость, обязательно введение антифрикционных противоизносных присадок, что широко используется в мировой практике. Например, стандарт EN-590, действующий с 1999 г. в странах ЕС, и соответственно ГОСТ Р 52368 регламентируют смазывающие свойства дизельного топлива [6].

В настоящее время производство качественных дизельных топлив невозможно без добавки различных присадок, таких как депрессорные, моющие, антидымные, противоизносные, промоторы воспламенения. Однако выпуск дизельных топлив с

присадками в России относительно невелик.

Для обеспечения более надежной работы топливоподающей аппаратуры в зимний период дизельные автомобили оснащают топливными фильтрами и топливозаборниками с элементами электроподогрева.

Основными альтернативными моторными топливами являются КПГ и СУГ. Использование СУГ на автомобиле в зимнее время проблематично, что влечет увеличение эксплуатационных затрат на топливо в результате использования дорогостоящих сортов зимнего бензина. Причиной отказа работы газобаллонных автомобилей (ГБА) из-за прекращения подачи СУГ в двигатель является уменьшение давления в автомобильном газовом баллоне и системе питания вследствие снижения температуры окружающего воздуха [7, 8].

При наблюдении за эксплуатацией ГБА в Омске было установлено [7], что преобладающими являются отказы по причине снижения давления в газовом баллоне, которое обусловлено следующими факторами:

- несоответствие газового топлива на АГЗС сезону и требованиям ГОСТ Р 52087–2003, который предписывает заправлять транспортное средство пропан-бутаном автомобильным (ПБА) вместо пропана автомобильного (ПА);
- резкое понижение температуры окружающего воздуха в зимнее время в утренние часы.

В настоящее время большинство современных автомобилей оснащено инжекторной системой питания двигателя. СУГ в баллоне находится в двух состояниях – жидком и газообразном. С понижением температуры давление падает, а при температурах ниже $-42\text{ }^{\circ}\text{C}$ (температура кипения пропана) оно становится атмосферным.

При подаче СУГ через электромагнитные форсунки в соответствии с требованиями ГОСТ Р 52087–2003 необходимо обеспечить избыточное давление насыщенных паров газа $0,1...0,15\text{ МПа}$ в интервале температур от 35 до $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Анализ данных, приведенных в работе [7], показывает (рис. 1), что требования к работе впрысковой системы питания двигателя соблюдаются при минимально возможной температуре ПА $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, а ПБА $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Повышение эксплуатационной надежности газобаллонных автомобилей в условиях отрицательных температур можно достичь двумя методами:

- применением СУГ марки ПА, что позволит обеспечить надежную эксплуатацию вплоть до температур $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- поддержанием давления СУГ, поступающего из газовых баллонов в газотопливную систему.

СУГ марки ПА в настоящее время поставляется нефтеперерабатывающими заводами в ограниченном количестве. Поддерживать давление СУГ в автомобильных системах газоподдачи возможно подачей его

жидкой фазы с помощью погружного насоса и подогревом жидкой фазы СУГ для поддержания избыточного давления насыщенных паров в баке [9].

Обеспечить безотказную эксплуатацию автомобилей на СУГ при низких температурах можно за счет применения топливных систем ГБО пятого поколения. В них газ с помощью погружного насоса поступает в жидкой фазе из баллона в цилиндры через рампу газовых форсунок.

Авторы работ [7-9] считают, что наиболее приемлемым условием безотказной эксплуатации автомобиля на СУГ при отрицательных температурах является испарение жидкой фракции газа. Ими предложена конструкция электроподогревателя, устанавливаемого в баллоне с СУГ с системой защиты от перегрева, для чего бак снабжен датчиком давления. При превышении давления отключается питание электроподогревателя и включается сигнальная лампа.

Таким образом, зимние сорта бензина, дизельного топлива и СУГ имеют более высокую стоимость и ограниченный объем производства по сравнению с летними, а при их

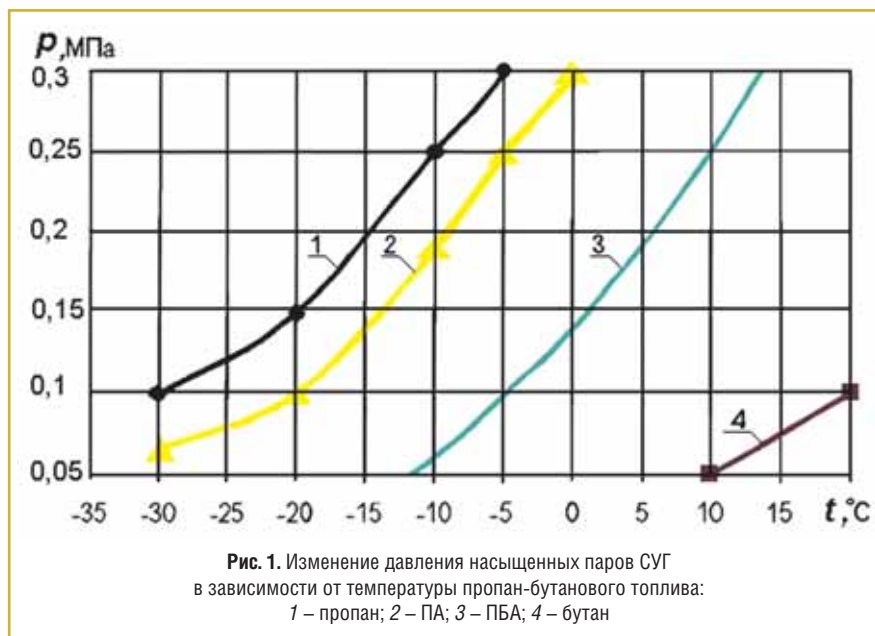


Рис. 1. Изменение давления насыщенных паров СУГ в зависимости от температуры пропан-бутанового топлива: 1 – пропан; 2 – ПА; 3 – ПБА; 4 – бутан

Особенности применения различных видов топлива в зимних условиях

Топливо	Дополнительные требования				
	к фракционному составу	к присадкам	к конструктивным элементам топливной аппаратуры	к содержанию воды	к минимальной температуре
Бензин	Обеспечение определенного класса испаряемости	Увеличение концентрации моющих присадок	–	Допустимы следы воды	Застывания –60 °С
Дизельное топливо	Обеспечение температуры предельной фильтруемости и помутнения	Введение дополнительных депрессорных присадок и промоторов воспламенения; увеличение концентрации антифрикционных, моющих и антидымных присадок	Электроподогреватели фильтров, топливозаборников	Допустимы следы воды	Застывания –55 °С
СУГ	Соответствие пропану автомобильному	–	Электроподогреватели СУГ в баке или погружные насосы	Допустимы следы воды	Кипения пропана –42,1 °С, бутана –0,5 °С
КПГ	–	–	–	Осушка, соответствующая температурам эксплуатации	Кипения метана –161,6 °С

использовании в суровых зимних условиях необходимо дооснащать автомобиль электроподогревателями.

Сравнение характеристик различных видов топлива и дополнительных требований при их применении в зимних условиях представлено в таблице.

Анализ показывает, что в суровых зимних условиях требования к КПГ при его применении в качестве моторного топлива минимальные, их даже нельзя назвать дополнительными – необходимо обеспечить уровень осушки, соответствующий температурам эксплуатации.

Экономический и экологический эффекты от применения компримированного природного газа в качестве моторного топлива давно доказаны. КПГ активно внедряется в различных городах России. В настоящее время сеть АГНКС охватывает в основном европейскую часть страны.

Интерес к использованию ГМТ в районах Крайнего Севера возник в процессе реализации проектов разработки газовых месторождений. Идея проста – зачем завозить

дорогостоящее дизельное топливо и бензин с материка, когда добываемый природный газ, который после промышленной подготовки почти на 98 % состоит из метана, является высококачественным газомоторным топливом. При этом качество КПГ не может быть фальсифицировано, его показатели стабильны и определяются составом природного газа, поставляемого по магистральным трубопроводам.

Возможность использования различной автотранспортной техники на КПГ в условиях Крайнего Севера доказана успешной эксплуатацией газозаправочной и газоиспользующей техники при довольно суровых зимах в средней полосе России. Это подтверждается, прежде всего, многолетним опытом эксплуатации большого парка сельскохозяйственной и автомобильной техники, работающей на КПГ, особенно в северных регионах России.

За рубежом газозаправочная и газоиспользующая автотранспортная техника эксплуатируется в районах с теплым и умеренным климатом.

Поэтому опыт эксплуатации этой техники ограничен температурой –40 °С, что отражено в стандартах ЕЭК ООН №110. В частности, предусмотрено, что газотопливная аппаратура автомобилей должна быть рассчитана на работу при температуре от –40 °С.

Отечественный опыт эксплуатации подобной техники в суровых условиях Крайнего Севера, где температуры опускаются ниже –60 °С, также недостаточен. При температурах ниже –45 °С АГНКС обычно прекращают работу, так как их оборудование рассчитано на эксплуатацию при температурах до –45 °С.

В этой связи представляет большой интерес четырехлетний опыт применения КПГ в Республике Саха (Якутия) [10]. С мая 2007 г. в Якутске эксплуатируется первая в Дальневосточном федеральном округе АГНКС. Ее проектирование и строительство проводилось с учетом климатических особенностей Якутска (проектная температура в зимний период –55 °С). В соответствии с этим резиновые изделия и уплотнительные манжеты были изготовлены из

морозостойкой резины, а оборудование и трубопроводы, предназначенные для работы на открытом воздухе, – из стали 09Г2С. Проведены дополнительное утепление, подогрев технологического оборудования и заправочных колонок, а также надежная очистка от масла и осушка КПГ. Заправочные шланги аргентинского производства не выдержали испытания якутскими морозами и были заменены российскими. Строительство второй АГНКС в Якутске должно повысить надежность заправки АТС.

Использование КПГ в качестве моторного топлива имеет ряд преимуществ в суровых климатических условиях по сравнению с традиционными топливами, однако для эффективного применения газоиспользующей автотехники необходимо следующее:

- газобаллонное оборудование автотехники и оборудование АГНКС по климатическому исполнению ХЛ для условий Крайнего Севера должно соответствовать требованиям ГОСТ 15150–69 для макроклиматического района с холодным климатом от $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $40\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- осушка КПГ должна соответствовать температурам эксплуатации;
- технологические процессы подготовки КПГ и комплектация оборудования на АГНКС должны обеспечивать бесперебойное снабжение потребителей газомоторным топливом в суровых климатических условиях с учетом особенностей эксплуатации газоиспользующей техники и ее заправки при низких температурах.

Требования к осушке КПГ для предупреждения образования гидратов при эксплуатации газозаправочной и газоиспользующей техники в условиях низких температур должны быть более жесткие, чем требует

ГОСТ 27577–2000, в котором предусмотрено влагосодержание 9 мг/м^3 , что соответствует температуре точки росы по влаге ($\text{ТТР}_в$) $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$. При отрицательных температурах влага, выпадающая из природного газа, может выделяться над образующимися льдом и гидратами. Поскольку при отрицательных температурах лед и гидраты термодинамически более стабильны, чем влага, то температура точки росы над льдом ($\text{ТТР}_л$) и температура точки росы над гидратами ($\text{ТТР}_г$) имеют более высокие значения, чем $\text{ТТР}_в$ при одном и том же влагосодержании.

На рис. 2 приведены данные расчета равновесного влагосодержания КПГ при давлении 20 МПа над водой $W_в$, над льдом $W_л$ и над гидратами $W_г$. Величина $W_в$ до температуры $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ определялась по ГОСТ 200060–83, для более низких температур – экстраполяцией.

При влагосодержании 9 мг/м^3 (ГОСТ 27577-2000) влага над льдом начнет выпадать при $-27\text{ }^{\circ}\text{C}$, а над гидратами при $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$. Как показано в [11], при оценке границы выделения влаги из КПГ необходимо использовать именно $\text{ТТР}_г$. При температуре окружающей среды $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ $\text{ТТР}_г$

компримированного природного газа должна быть ниже $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$, что соответствует равновесному влагосодержанию над гидратами $W_г=0,58\text{ мг/м}^3$ (точность рассчитанного значения может быть невысокой из-за экстраполяции). Это превышает на порядок требования к влагосодержанию по ГОСТ 27577–2000.

Другой путь обеспечения надежной работы АГНКС при низких температурах эксплуатации – периодическая продувка газонаполнительного тракта осушенным и редуцированным КПГ для испарения выделившейся в нем влаги. Так, 1 м^3 осушенного КПГ (до требуемых ГОСТом 9 мг/м^3) при редуцировании до 1,5 МПа ($W_г=33\text{ мг/м}^3$) может «впитать» и унести $33-9=24\text{ мг/м}^3$ влаги, выделившейся в процессе эксплуатации газозаправочного оборудования. При температуре $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ и при давлении до 1,5 МПа $W_г=696\text{ мг/м}^3$, то есть 1 м^3 может унести почти в 30 раз больше влаги.

Для реализации предлагаемого способа АГНКС снабжается дополнительным продувочным газопроводом с гнездом, в которое вставляется пистолет шланга заправочной колонки, через который между заправками

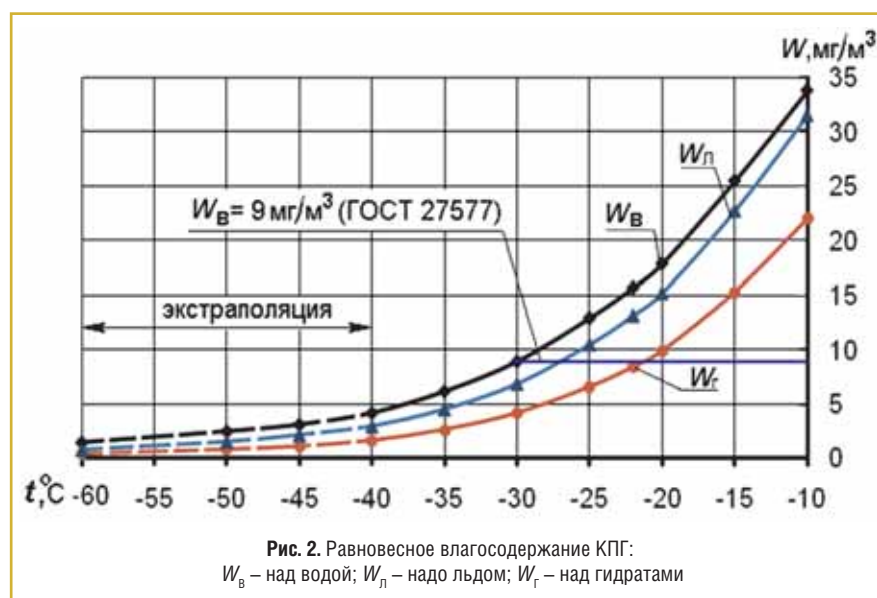


Рис. 2. Равновесное влагосодержание КПГ: $W_в$ – над водой; $W_л$ – над льдом; $W_г$ – над гидратами

осуществляется перепуск (продувка) осушенного газа на вход в АГНКС.

На разработанное во ВНИИГАЗе техническое решение получен патент [12] на полезную модель, которая позволяет обеспечить безаварийную работу АГНКС и бесперебойное снабжение автотранспортных средств компримированным природным газом в условиях Крайнего Севера.

Экономическая целесообразность применения того или иного вида моторного топлива определяется во многом затратами на его доставку потребителю. В качестве примера рассмотрим дизельное топливо.

На январь 2012 г. оптовые цены составляли:

- 40,4 руб./л на сорта зимнего дизельного топлива (Евро-3) с t_3 –25 °С (ОАО «Лукойл»);
- 43,4 руб./л на дизельное зимнее арктическое топливо А-0.05 (Евро-2) с t_3 = –45 °С (ООО «Трейдер»);
- 24,1...31,3 руб./л на сорта летнего дизельного топлива (ООО «Магнум Ойл»).

Как видно, стоимость зимних сортов дизельного топлива в ~1,5 раза выше летнего, а их цена при доставке, например, в Якутию возрастает до 80 руб./л. Завоз нефтяного топлива в эту республику ежегодно требует значительных кредитных ресурсов для его закупки и хранения, что в конечном счете влияет на цену дизельного топлива и бензина. Потребность только бюджетных учреждений всех уровней, расположенных в г. Якутске, в 2010 г. составила 28,8 тыс. т нефтяного топлива на сумму около 1 млрд руб. При переводе всего автотранспорта бюджетных учреждений Якутска на КПГ, по данным [10], можно сэкономить около 500 млн руб. (без учета стоимости оборудования) на разнице цен газа и нефтяного топлива.

Опыт использования КПГ на транспорте и эксплуатации оборудования АГНКС в условиях экстремально низких температур Якутии показывает, что при определенной

доработке оно вполне работоспособно. Это позволяет позитивно оценивать перспективы внедрения природного газа на автотранспорте в условиях Крайнего Севера.

Литература

1. Стенограмма расширенного заседания комитета Государственной Думы по энергетике по вопросу «О мерах по повышению использования природного газа в качестве моторного топлива» // Транспорт на альтернативном топливе. – 2010. – № 1 (13). – С. 49-60.
2. Бензин-то суррогатный! Нет надежных заслонов на пути производства суррогатного бензина. – http://www.azpp.ru/?opt=cat&id_parent=277&level=1
3. **Патрахальцев Н.Н., Соболев И.А., Казаков С.А.** Совершенствование пусковых и динамических характеристик дизеля в условиях низких температур окружающего воздуха // Двигателестроение. – 2009. – № 3. – С. 32-36.
4. Свод правил по проектированию и строительству. СП 12-104-2002. Механизация строительства, эксплуатация строительных машин в зимний период. – URL: <http://stroy.databases.ru/Data/1/11/11358/index.htm>
5. **Долгих Б.Н., Щелконогов Е.С., Амелин Я.И.** Обеспечение работоспособности автомобильной техники в условиях низких температур / Автомобили, специальные и технологические машины для Сибири и Крайнего севера; Материалы 59-й Международной научно-технической конференции Ассоциации автомобильных инженеров (ААИ). – Омск: изд-во СибАДИ, 2007. – С. 101-109.
6. **Галиев Р.Г., Хавкин В.А., Данилов А.М.** Требования к бензинам и дизельному топливу: сравнительный анализ топлива в России и за рубежом. – http://www.au92.ru/msg/20070117_7011702.html
7. **Певнев Н.Г., Банкет М.В.** Повышение эксплуатационной надежности газобаллонных автомобилей при низких температурах окружающего воздуха // Транспорт на альтернативном топливе. – 2009. – № 5 (11). – С. 36-39.
8. **Хамов И.В., Рудских В.И.** Адаптация газобаллонного оборудования к условиям эксплуатации при низких температурах / Автомобили, специальные и технологические машины для Сибири и Крайнего Севера; Материалы 59-й Международной научно-технической конференции Ассоциации автомобильных инженеров (ААИ). – Омск: изд-во СибАДИ, 2007. – С. 267-274.
9. **Певнев Н.Г., Гурдин В.И., Банкет М.В.** Оптимизация теплосодержания СУГ в автомобильном газовом баллоне для обеспечения бесперебойной работы ГБА // Транспорт на альтернативном топливе. – 2010. – № 4 (16). – С. 10-13.
10. **Добрынин В.В., Измestьев А.С., Шипков Р.Ю.** Использование КПГ в Республике Саха (Якутия) // Транспорт на альтернативном топливе. – 2011. – № 3 (21). – С. 40-42.
11. **Гнедова Л.А., Гриценко К.А., Лапушкин Н.А., Перетряхина В.Б., Федотов И.В.** Нормирование влагосодержания компримированного природного газа с учетом региональных климатических условий // Транспорт на альтернативном топливе. – 2011. – № 2 (20). – С. 66-68.
12. Автомобильная газонаполнительная компрессорная станция. Патент на полезную модель № 121550.

Перспективы использования метана угольных пластов в Кузбассе

О.В. Тайлаков, профессор, зав. лабораторией Института угля СО РАН, д.т.н.,

Д.Н. Застрелов, научный сотрудник лаборатории Института угля СО РАН, к.т.н.,

В.О. Тайлаков, научный сотрудник лаборатории Института угля СО РАН, к.т.н.,

С.В. Соколов, младший научный сотрудник лаборатории Института угля СО РАН

Рассмотрены подходы для оценки ресурсов угольного метана выработанного пространства, учитывающие особенности его поступления из угольных пластов в процессе и по завершении угледобычи. Дана оценка экономической эффективности утилизации метана в генераторных станциях, котельных и автозаправочных станциях, работающих на сжатом и сжиженном шахтном метане.

Ключевые слова: угольная шахта, угольный пласт, выработанное пространство, метан, утилизация, электрическая энергия, тепловая энергия.

Ежегодно дегазационными системами из угольных шахт Кузбасса выводится на поверхность 100...200 млн м³ метана, который может быть использован для производства электрической и тепловой энергии, моторного топлива и химических продуктов. Содержание метана в метановоздушной смеси достигает 80 %. Использование дегазационного метана в этих объемах позволит, например, обеспечить выработку до 50...100 МВт электроэнергии. Для понимания возможности развития проектов утилизации шахтного метана предложен комплексный подход, заключающийся в оценке ресурсов метана и последующем экономическом анализе альтернативных вариантов его утилизации [1-3].

Из опыта ведения горных работ на угледобывающих предприятиях Кузбасса известно, что пробуренные с поверхности в выработанное пространство дегазационные скважины являются наиболее стабильными источниками газа необходимой концентрации, которая в соответствии с действующими регламентами не должна быть ниже 25 %. При этом на

действующих угольных шахтах метанообильность выработанного пространства формируется преимущественно поступлением метана при разгрузке массива угольных пластов через аэродинамические каналы между подрабатываемыми и надрабатываемыми угольными пластами, а на отработанных участках – из угольной массы, сформированной нарушенными угольными целиками.

В общем случае объем угольной массы в выработанном пространстве [4, 5] составляет

$$V_i = \sum_{j=1}^n \iint_{s_j} m(x, y) dx dy,$$

где $i = \overline{1, k}$; $j = \overline{1, n}$; n – число целиков в i -м угольном пласте; k – число угольных пластов; $m(x, y)$ – толщина i -го угольного пласта.

На рис. 1 представлено 3D-распределение плотности ресурсов метана на одной из угольных шахт Кузбасса в пределах отработываемого угольного пласта.

При бурении скважин в куполе обрушения выработанного пространства достигается концентрация метановоздушной смеси, достаточная для ее использования в качестве эффективного топлива. Информация о потенциальном объеме

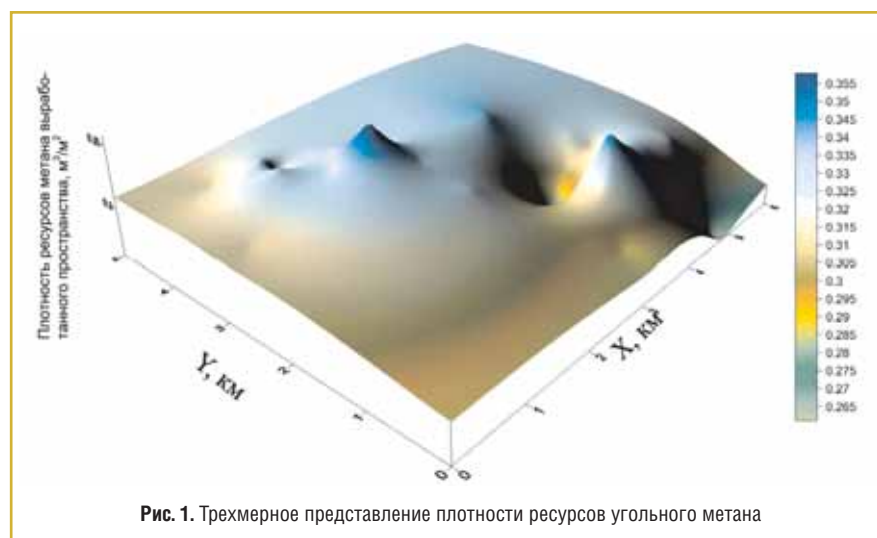


Рис. 1. Трехмерное представление плотности ресурсов угольного метана

шахтного метана в техногенных коллекторах и данные о метановыделении в выработанное пространство позволяют оценить экономическую эффективность проектов переработки угольного метана [6, 7]. В зависимости от роста цен на энергоносители инвестиционная привлекательность подобных проектов будет возрастать.

К основным факторам, влияющим на экономическую эффективность проектов утилизации угольного метана, относятся технологические, экологические, социальные, финансовые и маркетинговые. Источниками дохода проектов переработки метана являются платежи потребителей за выработку электрической и тепловой энергии, экономия на платежах за выбросы шахтного метана в атмосферу, а также традиционного горючего при использовании угольного метана в качестве моторного топлива для заправки автомобилей. Капитальные затраты проекта утилизации метана включают расходы на разработку концепции, технико-экономического обоснования проекта и проектной документации, экспертизу и согласование проекта с государственными контролирующими органами, приобретение основного и вспомогательного оборудования для утилизации метана, подготовку площадки, строительство фундаментов и газопроводов, установку запорной арматуры, трансформаторной станции и КИПиА, пусконаладочные работы, ввод объекта в эксплуатацию [8].

Технологически наиболее эффективным вариантом утилизации метана является его использование в генераторных станциях, котельных и на автозаправочных станциях (АЗС), работающих на сжатом и

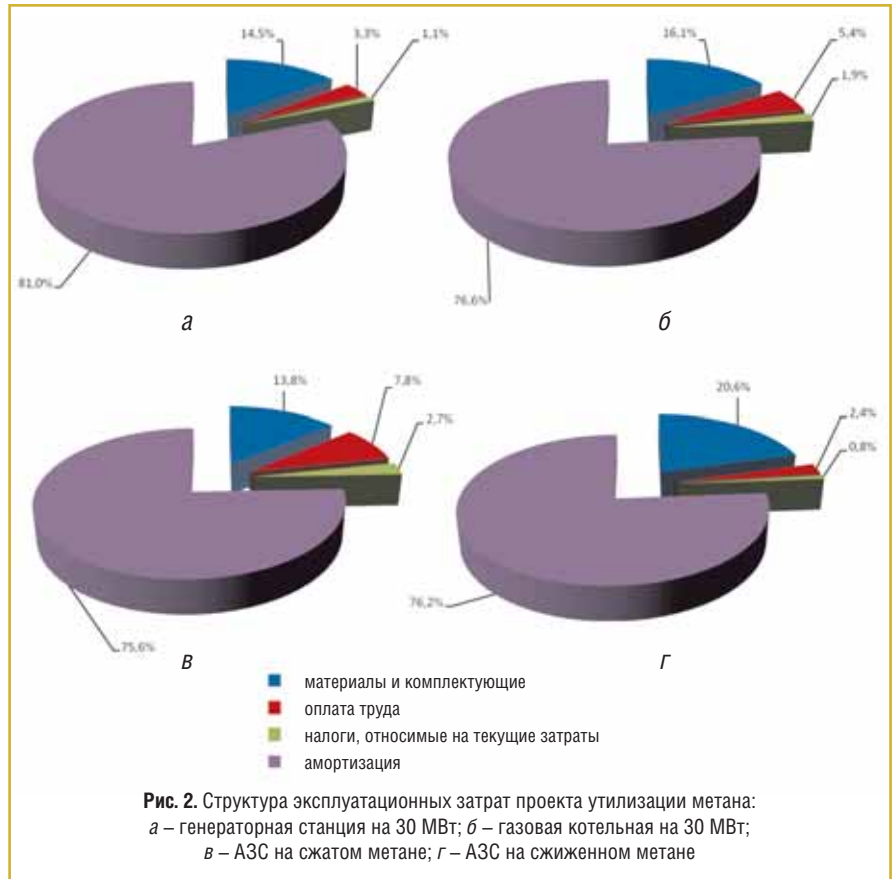


Рис. 2. Структура эксплуатационных затрат проекта утилизации метана: а – генераторная станция на 30 МВт; б – газовая котельная на 30 МВт; в – АЗС на сжатом метане; г – АЗС на сжиженном метане

сжиженном шахтном метане. Экономический анализ показывает, что в структуре эксплуатационных затрат на проект утилизации шахтного метана в генераторной станции наибольшую долю занимают амортизационные отчисления – 81 %, затем расходные материалы – 14,5 % (рис. 2). Это связано со значительными эксплуатационными расходами на обслуживание дорогостоящей техники. В структуре эксплуатационных затрат проекта переработки угольного метана в газовой котельной также наибольшую долю

занимают амортизационные отчисления 76,6 %.

Проект АЗС на сжиженном метане предполагает долю амортизационных отчислений в размере 76,2% и затраты на материалы и комплектующие 20,6% в рассматриваемых вариантах переработки шахтного метана.

Это объясняется высокими затратами на обслуживание сложного технологического оборудования для сжижения шахтного метана. Проект строительства АЗС, в котором сжатый шахтный метан

Таблица 1

Оценка экономической эффективности проектов утилизации шахтного метана

Показатель	Генераторная станция (30 МВт)	Газовая котельная (30 МВт)
Инвестиционные затраты, млн руб.	1 174	284
Срок окупаемости, лет	3,9	2,8
Чистый дисконтированный доход за 5 лет, млн руб.	267	187
Внутренняя норма рентабельности, %	8,6	21,8
Индекс прибыльности инвестиций	1,23	1,66

Оценка экономической эффективности проектов использования сжатого и сжиженного шахтного метана в качестве моторного топлива

Показатель	АЗС на сжатом метане	АЗС на сжиженном метане
Инвестиционные затраты, млн руб.	81	460
Срок окупаемости, лет	2,5	2,7
Чистый дисконтированный доход за 5 лет, млн руб.	67	326
Внутренняя норма рентабельности, %	26,5	23,3
Индекс прибыльности инвестиций	1,82	1,71

используется для заправки автомобилей, характеризуется наименьшими амортизационными отчислениями (75,6 %) в структуре эксплуатационных затрат рассматриваемых проектов.

Объем необходимых инвестиционных затрат на строительство генераторной станции общей электрической мощностью 30 МВт оценивается в 1 174 млн руб., срок окупаемости проекта 3,9 г., чистый дисконтированный доход за 5 лет составит 267 млн руб., а внутренняя норма рентабельности – 8,6 %, индекс прибыльности инвестиций 1,23 (табл. 1). Для реализации проекта переработки угольного метана в газовой котельной той же мощности необходимы инвестиционные затраты 284 млн руб. При сроке окупаемости 2,8 г. чистый дисконтированный доход по проекту за 5 лет его реализации оценивается в 187 млн руб., внутренняя норма рентабельности – в 21,8 %, индекс прибыльности инвестиций – в 1,66.

Проект утилизации метана в котельной более привлекателен для потенциального инвестора по сравнению с проектом ввода в эксплуатацию газогенератора, так как срок окупаемости блочно-модульной котельной меньше и требуется существенно более низкий объем инвестиционных затрат.

Реализация проекта по строительству АЗС для использования сжатого шахтного метана в качестве моторного топлива по сравнению с технологией сжижения газа для заправки автомобилей выглядит более привлекательно, так как требует почти в 5 раз меньше капитальных затрат (табл. 2). Срок окупаемости проекта, предполагающего использование технологии сжатия газа, составляет 2,5 г.

при инвестиционных затратах 81 млн руб. Чистый дисконтированный доход за 5 лет составит 67 млн руб., внутренняя норма рентабельности – 26,5 %, индекс прибыльности инвестиций – 1,82.

Внедрение установок переработки шахтного метана в Кузбассе будет способствовать рационально-

му использованию энергетических ресурсов, пригодных для выработки тепловой и электрической энергии, снижению выбросов парниковых газов (метан) в атмосферу, созданию дополнительных рабочих мест. Использование угольного метана позволит повысить энергоэффективность угольных предприятий.

Литература

1. Оценка прогнозных ресурсов УВ газов в угольных бассейнах СНГ. Кн. 1-2. – М., 1994. – 193 с.
2. Подготовка и разработка высокогазоносных угольных пластов / Под общ. ред. А.Д. Рубана, М.И. Щадова / Сер. Библиотека горного инженера, т. 9 «Рудничная аэрология», кн. 2. – М.: Горное дело, 2011. – 504 с.: ил., табл.
3. A Guide To Coalbed Methane reservoir Engineering. – Chicago, Illinois, USA.: GRI, 1994. – 307 p.
4. Оценка фактической природной газоносности угольных пластов при ведении горных работ / А.Н. Кормин // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2009. – № 0В7. – С. 150-154.
5. Временные методические требования к геолого-экономической оценке и подсчету запасов метана в угольных пластах. – М.: Изд-во Госком по запасам полезных ископаемых при Совмине СССР, 1987. – 11 с.
6. **Смыслов А.И.** К оценке фильтрационных свойств угольных пластов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2009. – № 0В11. – С. 293-296.
7. **Уткаев Е.А.** О влиянии нарушения призабойной зоны скважины на фильтрационные характеристики угольного пласта // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2009. – № 0В11. – С. 301-305.
8. **Тайлаков В.О., Застрелов Д.Н.** Оценка экономической эффективности и рисков угольных предприятий при реализации проектов использования шахтного метана // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2009. – № 0В12 – С. 94-105.

Газпром развивает рынок газомоторного топлива

Развитие рынка газомоторного топлива для ОАО «Газпром» – это профильный и прибыльный бизнес. Компания планирует создать на его основе крупный рынок сбыта своего природного газа.

Газпром ведет системную работу в этом направлении. В Соглашения о сотрудничестве – базовых документах взаимодействия Газпрома с российскими регионами – включен раздел по развитию рынка газомоторного топлива. Так, с Калужской, Нижегородской, Орловской и Тамбовской обл. подписаны Соглашения о расширении использования природного газа в качестве моторного топлива. В текущем году аналогичные соглашения планируется заключить с правительствами Москвы, Санкт-Петербурга и Республики Татарстан.

Особое внимание уделяется Востоку России. В 2012 г. с органами исполнительной власти Приморского и Хабаровского краев, а также Сахалинской обл. впервые приняты семилетние программы по переводу автотранспорта на моторное топливо.

Газпром продолжает строительство новых АГНКС. В рамках Программы газификации регионов РФ идет подготовка к началу строительства в 2013 г. 17 АГНКС в 10 регионах России: Республике Татарстан, Вологодской, Новгородской, Новосибирской, Орловской, Ростовской, Рязанской, Тамбовской обл., Пермском и Ставропольском краях.

Ведется разработка технико-экономических обоснований по 18 инвестиционным проектам строительства АГНКС в Волгоградской, Воронежской, Калужской, Ленинградской, Нижегородской и Саратовской обл.

Финансовые средства на реализацию инвестиционных проектов строительства АГНКС, предусмотренные в Программе газификации регионов РФ, составят в 2013 г. 1 млрд руб.

Газпром ведет работу, направленную на совершенствование действующей законодательной базы и нормативных правовых актов РФ, способствующих развитию отечественного рынка газового

моторного топлива. Так, в России отсутствует федеральный закон, предусматривающий комплекс мер по стимулированию перевода автотранспорта на газ. В настоящее время по инициативе Газпрома вопрос создания такого документа прорабатывается в Правительстве РФ.

По итогам заседания Правления ОАО «Газпром», прошедшего в конце февраля, профильным подразделениям поручено продолжить совместную работу с органами государственной власти по расширению использования природного газа в качестве моторного топлива на территории РФ, а также по совершенствованию нормативной правовой базы.

Профильным подразделениям надлежит разработать и представить на утверждение проект программы по расширению использования компримированного природного газа в качестве моторного топлива на транспорте организаций Группы «Газпром» в 2014–2017 гг.

Кроме того, ОАО «Газпром» рассматривает рынок газомоторного топлива как перспективное направление деятельности компании, основной целью которого является повышение экономической эффективности реализации российского газа не только в России, но и за рубежом, прежде всего в европейских странах.

Главными движущими силами рынка газомоторного топлива продолжают оставаться ужесточение требований к экологической безопасности силовых установок транспортных средств и продолжающийся рост цен на моторное топливо нефтяного происхождения. В частности, в Европе основным фактором использования газа на транспорте является введение с 2014 г. стандарта Евро-6.

До настоящего времени единственным топливом, соответствующим современным эколого-экономическим требованиям, является природный газ. Его использование в автомобильном

транспорте позволит снизить выбросы CO₂ на 25 и угарного газа на 80 %.

Системная работа по расширению использования природного газа в качестве газомоторного топлива за рубежом с участием ОАО «Газпром» началась в 2008 г. В настоящее время на европейском рынке газомоторного топлива Группа «Газпром» представлена через компании Gazprom Germania GmbH и Vemex.

В 2012 г. Gazprom Germania GmbH увеличила число принадлежащих ей АГНКС, осуществляющих заправку автотранспорта КПП на территории Германии, с двух до шести. К 2015 г. планируется увеличить их число до 15 за счет сооружения новых АГНКС.

Компания Vemex владеет шестью АГНКС в Чехии, четыре из которых были приобретены в 2012 г. Кроме того, осуществлялись поставки газа на две АГНКС, принадлежащие другим компаниям. Vemex также рассчитывает к 2015 г. довести число станций до 15.

Газпром предпринимает немало усилий для популяризации использования природного газа на транспорте в Европе. В частности, в 2011 и 2012 гг. Группа «Газпром» приняла активное участие в организации и проведении пробегов газовых автомобилей по Европе «Голубой коридор». Также в 2012 г. Gazprom Germania GmbH провела успешную демонстрацию транспортно-заправочного комплекса для СПГ и мобильного криогенного заправщика в пяти городах Польши.

Профильным подразделениям поручено продолжить работу по укреплению позиций ОАО «Газпром» в данном сегменте бизнеса, а также подготовить материалы для рассмотрения вопроса о расширении использования природного газа в качестве моторного топлива за рубежом на заседании Совета директоров компании.

**Управление информации
ОАО «Газпром»**

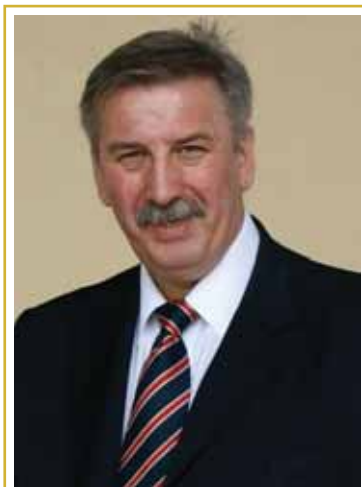
От Урала до Парижа на КПГ

Проблема экологии транспорта по-прежнему остается актуальной для всех стран. Поэтому дальнейшая реализация проекта «Голубой коридор» не теряет своей значимости и сегодня. Национальная газомоторная ассоциация одну из главных своих задач видит в расширении использования природного газа на транспорте. В НГА постоянно обращаются корреспонденты из различных СМИ с просьбой прокомментировать тот или иной аспект данной проблемы. Среди них немало зарубежных журналистов.

Советник по СМИ и внештатный сотрудник компании RIX (Чехия) Иржи Новотны задал несколько вопросов исполнительному директору НГА Евгению Пронину.

И.Новотны: Как проходит реализация проекта «Голубой Коридор»?

Е.Пронин: Проект «Голубой коридор» (Blue Corridor) был предложен в России в 1999 г. Неправительственным экологическим фондом им. В.И. Вернадского, поддержан ОАО «Газпром» и Национальной газомоторной ассоциацией. В 2003 г. он был опубликован Европейской экономической комиссией ООН (UNECE), а в 2006 г. одобрен на саммите G8 в Санкт-Петербурге.



Е.Н. Пронин

Суть проекта в организации международного автомобильного грузового и пассажирского сообщения с преимущественным использованием в качестве топлива природного газа. Его осуществление возможно только путем развития газозаправочной сети вдоль

транспортных коридоров. Эта идея нашла поддержку в странах Азиатско-Тихоокеанского региона, а также в Южной и Северной Америке. В развитие нашей инициативы «Голубой коридор» в Европе выдвинуты несколько других. Уже опубликованы предложения по финансовому участию Европейского Союза в строительстве станций для заправки автомобилей компримированным (КПГ) и сжиженным (СПГ) природным газом. При этом заправки должны строиться вдоль транспортных коридоров. Станции для КПГ (CNG) должны быть расположены на удалении 150 км друг от друга, а станции для СПГ (LNG) – 400 км.

Европейская газомоторная ассоциация (NGVA Europe) осуществляет проект «Голубой коридор СПГ» (LNG Blue Corridor),

в соответствии с которым в Европе будут строиться станции заправки СПГ.

И.Новотны: Что нового готовится в рамках этого проекта в текущем году?

Е.Пронин: Газпром и его аффилированные организации продолжают развивать инфраструктуру газовых заправок. В Германии и Чехии уже построены 12 новых станций, введен в эксплуатацию мобильный заправочный комплекс СПГ. Газпром планирует продление метановых коридоров на КПГ и СПГ в странах Балтийского региона, восточной, южной и юго-восточной Европы.

И.Новотны: Возможно ли в настоящее время проехать с северо-востока России к Балтийскому морю на автомобиле, используя КПГ?

Е.Пронин: Проводимые с 2008 г. Газпром пробег автомобилей, работающих на метане, под общим названием «Голубой коридор» (NGVRally 'BlueCorridor') показали, что, заправляясь исключительно природным газом, можно проехать от Балтийского до Черного морей и от Урала до Парижа.

Европейский рынок газомоторных автомобилей динамично развивается. Сегодня в Старом Свете на природном газе работают 1,8 млн автомобилей. Спрос на автомобильный метан в 2012 г. составил почти 3,5 млрд м³. Заправку автомобилей в Европе осуществляют более 4 тыс. станций. Поэтому пересечь Европу на газовом автомобиле с востока на запад и с севера на юг сегодня уже можно. Но это только начало. Коридоры будут развиваться. Например, мы рассматриваем кольцевые транспортные маршруты для автомобилей вокруг Балтийского и Черного морей.



АГНКС (слева) с газовой раздаточной колонкой в Чехии

Перспективно для перехода на природный газ Большое водное кольцо Европы, о котором двадцать лет назад говорил русский ученый К.Ю. Чириков. По этому маршруту на судах класса река – море можно пройти из Санкт-Петербурга до Ростова-на-Дону, далее по Азовскому и Черному морям до устья Дуная, а затем через Северное и Балтийское моря снова в Санкт-Петербург.

Это водное кольцо эффективно сопрягается с морскими маршрутами, а также с автомобильными, железнодорожными и авиационными газовыми коридорами. Так формируется целая система, в рамках которой только годовой спрос на газ в сегодняшних ценах оценивается минимум в 5 млрд евро. Уже в текущем десятилетии будет создан несущий каркас такой инфраструктуры заправки транспорта метаном.

И.Новотны: Существуют ли какие-то ограничения при реализации этого проекта?

Е.Пронин: Безусловно, существуют. Хотя назвать их непреодолимыми нельзя.

Прежде всего замещение дизельного топлива и бензина природным газом ограничивается недостаточным развитием газозаправочной инфраструктуры. Предстоит решить вопросы гармонизации национальных правил производства и использования газовых видов моторного топлива. Необходимо развитие национальных и наднациональных систем стимулирования всех участников рынка – производителей газового топлива, создателей инфраструктуры, изготовителей газоиспользующего и газозаправочного оборудования.

И.Новотны: Меняется ли маркетинговая стратегия Газпрома по отношению к нарастающей конкуренции?

Е.Пронин: Говорить о смене маркетинговой стратегии не приходится по ряду причин. Реальной конкуренции на газомоторном рынке Европы еще нет, поскольку этот рынок только зарождается.

В соответствии с рекомендациями Европейского союза, от Ла-Манша до Урала необходимо построить минимум 50 тыс. станций и постов для заправки только автомобильного транспорта компримированным и сжиженным природным газом. А еще есть водный, железнодорожный, авиационный транспорт.

Другими словами предстоит построить в 10 раз больше станций, чем построено до настоящего момента. В короткие сроки ни одна компания не в силах создать такую инфраструктуру без поддержки партнеров.

В связи с этим Газпром рассматривает различные варианты сотрудничества с органами законодательной и исполнительной власти всех уровней, с частными и государственными, а также с автомобильными и транспортными компаниями.

Стратегия партнерства на газомоторном рынке была предложена председателем правления ОАО «Газпром» Алексеем Миллером еще 27 июня 2008 г. на общем собрании акционеров: «Мы предлагаем нашим европейским партнерам совместно проработать проект создания масштабной сети автомобильных газонаполнительных станций в Европе с участием Газпрома».

Компримированный природный газ в двухтопливных двигателях с искровым зажиганием

П.Г. Теремякин, заместитель главного конструктора ООО «НПП «ИТЭЛМА»,
А.И. Латыпов, старший инженер-испытатель ООО «НПП «ИТЭЛМА»

Рассматриваются преимущества двигателей с искровым зажиганием, использующих в качестве топлива компримированный природный газ (КПГ). Приводятся показатели двухтопливных и специально ориентированных на применение метана двигателей. Обосновывается целесообразность применения двойного смешанного питания в двигателе с искровым зажиганием двухтопливного автомобиля.

Ключевые слова: токсичность выбросов, двухтопливный двигатель, газовое топливо, КПГ, двойное питание, двойное смешанное питание, каталитический нейтрализатор, удельные затраты на топливо.

Требования по снижению вредных автомобильных выбросов, включая выбросы диоксида углерода, заставили, прежде всего, европейских производителей автомобилей интенсивно развивать тему электромобилей. Сравнительно мягкие европейские климатические условия и развитая дорожная инфраструктура позволяют рассматривать эту тему в перспективе как магистральное направление. На первом этапе в условиях недостаточной плотности станций по зарядке аккумуляторов и малого запаса хода электромобилей на одной зарядке используются гибридные силовые установки – сочетание электродвигателя с двигателем внутреннего сгорания. Однако цена такого автомобиля существенно выше обычного.

Если учитывать российские особенности, включая климатические условия, необъятную территорию и современное состояние инфраструктуры, целесообразность копирования европейского направления, во всяком случае на ближайшую перспективу, вызывает сомнение [1]. Для России с ее гигантскими запасами природного газа выгоднее

с экономической точки зрения использовать газ в качестве моторного топлива, что обусловлено сравнительно низкими затратами на модернизацию существующего автомобильного парка и быстро получаемыми экономическим и экологическим эффектами. Это касается, прежде всего, легкого и среднего коммерческого автотранспорта. При этом газификацию автотранспорта целесообразно

развивать одновременно в двух направлениях:

- организация производства двухтопливных автомобилей (бензин/газ) на базе уже существующих бензиновых двигателей при параллельном интенсивном расширении сети АГЗК;
- разработка конструкции и подготовка массового производства автомобилей, максимально

Таблица 1

Показатели	Двигатель		
	С искровым зажиганием	КПГ	Дизель
Топливо	Аи-92	КПГ	ДТ
Рабочий объем, л	2,69	2,69	2,24
Степень сжатия	9,1	9,1	19,0
Наличие охладителя наддувочного воздуха	–	Не используется	Есть
Давление наддува, МПа	–	0,06	0,12
Мощность нетто, кВт / л, мин ⁻¹	94,1/4600	114,0/4600	81,0/3800
Удельная мощность, кВт/л	35	42,4	36,2
Максимальный крутящий момент нетто, Н·м / л, мин ⁻¹	209,7/2500	270,0/3500	270,0/1800-2800
Минимальный удельный расход топлива, г/кВт·ч	278,5	218,0	225,0
Цена топлива, используемая в расчетах руб./л руб./м ³	29 –	– 10,5	29 –
Минимальная цена 1 кВт·ч, руб.	11,06	3,18	7,86

ориентированных на использование электронных средств управления и современных баллонов из композитных материалов для хранения газа на борту.

Как показывает анализ результатов испытаний двигателей и автомобилей, использующих метан в качестве топлива, их удельные показатели существенно лучше, чем у автомобилей при использовании нефтяного топлива, в том числе и дизельного. При этом в сравнении с дизелем метановый двигатель не имеет выбросов твердых частиц (сажа) в составе отработавших газов (ОГ), и, следовательно, сажевые фильтры в системе выпуска не используются.

Показатели четырехцилиндровых рядных двигателей одного семейства, использующих бензин, дизтопливо и метан, представлены в табл. 1.

Удельные показатели метанового двигателя с турбонаддувом заметно лучше, чем даже дизеля с турбонаддувом и охладителем наддувочного воздуха, не говоря о бензиновом атмосферном двигателе. Стоимость владения метановым автомобилем существенно ниже, чем автомобилем с дизелем вследствие более низкой цены метанового двигателя и метана. При дефиците метановых заправок в России в переходный период вынужденным решением для коммерческого грузопассажирского автомобиля с двигателем с искровым зажиганием является его двухтопливность.

Рассмотрим преимущества, недостатки и перспективы использования двухтопливного двигателя на примере серийного коммерческого легкого грузовика «Газель» с двигателем УМЗ-421647 и микропроцессорной системой управления Микас 12 (табл. 2). При этом для снижения налоговой нагрузки на владельца

указанного транспортного средства максимальная мощность двигателя искусственно ограничена электронными средствами на уровне не более 73,6 кВт. Рабочий объем четырехцилиндрового рядного двигателя равен 2,89, степень сжатия – 9,2, мощность нетто при частоте вращения коленчатого вала 4000 мин⁻¹ составляет 73,4 кВт, удельная мощность – 25,4 кВт/л.

Сравнительно низкая степень сжатия этого двухтопливного двигателя позволяет использовать относительно дешевый бензин (Аи-92), а его недостатком является увеличенный эксплуатационный расход КПГ из-за низкой эффективности рабочего процесса. Кроме того, современные требования безопасности, в том числе экологические, диктуют необходимость применения таких технических решений в двигателе и автомобиле, которые эффективны при работе двигателя и на бензине, и на метане.

Одним из основных устройств, ограничивающих выбросы ВВ с ОГ двигателя, является каталитический нейтрализатор. При работе двигателя на метане температура ОГ на 50...120 °С ниже, чем при работе на бензине. Кроме того, содержание в них паров воды примерно на 15...20 % больше, чем при использовании бензина, что дополнительно снижает эффективность окислительно-восстановительных реакций в каталитическом нейтрализаторе. Указанные обстоятельства в

рамках существующей конструкции двигателя и системы выпуска ОГ автомобиля при выполнении требований по ограничению выбросов при его работе на бензине не позволяют выполнить требования по уровню выбросов несгоревших углеводородов и оксидов азота при использовании метана. В табл. 3 представлены сравнительные результаты испытаний автомобиля «Газель» с многофункциональной системой управления Микас 12 при работе на метане с оптимальным регулированием систем питания и зажигания и на бензине.

При работе двигателя на метане выбросы несгоревших углеводородов и оксидов азота значительно превышают допустимые нормативы. Из этого можно сделать и другой вывод. После установки на серийные бензиновые автомобили «Газель» с двигателем УМЗ-42164 метановой подчиненной системы эти автомобили не будут соответствовать экологическим требованиям. Такое дооборудование нарушает требования законодательства (Правила № 115 ЕЭК ООН) [4].

Оптимизация каталитического покрытия нейтрализатора и регулировка системы управления двигателем позволили получить выбросы, соответствующие действующим нормам (табл. 4) со значительным запасом, примерно одинаковым для каждого из применяемых топлив. При использовании КПГ в качестве топлива

Таблица 2

Показатели	Двигатель УМЗ-421647	
	Аи-92	КПГ
Топливо	Аи-92	КПГ
Максимальный крутящий момент нетто, Н•м /л, мин ⁻¹	226/2500	198/2500
Минимальный удельный расход топлива, г/кВт•ч	276	223
Цена топлива, используемая в расчетах руб./л руб./м ³	29 –	– 10,5
Цена 1 кВт•ч, руб.	11,12	3,25

Таблица 3

Испытательный цикл Правил № 83 (05) ЕЭК ООН	Выбросы с ОГ, г/км		
	CO	CH	NO _x
На бензине	1,293	0,089	0,054
На КПГ	1,027	0,331	0,427
Нормы Евро-4	2,27	0,16	0,11

выбросы диоксида углерода почти на 22 % ниже по сравнению с питанием бензином. При движении двухтопливного автомобиля по испытательному циклу затраты на метан по сравнению с бензином почти в три раза ниже.

Существуют и некоторые негативные аспекты, связанные с эксплуатацией этого автомобиля.

- При работе двигателя на метане невозможно обеспечить тот же, что и при работе на бензине, максимальный крутящий момент (см. табл. 2), следовательно динамические характеристики, особенно груженого автомобиля, при работе на метане будут заметно хуже – снижение максимального крутящего момента по внешней скоростной характеристике достигает 10...15 %.
- Сравнительно низкий запас хода автомобиля на одной заправке метаном – 270 км (4 баллона по 50 л при давлении 20 МПа).
- Увеличенный износ клапанных пар в двигателе из-за отсутствия смазки рабочих поверхностей при питании двигателя газом.
- Некоторое удорожание каталитического нейтрализатора по сравнению с вариантом бензинового топлива.

Для минимизации влияния указанных аспектов на характеристики

автомобиля и дополнительного снижения стоимости его владения используются двойной или двойной смешанный способы питания двигателя, реализуемые системой управления. При двойном питании происходит автоматическое переключение вида топлива в зависимости от условий и режима работы двигателя, а при двойном смешанном питании в цикловой подаче топлива содержится как бензин, так и метан в заданной (оптимальная) пропорции [2].

В соответствии с требованиями безразрывного потока мощности двигателя необходимо в момент переключения питания с одного вида топлива на другой обеспечить монотонное изменение крутящего момента двигателя без градиентов, ухудшающих комфорт и заметных для водителя. Добиться этого в реальных условиях достаточно сложно из-за изменений условий работы и состояния двигателя, а также разных физико-химических свойств используемых топлив. Указанные обстоятельства требуют прецизионного управления крутящим моментом, что возможно лишь в случае применения единого контроллера, так как управление системами топливоподачи (бензин и метан), зажиганием и подачей воздуха в переходном

процессе должно быть взаимно согласованным.

Второе обстоятельство, которое усложняет выполнение требований не только комфортности, но и экологичности, – это обеспечение постоянной готовности к работе системы дозирования, на которую осуществляется оперативный переход. Длительная работа двигателя, например, на КПГ, с отсутствием циркуляции бензина через форсунки в условиях тупиковой топливной рампы приводит к неконтролируемому изменению температуры бензина на выходе из форсунок. В результате в момент начала дозирования топлива неизбежно отклонение состава смеси от заданного со всеми вытекающими последствиями для величины крутящего момента и выбросов ВВ. Кроме того, подача перегретого топлива отрицательно сказывается на состоянии распылителя бензиновой форсунки и может привести к закоксовыванию запорного элемента.

Для управления мощностью во всем диапазоне работы двигателя в условиях перечисленных конструктивных и эксплуатационных ограничений целесообразнее использовать двойное смешанное питание с одновременным управлением подачей обоих топлив в заданной пропорции в текущем рабочем цикле двигателя. В этом случае существуют технические ограничения, связанные с дозированием топлива на холостом ходу.

При разделении цикловой подачи на две части одна из них может быть ниже граничной минимальной

Таблица 4

Испытательный цикл Правил № 83 (05) ЕЭК ООН	Выбросы с ОГ, г/км				Удельные затраты, руб./км	Запас хода на полной заправке, км	Полная заправка
	CO	CH	NO _x	CO ₂			
На бензине	0,379	0,062	0,032	348	4,37	398	60 л
На КПГ	0,349	0,051	0,031	272	1,66	270	47 м ³
Нормы Евро-4	2,27	0,16	0,11	–	–	–	–

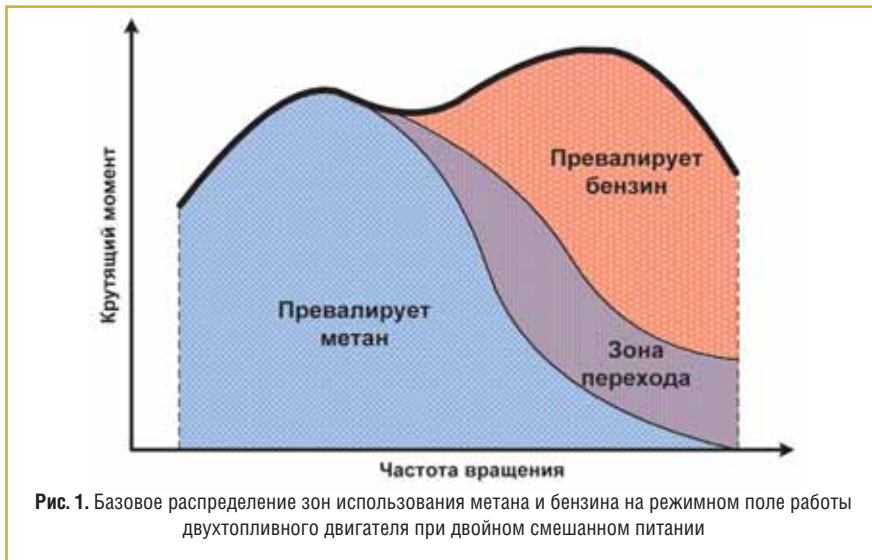


Рис. 1. Базовое распределение зон использования метана и бензина на режимном поле работы двухтопливного двигателя при двойном смешанном питании

подачи, осуществляемой форсункой. Это приведет к нестабильности дозирования и отклонению состава смеси от заданного, что увеличит вредные выбросы и усилит неравномерность вращения коленчатого вала. Выходом из этой ситуации может быть чередование использования каждого вида топлива в последовательных циклах работы двигателя при его функционировании в подобных условиях.

Критерий выбора пропорции составных частей в цикловой подаче топлива зависит от характеристик автомобиля (экологичность, экономичность, мощность), а также от действующих текущих ограничений и особенностей функционирования двигателя [3]. На рис. 1 представлены рабочие области двухтопливного двигателя в координатах крутящий момент – частота вращения, где используются разные соотношения топлив в цикловой подаче с учетом традиционных принципов регулирования:

- в области частичных нагрузок, где используется лямбда-регулирование, в цикловой подаче превалирует метан;
- в области максимального крутящего момента с мощностными регулировками систем питания

и зажигания в цикловой подаче превалирует бензин;

- в области холостого хода и сопрягаемых с ней зонах частичных нагрузок используется питание одним или другим топливом в зависимости от текущих ограничений (например, текущего запаса каждого топлива на борту автомобиля).

Необходимо отметить, что в области максимального крутящего момента и сопрягаемых с ней зонах с относительно большим наполнением цилиндров двигателя воздухом, особенно при малых частотах вращения коленчатого вала, доля метана в цикловой подаче топлива может быть увеличена для повышения

антидетонационных свойств топливной смеси (рис. 2). Анализ кривых показывает, что существует оптимальная доля метана в цикловой подаче (40...20 %), при которой увеличивается крутящий момент двигателя на 1...10 % по сравнению с двигателем, работающим только на бензине, и до 8,5 % по сравнению с работающим только на метане.

Дополнительным резервом в снижении эксплуатационных затрат на топливо, потребляемого двухтопливным автомобилем в условиях ограниченного числа газовых заправочных станций, является использование запасов топлив на борту автомобиля с учетом удельной цены каждого из них. Под удельной ценой понимаются затраты на топливо на 1 км пробега автомобиля.

Рассмотрим варианты различного питания на примере движения автомобиля «Газель» с двигателем УМЗ-421647 по ездовому испытательному циклу Правил № 83 (05) ЕЭК ООН при полной заправке (60 л бензина и 47 м³ метана). По результатам испытаний этого автомобиля при раздельном питании его пробег на одной полной заправке составил 668 км (табл. 4). При этом общие затраты на топливо составили: 1740 + 493,5 = 2233,5 руб.

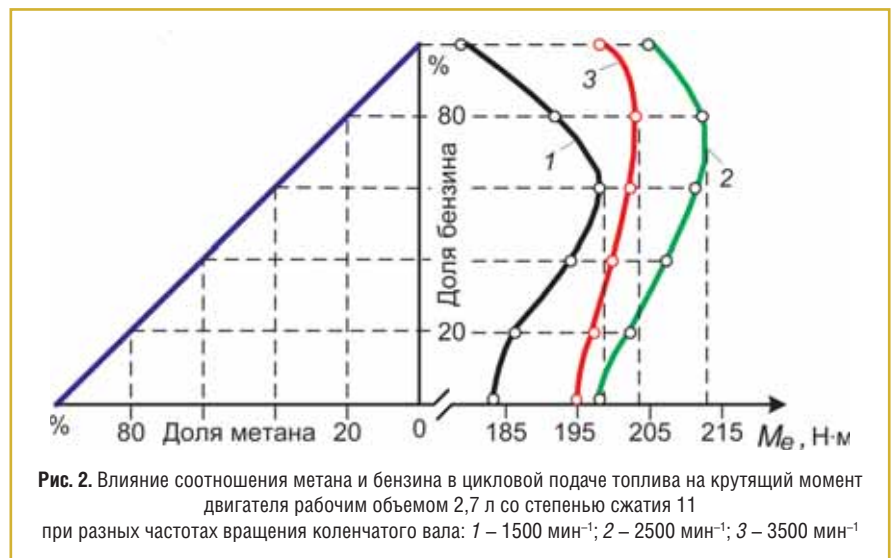


Рис. 2. Влияние соотношения метана и бензина в цикловой подаче топлива на крутящий момент двигателя рабочим объемом 2,7 л со степенью сжатия 11 при разных частотах вращения коленчатого вала: 1 – 1500 мин⁻¹; 2 – 2500 мин⁻¹; 3 – 3500 мин⁻¹

Таблица 5

Испытательный цикл Правил № 83 (05) ЕЭК ООН	Удельные затраты, руб./км	Запас хода на полной заправке, км	Полная заправка
Раздельное питание	3,27	668	60 л и 47 м ³
Двойное питание	3,12	701	60 л и 47 м ³

двигателя и его системы управления позволяют получить потребительские характеристики автомобиля, способного конкурировать с другими силовыми установками (дизель, гибрид, электромобиль).

Существующий новый уровень развития систем управления двухтопливными двигателями позволяет применить оптимальные стратегии управления рабочим процессом двухтопливного двигателя в зависимости от режима его работы и условий эксплуатации, обеспечив тем самым дополнительное улучшение эксплуатационных показателей газобаллонного автомобиля.

Задачу оптимизации можно сформулировать следующим образом: как использовать оба топлива при движении автомобиля в указанных условиях, чтобы за эти же деньги проехать больше километров?

В основе предлагаемой оптимизации лежит принцип использования более дорого топлива (бензин) лишь в тех режимных областях работы двигателя, в которых показатель удельной цены стремится к минимуму, то есть там, где бензин сжигается наиболее эффективно. Прежде всего, это области работы двигателя с небольшим разрежением во впускной трубе при нормальном составе смеси. Указанные условия использования каждого топлива были учтены при расчете расхода топлива автомобилем «Газель»,

двигающемся по циклу. Результаты расчета с использованием реальных испытаний автомобиля представлены в табл. 5. Как следует из их сравнения, при двойном питании на одной полной заправке автомобиля топливом можно проехать на 33 км больше, что составляет около 5%.

Таким образом, использование метана в качестве моторного топлива в сочетании с модернизацией

Литература

1. **Сумленный С.** Газовая мобильность // Эксперт. – 2011. – № 24. – С. 44-45.
2. **Теремьякин П.Г., Латыпов А.И., Бутнев А.Б.** Особенности конструкции газобаллонного автомобиля для серийного заводского производства // Транспорт на альтернативном топливе. – 2010. – № 2 (14). – С. 63-69.
3. **Гирявец А.К.** Теория управления автомобильным бензиновым двигателем. – М.: Стройиздат, 1997. – 173 с.
4. Технический регламент о безопасности колесных транспортных средств. Утвержден постановлением Правительства Российской Федерации от 10 сентября 2009 г. № 720.



Требования по подготовке статей к опубликованию в журнале

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

1. Все научно-технические статьи должны иметь **на русском и английском языках** следующие составляющие:
заголовок, ФИО авторов полностью, их должности, ученая степень (при наличии), контакты (e-mail, телефоны), аннотации, ключевые слова.
2. Все английские тексты следует набирать только строчными буквами, сохраняя начальные прописные буквы в именах собственных.
3. Авторы остальных публикаций (информационных, рекламных и т.д.) представляют на русском и английском языках: **заголовок, ФИО авторов полностью, их должности, адрес и контакты (e-mail, телефоны).**

Материалы статей должны быть представлены по электронной почте в программе WinWord. Объем статьи – не более 14 400 знаков с пробелами.

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

ГОСТов. Текст, таблицы и графические рисунки должны быть выполнены в программе Word в формате doc, rtf. Фотографии (не менее 300 dpi, CMYK) – в формате jpg, jpeg, tiff, pdf. Отдельно необходимо представить список подрисночных подписей. Не следует форматировать текст самостоятельно.

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

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

Стратегия Евросоюза

Европейский Союз опубликовал пакет амбициозных предложений, направленных на развитие европейской инфраструктуры заправки транспортных средств альтернативным топливом и энергией. Согласование всех позиций, которые должны завершиться принятием директивы, может занять два года. Политика Евросоюза сегодня заключается в том, что нормы и правила проектирования, строительства и эксплуатации объектов заправочной инфраструктуры на всей его территории должны быть гармонизированы, что было подчеркнуто на заседании круглого стола в Брюсселе во время сентябрьского пробега газовых автомобилей «Голубой коридор – 2012» представителями НГА, компаний ОАО «Газпром» и «Е.Он Рургаз».

Среди основных факторов, тормозящих широкий переход на альтернативные энергоносители, называют высокую стоимость модернизированных автомобилей, низкую покупательскую готовность и недостаточное развитие заправочной сети. Учитывая это, Европейская Комиссия приняла решение о формировании минимальных заданий для стран-участниц по развитию инфраструктуры для чистых видов топлива/энергии – электричества, водорода и природного газа (КПГ, СПГ, биометан, синтетическое жидкое топливо из метана). Как уже отмечалось, строить и эксплуатировать ее будут по гармонизированным требованиям. Россия и другие страны СНГ должны принять непосредственное участие в этой работе, чтобы не оставаться в нормативной самоизоляции.

Разработчики стратегии предлагают установить не только минимальное количество заправочных/зарядных станций для каждой страны Евросоюза, но и максимальный шаг их строительства вдоль автомагистралей. Кроме того, проект «Чистая энергия для транспорта» (The Clean Power for Transport – CPT) предполагает, что во всех 139 морских и речных портах Европы, вошедших в перечень TREN-T, должны быть построены стационарные или передвижные комплексы для заправки СПГ в автомобили и суда.

Главными силами, движущими процессы перехода на альтернативные топлива, в Европе по-прежнему

остаются экология и политическая экономия. Еврокомиссия полагает, что только в 2010 г. низкое качество атмосферного воздуха стало причиной преждевременной смерти 420 тыс. европейцев. Транспорт Европы на 94 % зависит от нефтепродуктов, 84,3 % нефтяного топлива импортируется. Нефть для Европы поступает из политически нестабильных регионов по слишком высокой цене – в 2011 г. Европа платила за нефть по 1 млрд евро в день.

Еще одним элементом стратегии Европейского Союза является расширение использования энергоносителей из возобновляемых источников, которые сегодня обеспечивают только 4,7 % топливных потребностей Европы. Из них 4,4 % (2010 г.) приходится на биотопливо. Европейская Директива по возобновляемой энергетике предусматривает наращивание этой доли до 10 %, включая 5 % биотоплива первого поколения, 1 % биотоплива второго поколения и 1 % электроэнергии из возобновляемых источников. В целом график развития инфраструктуры для альтернативных видов топлива выглядит следующим образом:

- создание гармонизированных технических стандартов для различных альтернативных топлив до 31.12.2015 г.;
- создание минимальной сети заправочных/зарядных пунктов (водород, КПГ и СПГ) для заправки автомобилей и бункеровки морских судов до 31.12.2020 г.;

- создание минимальной сети пунктов бункеровки речных судов до 31.12.2025 г.

По предлагаемому плану к 2050 г. выбросы парниковых газов с отработавшими газами транспортных средств должны быть сокращены на 60 %. К 2030 г. в наиболее крупных городах Европы предлагается на 50 % сократить выбросы CO₂ от легковых автомобилей на традиционных топливах, а к 2050 г. полностью запретить использование таких машин во всех городах Евросоюза и сократить на 40 % выбросы CO₂ от воздушных и водных судов.

Стратегия Еврокомиссии не предусматривает каких-либо мер для развития инфраструктуры заправки СУГ, поскольку дополнительных усилий в этой области не требуется. Еврокомиссия также считает, что для финансирования развития заправочной сети следует привлекать средства из фондов Евросоюза и частных источников. По оценке Брюсселя, до 2020 г. на развитие инфраструктуры потребуется примерно 10,5 млрд евро.

Кроме экологических и экономических эффектов метанизации транспорта, есть еще и социальный. Проведенные исследования показывают, что до 2025 г. для создания и эксплуатации инфраструктуры заправки транспорта альтернативными видами топлива будут созданы 700 тыс. новых рабочих мест.

По данным Европейского Союза

Сроки возврата кредита при модификации вертолетов Ми-8 в двухтопливные

В.П. Зайцев, генеральный директор ОАО «Интеравиагаз», ведущий конструктор ЦАГИ

Рассмотрены вопросы деловых взаимоотношений между участниками создания и внедрения в эксплуатацию двухтопливной модификации вертолетов семейства Ми-8 и аэродромного газового топливозаправочного комплекса (ГТЗК) на завершающем эксплуатационном этапе. Предложена методика, способствующая согласованию интересов участников реализации данного технического решения, и проведен параметрический анализ влияния различных экономических факторов на сроки возврата кредита, получаемого авиаотрядом для модификации вертолетов и организации ГТЗК.

Ключевые слова: вертолеты Ми-8, АСКТ, финансирование, кредиты, совместные предприятия.

Эффективность, в том числе и коммерческая, использования газомоторного авиационного сконденсированного пропан-бутанового топлива (АСКТ) на вертолетах и самолетах региональной авиации давно доказана*. Однако проблемы координации и регулирования совместных работ различных профессиональных групп и организаций бизнес-сообщества, меняющихся на каждом их этапе, являются причиной, обуславливающей сложности разработки и внедрения в широкую эксплуатацию данного комплексного инновационного технического решения.

Особенностью организации такой совместной работы является то, что все, участвующие в этой работе, в условиях существующего во многих отраслях монополизма и непрозрачности финансового учета стремятся максимизировать свою прибыль. Усугубляет также положение отсутствие наглядного инструмента, показывающего влияние финансовых итогов каждого из участников на конечный результат.

Схемы коммерческого взаимодействия при производстве и использовании АСКТ

При разработке и внедрении данного комплексного инновационного технического решения в широкую эксплуатацию можно выделить следующие основные этапы:

- этап разработки (участники – создатели вертолетов, авиадвигателей, установок по производству АСКТ, его транспортировке, хранению, заправке и т.п.);
- этап модернизации вертолетов (участники – серийные и ремонтные авиапредприятия, организации-производители стационарных и мобильных газотопливных

заправочных комплексов, организации-изготовители комплектующих и т.п.);

- эксплуатационный этап (участники – производители АСКТ, сервисные службы, эксплуатанты и т.п.).

Несмотря на специфичность работы каждого из участников характер их деловых взаимоотношений достаточно близок. Поэтому в качестве примера рассмотрим проблемы, возникающие между участниками завершающего эксплуатационного этапа реализации проекта, как наиболее характерные.

В реализации рассматриваемого комплексного проекта на последнем этапе должны принимать участие по меньшей мере представители трех различных организаций и профессиональных групп – субъектов бизнес-сообщества (фактически, их может быть значительно больше):

группа 1 – производители АСКТ;

группа 2 – сервисные службы (логистики, маркетологи, транспортники и т.п.), которые должны организовать закупку АСКТ, его транспортировку от производителя к местам хранения, само хранение, организацию заправки летательных аппаратов (ЛА), надлежащий контроль качества АСКТ и т.п.;

группа 3 – эксплуатанты ЛА, работающих на АСКТ.

Между ними могут существовать различные схемы организации коммерческого взаимодействия [2].

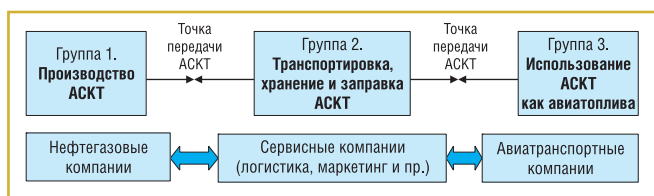
Основными производителями АСКТ являются нефтегазовые компании. Они также могут состоять по меньшей мере из двух компаний, одна из которых, как правило, нефтедобывающая, занимается только добычей и сбором в том числе и попутного нефтяного газа (ПНГ), а другая – его транспортировкой и переработкой в АСКТ. Может быть

* Зайцев В.П. Новое топливо для авиации // Авиаглобус. – 2008. – № 12 (116). – С.18-21.

и другое разделение функций: нефтегазовая компания занимается только добычей нефти, а все остальное – сбор и транспортировку сырого ПНГ, производство АСКТ, транспортировку АСКТ с завода-изготовителя на аэродромные топливо-заправочные комплексы и вертолетные площадки, хранение и продажу (заправка) – будет осуществлять вновь организованная специализированная сервисная компания. Использовать АСКТ в качестве топлива будут существующие или вновь созданные авиакомпании.

В общем случае можно представить пять вариантов коммерческого взаимодействия профессиональных групп, участвующих в проекте.

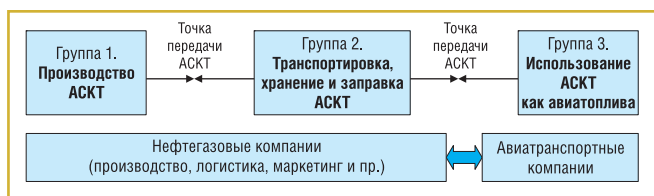
I. Все профессиональные группы – 1, 2, 3 – являются независимыми организациями.



В этом случае договорные отношения между ними должны базироваться на долгосрочных контрактах с понятными принципами ценообразования, перенос ценности необходимо осуществлять четко на каждый субъект, а риски между субъектами должны распределяться согласно контрактам.

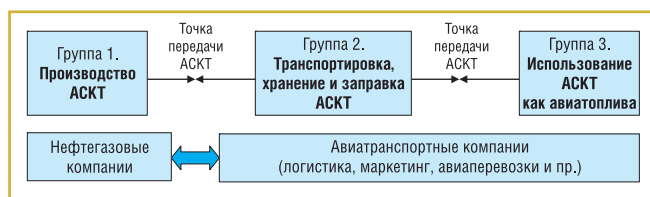
Преимущества – возможность высокой детализации контрактов и достаточная прозрачность эффективности капитальных вложений. Недостатки – гарантии возврата инвестиций напрямую зависят от условий контрактов, а синхронизированное развитие мощности всех субъектов цепочки – от срока и условий контрактов.

II. Производители АСКТ (группа 1) принимают на себя маркетинговые и сервисные обязанности (группа 2), то есть профессиональные группы 1 и 2 являются подразделениями одной компании, дочерними предприятиями и т.п.



У этого варианта взаимодействия профессиональных групп имеются общие признаки со следующим вариантом.

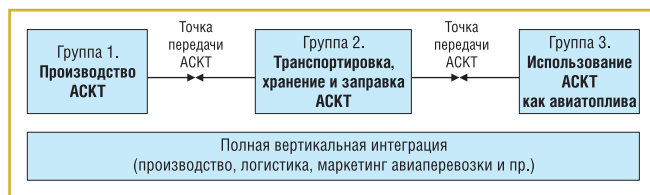
III. Авиакомпании, использующие на своих летательных аппаратах АСКТ в качестве авиатоплива (группа 3), включают в свою структуру и сервисные службы (группа 2), то есть, как и в предыдущем варианте, являются подразделениями одной компании, дочерними предприятиями и т.п.



В этих случаях, как правило, долгосрочные контракты отсутствуют, а в краткосрочных нет принципов ценообразования – каждый год цены пересматриваются. Неоднозначность в определении цены ПНГ в связи с отсутствием рынка может приводить к переносу маржи на субъекты производства АСКТ, а также маркетинга и сбыта. Кроме того, имеется сильная зависимость от договорных отношений. Поэтому в связи с лицензионными требованиями по утилизации ПНГ данные схемы в основном представляют рынок покупателя.

Преимущества вариантов II и III – простота в оформлении договорных отношений в организации учета и отчетности. Недостатки – ненадежность и краткосрочность договорных отношений, а также связанная с этим неопределенность с возвратом инвестиций.

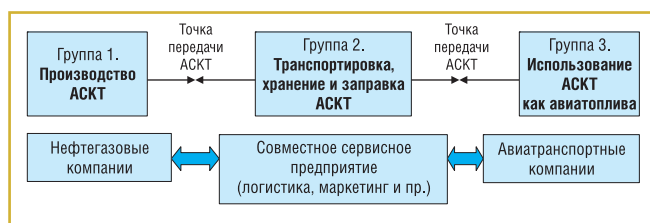
IV. Все три профессиональные группы аффилированы между собой – входят в одну корпорацию, являются дочерними предприятиями и т.п.



В этом случае договорных отношений либо нет, либо они есть между подразделениями компании с установленными трансфертными ценами, возможен перенос ценности на любой субъект, а распределение рисков происходит внутри компании. При этом возможна также оптимизация рисков при перераспределении их между субъектами.

Преимущества этого варианта – синхронное развитие всех субъектов цепочки, а также возможность полного цикла планирования. Недостатки – сложность оценки доли участия взаимодействующих субъектов в создании добавленной стоимости и в связи с этим большая вероятность просчетов при распределении создаваемой прибыли.

V. Производители АСКТ (группа 1) и авиакомпании, использующие на своих ЛА АСКТ в качестве авиатоплива (группа 3), создают совместное (СП) сервисное предприятие (группа 2), занимающееся логистикой и маркетингом.



В этом случае, как правило, заключаются долгосрочные контракты (10 лет и более), в которых описываются принципы ценообразования. Ценность может быть перенесена либо на СП (центр прибыли), либо на участников СП (центр затрат) в соответствии с принципом организации СП. При этом возможна оптимизация рисков при перераспределении их между субъектами, а также минимизация рисков для участников СП в связи с большей определенностью договорных отношений. Кроме того, многие риски, которые отнесены на СП, участники несут совместно.

Преимущества этого варианта – взаимная заинтересованность участников СП в слаженной работе всех взаимодействующих субъектов цепочки, возможность согласования нормы прибыли участников СП, синхронизированного развития мощности всех субъектов цепочки и достаточная прозрачность эффективности капитальных вложений. Недостатки – длительное согласование основных решений между партнерами, а также сложность договорной схемы и ее оформления.

Все пять вариантов взаимодействия имеют свои характерные признаки, преимущества и недостатки,

Вариант	Взаимоотношения компаний	Договорные отношения	Перенос ценности	Распределение рисков	Преимущества	Недостатки
I	Независимые	Долгосрочные контракты с понятными принципами ценообразования	Четкий перенос ценности на каждый субъект	Между субъектами согласно контрактам	<ul style="list-style-type: none"> Детализация контрактов Прозрачность эффективности капитальных вложений 	<ul style="list-style-type: none"> Зависимость возврата инвестиций от условий контрактов Зависимость синхронизированного развития мощности всех субъектов от срока и условий контрактов
II	Создание СП между сервисным предприятием и нефтегазовой компанией	<ul style="list-style-type: none"> Отсутствие, как правило, долгосрочных контрактов Отсутствие, как правило, в краткосрочных контрактах принципов ценообразования 	Неоднозначность в определении цены ПНГ и перенос маржи на субъекты «Производство АСКТ» и «Маркетинг и сбыт»	В соответствии с договорными отношениями	Простота в оформлении договорных отношений и в организации учета и отчетности	<ul style="list-style-type: none"> Ненадежность договорных отношений Неопределенность с возвратом инвестиций, обусловленная ненадежностью и краткосрочностью договорных отношений
III	Создание СП между сервисным предприятием и авиатранспортной компанией	Отсутствие договорных отношений между подразделениями компании с установленными трансфертными ценами	Перенос ценности на любой субъект	<ul style="list-style-type: none"> Распределение рисков внутри компании Оптимизация рисков при их перераспределении между субъектами 	<ul style="list-style-type: none"> Синхронное развитие всех субъектов цепочки Полный цикл планирования 	<ul style="list-style-type: none"> Сложность оценки участия субъектов в создании добавленной стоимости Большая вероятность просчетов при распределении создаваемой прибыли
IV	Полностью интегрированные или аффилированные предприятия	<ul style="list-style-type: none"> Долгосрочные контракты (10 лет и более) Включение принципов ценообразования в контракты 	Перенос ценности на СП (центр прибыли) или на участников СП (центр затрат) в соответствии с принципом организации СП	<ul style="list-style-type: none"> Минимизация рисков участников СП в соответствии с договорными отношениями Совместная ответственность за риски участников СП 	<ul style="list-style-type: none"> Заинтересованность участников СП в слаженной работе всех субъектов цепочки Согласование нормы прибыли участников СП Синхронизированное развитие мощности всех субъектов цепочки Прозрачность эффективности капитальных вложений 	<ul style="list-style-type: none"> Длительность согласования основных решений между партнерами Сложность договорной схемы и ее оформления

а также свои особенности договорных отношений и связанные с этим переносы ценности и распределение рисков (таблица).

Видно, что стандартных коммерческих и технических решений или моделей нет – каждая схема взаимодействия субъектов уникальна. Залогом успеха являются устранение ограничений и координация развития всех взаимодействующих субъектов цепочки. При этом эффективность капиталовложений для каждого из субъектов будет максимальной, если мощности всех связывающих их субъектов одинаковы.

Таким образом, выбор схемы коммерческого взаимодействия при реализации проекта зависит как от организационных, так и от коммерческих ограничений. Перераспределение ценности и рисков происходит при определении условий поставки или долей участия. При этом только очень эффективные (бесспорные) проекты могут быть реализованы без применения долгосрочных договоров.

Поэтому наиболее приемлемыми в существующих условиях схемами коммерческого взаимодействия, которые могут обеспечить быстрый реальный и долговременный эффект, являются полная вертикальная интеграция субъектов реализации проекта (вариант IV) или схема с созданием производителями АСКТ и авиакомпаниями, использующими это топливо на своих ЛА, совместного сервисного предприятия (вариант V), занимающегося транспортировкой, хранением и заправкой АСКТ (логистика, маркетинг и пр.).

Сроки возврата кредита

Особенностью совместной работы нескольких организаций, передающих последовательно друг другу АСКТ, является стремление максимизировать свою прибыль. Усугубить это положение может отсутствие взаимного обмена финансовыми результатами деятельности, так как формально эти организации не зависимы друг от друга. По этой причине завышенные аппетиты одних участников, усугубленные отсутствием информации об итогах коммерческой деятельности смежников, могут привести к потере интереса у остальных участников работы над проектом и свести на нет его привлекательность.

Именно поэтому наиболее реальны схемы коммерческого взаимодействия с полной вертикальной интеграцией субъектов или с созданием двумя субъектами совместного сервисного предприятия. В этих условиях наиболее просто договориться о согласованной норме прибыли, что является обычно камнем преткновения при организации совместных работ.

К особенностям, затрудняющим согласование взаимных интересов участников совместных комплексных

работ, относится также отсутствие наглядного инструмента, показывающего влияние финансовых итогов их деятельности на конечный результат. Методика, изложенная ниже, позволяет проводить такую оценку.

В качестве результирующего критерия выбран срок возврата кредита, который обычно является основным параметром для авиакомпании, собирающейся модифицировать свои вертолеты в двухтопливные (АСКТ или авиакеросин) и обустроить аэродромный газозаправочный комплекс. Предлагаемая методика может быть использована в ходе обсуждения и согласования условий участия заинтересованных организаций в совместных работах по реализации данного технического решения.

В общем случае на срок возврата кредита влияют следующие показатели.

Доходная часть

(дополнительный доход, обусловленный переходом на АСКТ)

1. Разница в стоимости авиакеросина и АСКТ (руб.).
2. Годовой налет вертолета (ч).
3. Часовой расход авиатоплива (т).
4. Экономия от повышения ресурса двигателей за счет уменьшения нагара (предположительно на 20...30 %).
5. Экономия от снижения расхода топлива за счет более высокой теплотворной способности газа (на 4...6 %) и т.п.

Расходная часть

(дополнительный расход, обусловленный переходом на АСКТ)

1. Кредит в финансовой организации (руб.), размер которого определяется затратами на модификацию вертолета в двухтопливный и создание наземной аэродромной газозаправочной инфраструктуры. Чем выше эти затраты, тем больше срок возврата кредита. Если нет специальных договоренностей, вся сумма кредита подлежит возврату. В общем случае, кредит выплачивается из прибыли и входит в состав налогооблагаемой базы.

2. Ставка кредита (%), которая определяется по договоренности между заемщиком и финансовой организацией. Согласно статье № 265 Налогового кодекса, расходы в виде процентов по долговым обязательствам любого вида, начисленных за фактическое время пользования заемными средствами, в том числе процентная ставка кредита включаются в состав внереализационных расходов и не увеличивают налогооблагаемую базу.

3. Дополнительные эксплуатационные расходы (руб.), которые связаны с модифицированием вертолета и созданием топливозаправочного комплекса, а также с возможным появлением дополнительных затрат на их

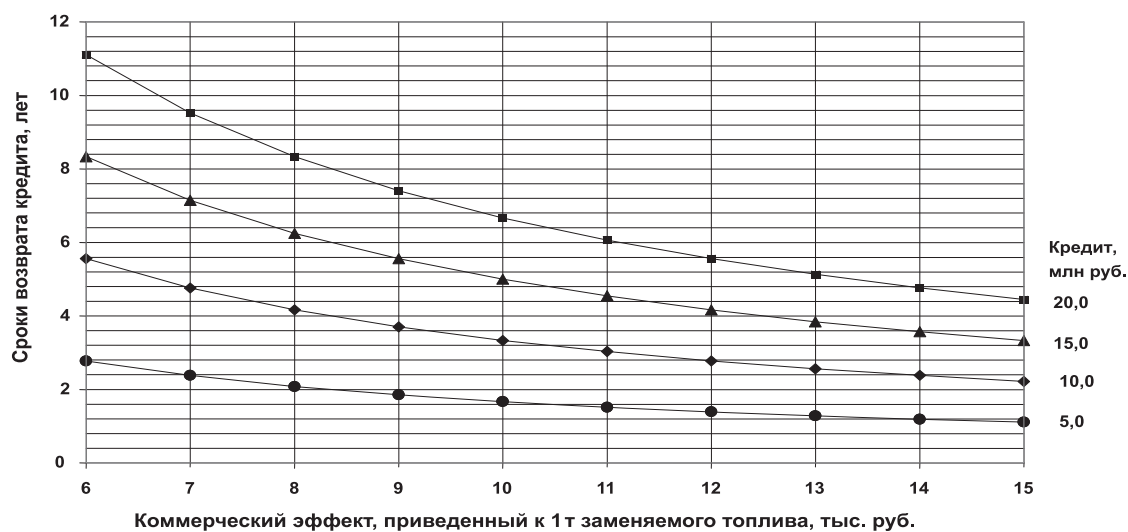
эксплуатацию (повышение фонда оплаты труда экипажа и обслуживающего персонала, рост амортизационных отчислений, увеличение затрат на текущий и капитальный ремонт, наземное топливное обслуживание и пр.). В общем случае дополнительные эксплуатационные расходы не увеличивают состав налогооблагаемой базы.

4. Возможное изменение размера налогов (%), обусловленное изменившимися характеристиками вертолета и т.п.

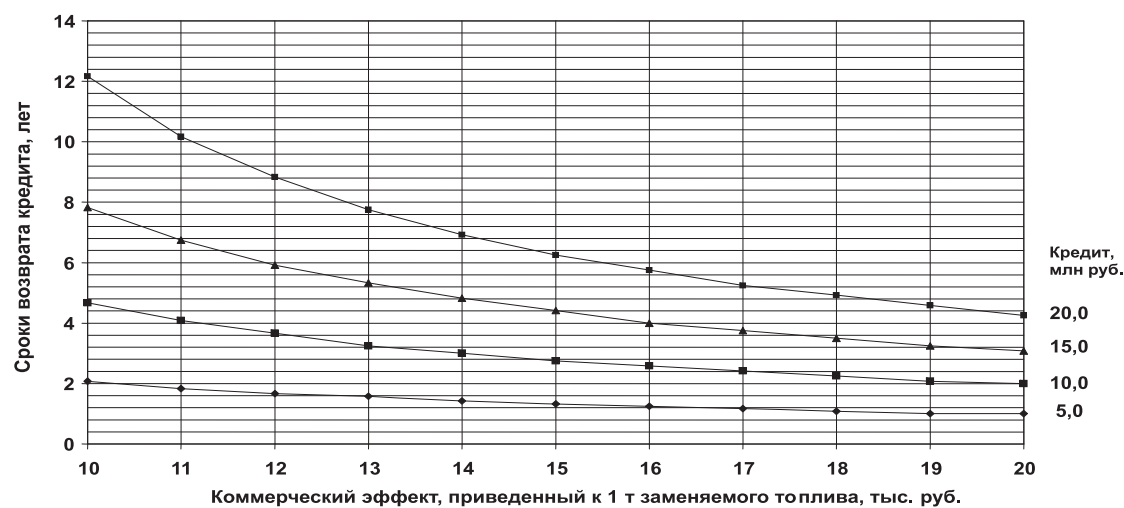
- Налог на добавленную стоимость (НДС) 18 % (2012 г.), зависящий от стоимости услуги (цена билета). Если цена билета не увеличивается, то при эксплуатации двухтопливного вертолета дополнительного увеличения НДС не происходит. При уменьшении цены билета НДС также уменьшается, и авиакомпания получает дополнительную прибыль.

- Налог на прибыль 20 % (2012 г.), зависящий от размера выплат по кредиту, так как они производятся из прибыли. Выплаты процентов по кредиту не облагаются налогом на прибыль, поскольку они входят в состав внереализационных расходов.
- Налог на имущество 2,2 % (2012 г.), рост которого произойдет в результате увеличения материальных и нематериальных активов, находящихся на балансе предприятия, за счет дооснащения вертолета газотопливным оборудованием.

Учесть полностью все эти параметры довольно сложно. В частности, дополнительные эксплуатационные расходы в значительной степени зависят от географии и условий эксплуатации модифицированных двухтопливных вертолетов. Налоговая база на имущество – величина переменная, зависящая от принятой политики амортизации



a



b

Рис. 1. Сроки возврата кредита в зависимости от коммерческого эффекта, связанного с заменой керосина на АСКТ, для одного вертолета семейства Ми-8 с налетом 500 ч/год и расходом топлива 600 кг/ч:
 а – ставка по кредиту 0 %, налог на прибыль 0 %;
 б – ставка по кредиту 10 %, налог на прибыль 20 % при $p_p = 3\%$; $C_n = 30\,000$ руб.; $T_0 = 12$; $k_A = 1,2$

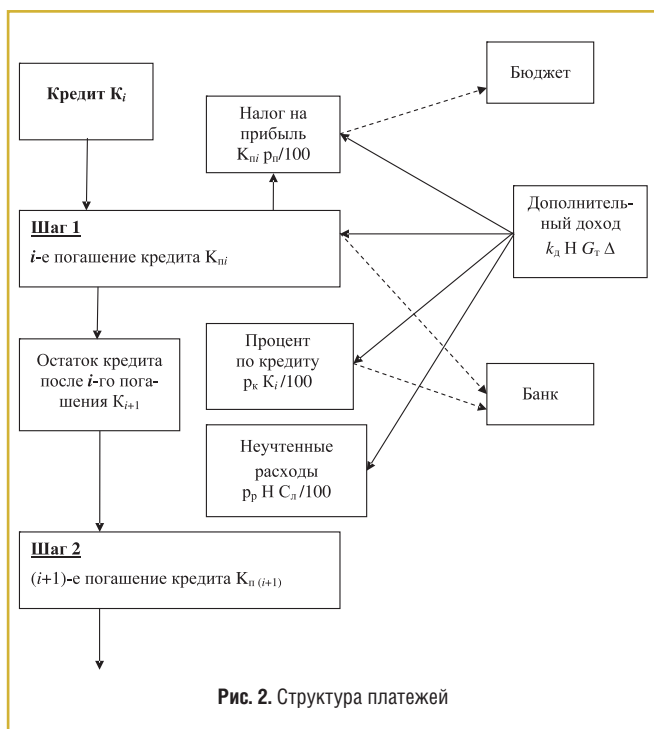


Рис. 2. Структура платежей

и т.д. Поэтому для оценки влияния различных факторов на сроки возврата кредита при модификации вертолетов семейства Ми-8 в двухтопливные и разработки предварительного технико-экономического обоснования достаточно рассмотреть его основные составляющие.

В доходной части:

- положительная разница в стоимости авиакеросина и АСКТ;
- годовой налет вертолета;
- часовой расход авиатоплива.

В расходной части:

- размер кредита;
- процентная ставка кредита;
- налог на прибыль, возникающий при погашении кредита.

Остальные параметры в первом приближении могут быть учтены в виде коэффициентов.

В упрощенном виде при условии нулевой процентной ставки кредита и без учета налогов и возможного дополнительного дохода зависимость сроков возврата кредита, приведенная к одному вертолету, от коммерческого эффекта, обусловленного возможностью использования на вертолете семейства Ми-8 АСКТ вместо авиакеросина (рис. 1), может быть выражена как

$$T_{\text{вк}} = K / (H \cdot G_t \cdot \Delta), \quad (1)$$

где $T_{\text{вк}}$ – срок возврата кредита, лет; K – кредит, руб.; H – налет за год, ч; G_t – часовой расход топлива вертолетом, т/ч; Δ – разность между ценой авиакеросина и АСКТ, руб.

Дополнительные параметры повышают точность оценки, но усложняют расчет, так как требуют учета всех связей

(рис. 2) и последовательного решения следующего уравнения

$$K_{i+1} = K_i - K_{ni}, \quad (2)$$

где K_i – начальный размер кредита, руб.; K_{ni} – часть кредитной массы, которая погашается в i -й период за счет остатка от прибыли после погашения процента по кредиту за i -й период и от других расходов, обусловленных модификацией вертолета в двухтопливный вариант, руб.

При ежегодном погашении K_{ni} определяется как

$$K_{ni} = k_d \cdot H \cdot G_t \cdot \Delta - (p_p \cdot H \cdot C_{\text{л}} / 100 + p_k \cdot K_i / 100 + p_n \cdot K_{ni} / 100).$$

После несложных преобразований и включения в формулу условий расчетов с банком T_6 можно получить следующее уравнение

$$K_{ni} = \frac{100 \cdot k_d \cdot H \cdot G_t \cdot \Delta - p_p \cdot H \cdot C_{\text{л}} - p_k \cdot K_i}{T_6 \cdot (100 + p_n)}, \quad (3)$$

где $k_d \geq 1$ – коэффициент неучтенных в данном уравнении доходов (экономия на ремонте двигателей за счет увеличения их ресурса при работе на АСКТ, экономия топлива на полет за счет более высокой теплотворной способности АСКТ и т.п.); p_p – усредненный процент возможного увеличения расходов, обусловленных модификацией вертолета в двухтопливный (увеличение себестоимости летного часа кроме затрат на топливо и т.п.), %; $C_{\text{л}}$ – себестоимость летного часа за исключением затрат на топливо, руб./ч; p_k – процентная ставка кредита, %; T_6 – число регулярных расчетов с банком в течение года; p_n – налог на прибыль, %.

Подводя итог, можно сделать следующие выводы.

- Основными факторами, влияющими на сроки возврата кредита для модификации вертолетов семейства Ми-8 в двухтопливные (АСКТ–авиакеросин) и обустройства аэродромного газового топливозаправочного комплекса, являются размер кредита, его процентная ставка, ставка налога на прибыль, а также положительная разница в стоимости авиакеросина и АСКТ, годовой налет вертолета и часовой расход авиатоплива.
- Различные схемы коммерческого взаимодействия между основными субъектами – участниками производства и использования АСКТ в качестве авиатоплива, – рассмотренные в работе, показали, что стандартных коммерческих и технических решений или моделей нет, поскольку каждая схема взаимодействия субъектов уникальна.
- Выбор схемы коммерческого взаимодействия при реализации проекта зависит как от организационных, так и от коммерческих ограничений.
- Предложенная методика может быть использована при согласовании взаимных коммерческих интересов участников совместных комплексных работ.

Сравнительный анализ циклов газового и газодизельного двигателей большой размерности

А.С. Хачиян, профессор МАДИ, к.т.н.,

И.Г. Шишлов, старший научный сотрудник МАДИ, к.т.н.,

Д.М. Карпов, инженер МАДИ

Представлены результаты расчетных исследований циклов газового и газодизельного двигателей, созданных на базе дизеля большой размерности для тепловозов. Показано преимущество конвертации среднеоборотного дизеля в газовый двигатель с внешним смесеобразованием и воспламенением газозвушной смеси от минимизированной мелко распыленной запальной порции дизельного топлива по сравнению с конвертацией в газовый двигатель с внешним смесеобразованием и искровой системой зажигания. Отмечена более высокая экономичность, обеспеченная благодаря применению в газодизеле высокой степени сжатия и работе на более бедных смесях.

Ключевые слова: газовый двигатель, газодизель, природный газ, показатели цикла, степень сжатия, способ смесеобразования.

При решении задачи по созданию на базе большеразмерного дизеля средней оборотности двигателя, питаемого природным газом, важным является выбор варианта конвертации. Способы смесеобразования и воспламенения газозвушной смеси оказывают безусловное влияние на эксплуатационную экономичность газовых модификаций дизеля.

В Московском автомобильно-дорожном техническом университете (МАДИ) проведены расчеты показателей цикла двигателя, питаемого природным газом и разрабатываемого на базе большеразмерного дизеля средней оборотности для разных вариантов конвертации. Расчеты выполнены с использованием методик, созданных на кафедре «Теплотехника и автотракторные двигатели» [1].

Рассмотрены следующие варианты конвертации дизелей:

- конвертация дизеля в газовый двигатель с внешним и внутренним смесеобразованием и воспламенением газозвушной смеси от искрового разряда;

- конвертация дизеля в газовый двигатель (газодизель) с внешним смесеобразованием и воспламенением газозвушной смеси от минимизированной мелко распыленной запальной порции дизельного топлива.

Первый вариант требует доработки поршней для снижения

степени сжатия при внешнем смесеобразовании и головок цилиндров для установки вместо форсунок свечей зажигания, а также применения микропроцессорной системы управления подачей искрового разряда и дозированной подачи природного газа.

Основной недостаток этого способа связан с необходимостью снижения степени сжатия при внешнем смесеобразовании и применения количественного регулирования. Надо также иметь в виду, что

Таблица 1

Октановое число	Степень сжатия ε для двигателей размерностью		Разность
	$D/S=120/130$	$D/S=265/310$	
105	9,57	5,99	3,76
110	11,05	6,46	4,59
115	12,76	7,01	5,75
120	15,10	7,66	7,44
125	18,47	8,44	10,03
Среднее значение	13,39	7,11	6,28

с учетом возможной неравномерности состава газовой смеси в цилиндрах, связанной с различием цикловых подач природного газа, поступающего в отдельные цилиндры, которые зависят от индивидуальных расходных характеристик газовых форсунок, при выборе коэффициента избытка воздуха необходимо ограничиваться $\alpha=1,5 \dots 1,7$. В то время как в газодизеле избыток воздуха может быть больше.

При наддуве газовый двигатель с внутренним смесеобразованием и воспламенением газовой смеси от искрового разряда не имеет существенных преимуществ по сравнению с газодизелем,

имеющим внешнее смесеобразование и воспламенение газовой смеси от минимизированной мелко распыленной запальной порции дизельного топлива. В то же время способ создания чистого газового двигателя с внутренним смесеобразованием требует существенно больших затрат.

Степень сжатия газового двигателя может быть определена двумя способами.

1. Расчет температуры адиабатного сжатия от начального давления цикла до максимального в цилиндре, условно называемой температурой детонации, которая для природного газа не должна превышать 1050 К:

$$T_{дет} = T_a \left(\frac{p_z}{p_a} \right)^{\frac{k-1}{k}}, \quad (1)$$

где $T_{дет}$ – температура детонации; T_a – начальная температура адиабатного сжатия; p_a – начальное давление в цилиндре; p_z – максимальное давление в цилиндре, k – показатель адиабаты.

2. Расчет по эмпирическому уравнению Д.М. Аронова [2]

$$ОЧ = 125,4 - \frac{413}{\epsilon} + 0,183D, \quad (2)$$

где ОЧ – октановое число природного газа; ϵ – степень сжатия; D – диаметр цилиндра, мм.

Для определения степени сжатия по способу 1 с использованием методик и программ расчета циклов двигателей были выполнены серии

Таблица 2

Параметр	Двигатель	
	Газовый $\epsilon=7,11$	Газодизель $\epsilon=14,0$
Давление перед выпускным клапаном, МПа	0,25	0,32
Коэффициент избытка воздуха	1,5	2,0
Среднее давление газообмена, МПа	-0,028	-0,035
Коэффициент наполнения	0,866	0,904
Коэффициент остаточных газов	0,0604	0,0628
Давление в цилиндре в конце впуска, МПа	0,2697	0,3455
Температура в цилиндре в конце впуска, К	417,30	368,47
Среднее индикаторное давление, МПа	1,763	2,239
Индикаторный КПД	0,405	0,492
Удельный индикаторный расход топлива, г/кВт·ч	179,89	148,07
Максимальная скорость нарастания давления, МПа/°ПКВ	0,6289	0,9648
Максимальное давление сгорания, МПа	9,448	18,535
Максимальная температура сгорания, К	2314,1	2057,6
Теплота, подведенная к циклу, Дж	68458,8	69580,9
Потери теплоты в стенки, Дж	4256,7	4370,3
Средний коэффициент теплоотдачи, Вт/м ² ·К	348,62	537,59
Средняя температура цикла, К	1026,00	872,94
Средняя результирующая по теплообмену температура, К	1185	1027

Примечание. Для газодизеля допустимое максимальное давление цикла ограничено величиной 18,5 МПа, поэтому показатели цикла получены при неоптимальном моменте начала воспламенения.



Рис. 1. Изменение давления в цилиндре двигателей в процессе сжатия, сгорания и расширения

расчетов при среднем для состава заряда показателе адиабаты

$$k = \frac{1,41 + 1,33}{2} = 1,37. \quad (3)$$

Для газового варианта степень сжатия $\epsilon = 11$.

При этом значении степени сжатия температура детонации была определена по формуле (1).

$$T_{дет} = 339,3 \left(\frac{15,525}{0,25} \right)^{\frac{1,37-1}{1,37}} = 1034,5 \text{ К}. \quad (4)$$

Полученное значение близко к 1050 К.

Следует принять во внимание, что способ 1 не учитывает того, что при большом диаметре цилиндра продолжительность развития фронта пламени до наиболее удаленных слоев заряда в камере сгорания увеличивается, поэтому необходимо выбирать еще меньшую степень сжатия, чтобы избежать детонации.

При определении степени сжатия по способу 2 расчеты выполнены для ряда значений ОЧ (табл. 1), так как в различных источниках этот показатель природного газа оценивается в диапазоне 105...125.

Проведенные ранее экспериментальные исследования двигателей размерностью $D/S = 120/130$ (КАМАЗ)

показали, что работа двигателя на природном газе с $\epsilon = 13$, близкой к оценочному значению $\epsilon = 13,39$, не сопровождалась детонацией. Поэтому для двигателя размерностью $D/S = 265/310$ в соответствии с результатом, представленным в табл. 1, можно назначить степень сжатия $\epsilon = 7,11$.

Для номинального режима ($n = 1000 \text{ мин}^{-1}$) среднеоборотного дизеля размерностью $D/S = 265/310$ выполнены расчеты показателей циклов при его работе в газовом и газодизельном вариантах (табл. 2).

Коэффициент избытка воздуха для газового варианта принят $\alpha = 1,5$, для газодизельного $\alpha = 2,0$. С учетом этого различия давление наддува для газодизельного варианта выбрано $0,42 \text{ МПа}$ вместо $0,25 \text{ МПа}$ для газового варианта.

Степень сжатия в газодизельном варианте соответствует степени сжатия дизельного $\epsilon = 14,0$, в газовом принята $\epsilon = 7,11$.

Результаты расчетов показателей циклов представлены на рис. 1-3.

Анализ результатов расчетного исследования показал следующее:

- в газодизеле выше механические нагрузки на детали двигателя;
- экономичность цикла в газодизеле оказалась выше на 21,5 %;
- при равенстве средней скорости поршня, потерь на газообмен и большем значении среднего индикаторного давления можно предположить, что механический КПД будет выше в газодизеле, и поэтому различия в эффективном КПД будут больше, чем в индикаторном.

Следует отметить, что газодизель имеет и другие преимущества, в частности, большую унификацию с базовым дизелем.

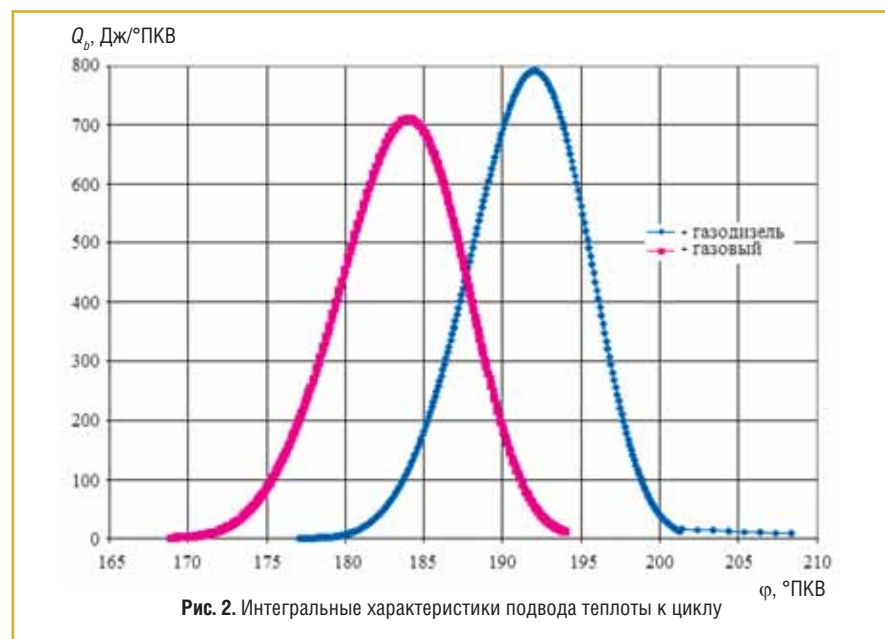
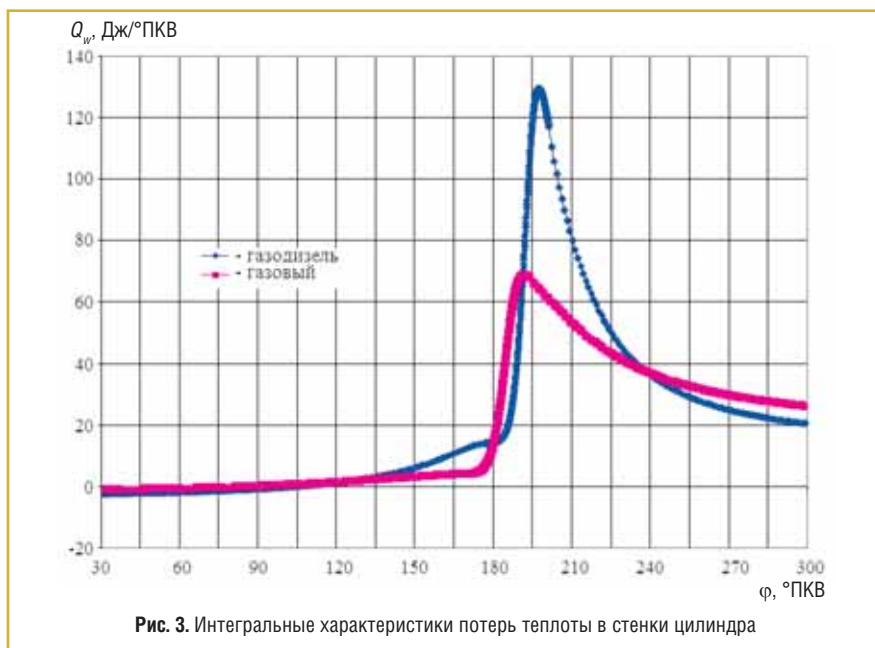


Рис. 2. Интегральные характеристики подвода теплоты к циклу



Проведенные исследования позволили сделать следующие выводы.

Для тепловозных дизелей средней оборотности нецелесообразно использовать способ конвертации в чисто газовый двигатель с искровым зажиганием, так как

необходимо существенно снижать степень сжатия с целью предотвращения детонации. На эксплуатационную экономичность, естественно, повлияет также уменьшение механического КПД и количественное регулирование.

Наиболее целесообразно применение газодизельного способа конвертации с внешним смесеобразованием и воспламенением от минимизированной тонко распыленной запальной порции дизельного топлива, впрыскиваемого аккумуляторной топливной системой с электрогидравлическими форсунками.

При работе газодизеля только по двухтопливной схеме для впрыска минимизированной запальной порции дизельного топлива можно применить серийно выпускаемые автомобильные аккумуляторные топливные системы.

Литература

1. Хачиян А.С., Синявский В.В. Расчеты четырехтактного газового двигателя. – М.: МАДИ, 2001.
2. Аронов Д.М., Малявинский Л.В. Антдетонационные качества автомобильных двигателей. Тр. НИИАТ, вып. 2. – М.: изд-во НИИАТ, 1961.

Насосы и насосные агрегаты Corken Z2000

производительность – 220 л/мин • максимальное дифференциальное давление – 1,03 МПа • максимальная потребляемая мощность – 7,5 кВт

• лазерная центровка насосных агрегатов • постоянное наличие на складе в Санкт-Петербурге • цена – 118 тыс. руб.

FAS CORKEN ХТК

(495) 647 0577 • (812) 335 4950 • 318 7580 • COMPRESSOR@FAS.SU • HGK@FAS.SU

WWW.FAS.SU

Исследование локального образования оксидов азота в водородном дизеле

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

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

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

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

Изложены результаты 3D-моделирования с помощью CFD-кода FIRE водородного дизеля с непосредственным впрыскиванием газообразного водорода. Верификация модели проводится на основе экспериментальных индикаторных диаграмм водородного дизеля. Показано, что при условии приблизительного равенства мощностей водородный дизель по уровню эмиссии оксидов азота не уступает базовому дизелю, что требует разработки специальных методов улучшения экологических качеств водородного дизеля.

Ключевые слова: рабочий процесс, альтернативные топлива, водородный дизель, оксиды азота.

В настоящее время поршневые двигатели по эффективным показателям (удельный расход топлива, КПД) не имеют себе равных среди тепловых двигателей. В обозримом будущем они, по всем научным прогнозам [1-3], будут занимать лидирующее положение в транспортной энергетике. Однако поршневые двигатели, как основные потребители топлив нефтяного происхождения, одновременно являются и одними из основных загрязнителей окружающей среды. Переход на альтернативные топлива, сначала на природный газ, запасы которого достаточно велики, а потом на водород, запасы которого практически неиссякаемы [2, 3], – наиболее надежный путь для решения экологических и энергетических проблем, связанных с поршневыми двигателями.

В настоящее время на транспорте наиболее распространены водородные двигатели с принудительным зажиганием, работающие как на газообразном, так и на жидком водороде. Несмотря на очевидные преимущества [3, 4] концепция водородного дизеля с непосредственным впрыском в цилиндр газообразного водорода пока на серийных двигателях не реализована и требует фундаментального изучения, так как практически не исследована. Исключением являются

работы, проведенные сотрудниками Мюнхенского технического университета и МГТУ им. Н.Э. Баумана [3, 4]. Следует отметить, что даже в известных специализированных зарубежных изданиях [5] указанная концепция рассматривается только как возможная, и не более того.

Экспериментальные исследования показали, что осуществление рабочего процесса дизеля с непосредственным впрыском в цилиндр газообразного водорода требует его самовоспламенения, для которого характерны более высокие температуры, чем для самовоспламенения дизельного топлива, а также стабильности (идентичность) протекания последовательных рабочих циклов. Решению этих проблем посвящены работы [3, 6], поэтому в данной статье они не обсуждаются. Очевидно, что в продуктах сгорания исследуемого водородного дизеля отсутствуют CH , CO , CO_2 и твердые частицы сажи. Их концентрации, образованные в результате горения смазочного масла, не учитываются. Однако проблема минимизации содержания оксидов азота в выпускных газах водородного дизеля остается.

Целью данного исследования являются моделирование и сравнительный анализ процессов

смесеобразования, сгорания и образования оксидов азота в водородном дизеле с непосредственным впрыском газообразного водорода и в его базовом варианте, работающем с впрыском традиционного дизельного топлива.

Экспериментальные дизели

Экспериментальный дизель представляет собой одноцилиндровый отсек четырехтактного дизеля и позволяет провести исследования рабочего процесса при работе двигателя как на жидком (традиционное), так и на газообразных топливах, в том числе и на водороде [4,7]. При работе дизеля на водороде система подачи дизельного топлива Common Rail (CR) заменяется специально разработанной системой для подачи водорода непосредственно в цилиндр в конце сжатия с помощью специального электрогидравлического инжектора, разработанного фирмой «MAN B&W Diesel AG» и предоставленного для проведения опытов [4, 8].

Водородный инжектор располагается в центральной части головки цилиндра на месте электрогидравлической CR-форсунки и подобно обычной форсунке имеет иглу, которая управляет открытием проходного сечения.

Таблица 1

Основные параметры водородного и базового дизелей

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

Газообразный водород подается из специальных баллонов к инжектору с помощью мембранного нагнетателя фирм Linde AG и Burton Corblin. Подача водорода в конце такта сжатия предотвращает возникновение обратных выбросов и вспышек во впускном коллекторе, а увеличение давления подачи выше максимального давления в цилиндре – заброс продуктов сгорания в систему подачи водорода. В этих целях, а также для обеспечения постоянного, не зависящего от давления в цилиндре, расхода водорода через сопло следует на его срезе создавать сверхкритический перепад давления. Тогда, пользуясь формулой для критического истечения

$$\left(\frac{p}{p_{H_2}}\right)_{кр} = \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k}{k-1}}$$

и с учетом того, что максимальное давление в цилиндре при работе не превышает $p_z=15$ МПа, получим, что водород следует подавать в камеру сгорания под давлением $p_{H_2} \geq 28,5$ МПа (для водорода $k=1,41$). Система питания водородом обеспечивает его подачу в цилиндр под давлением 30,0 МПа.

Как известно [3, 4], концентрационные пределы воспламенения водорода в воздухе составляют 4...75 % по объему, а температура самовоспламенения при одинаковых условиях выше, чем у дизельного топлива. Для обеспечения малой задержки воспламенения и стабильного сгорания температура воздуха в конце сжатия (в момент подачи водорода) должна превышать температуру самовоспламенения [3]. Так как степень сжатия базового дизеля $\varepsilon=13,5$ недостаточна для гарантированного воспламенения водорода, были использованы специальные конструкции поршней для ее повышения (табл. 1), при этом форма камеры сгорания (тип Гессельмана) сохранялась [4, 7, 8].

Для моделирования образования оксидов азота в базовом дизеле (одноцилиндровая установка) и в его

конвертированном на водород варианте были обеспечены соизмеримые значения эффективных мощностей ($\Delta N_e \leq 10\%$) в обоих двигателях, прежде всего, подбором цикловых подач водорода и дизельного топлива с учетом их низшей теплоты сгорания. Результаты экспериментального исследования водородного дизеля, в частности, экспериментальные индикаторные диаграммы, в дальнейшем были использованы для верификации реализованной математической модели теплофизических процессов в камере сгорания водородного дизеля.

Моделирование теплофизических процессов в камерах сгорания водородного и базового дизелей

Разработанная математическая модель рабочего процесса в водородном двигателе по существу представляет собой комплекс взаимосвязанных моделей физических процессов, протекающих в цилиндре, а именно:

- трехмерное нестационарное движение рабочего тела в расчетной области (цилиндр) с движущимися

границами (поршень, впускной и выпускной клапаны);

- впрыск газообразного водорода в нагретый от сжатия воздушный поток, перемешивание водорода с воздухом;
- образование очагов воспламенения и горение водородно-воздушной смеси;
- образование оксида азота в процессе горения водорода.

Реализация математической модели рабочего процесса осуществлялась с применением коммерческого программного продукта FIRE [9], предусматривающего решение дифференциальных уравнений в частных производных численным методом контрольных объемов. Модель относится к классу CRFD-моделей (Computational Reactive Fluid Dynamics), предназначенных для детального исследования сложных процессов переноса, протекающих совместно с химическими реакциями. Она основана на трехмерных нестационарных уравнениях Навье–Стокса, усредненных по методу Фавра и записанных в форме Рейнольдса, и дополнительно содержит модели смесеобразования, сгорания и образования вредных веществ

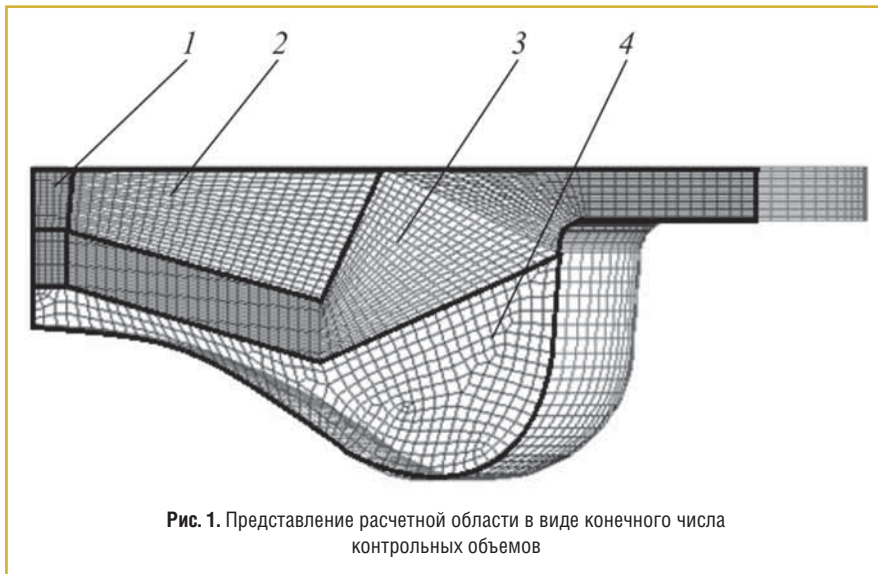


Рис. 1. Представление расчетной области в виде конечного числа контрольных объемов

[9-12]. Очевидно, что в таких случаях уравнения сохранения содержат источники членов, выражающие генерацию и аннигиляцию отдельных компонентов в процессе химической реакции горения [10, 12]. Использование CRFD-моделей характеризуется и другими сложностями, в частности, необходимостью согласования задач моделирования континуальной газовой среды (постановка Эйлера) с моделированием дисперсионной среды жидкого топлива (постановка Лагранжа). Важнейшее значение имеют также дискретизация расчетной области (построение расчетной сетки) и выбор модели турбулентности.

В примере расчета сектора камеры сгорания используется трехмерная динамическая адаптивная сетка, состоящая приблизительно из 65 тыс. ячеек (рис. 1). Особенность разбиения данной расчетной области состоит в том, что она представляет собой совокупность четырех блоков: распылителя 1, струи впрыскиваемого топлива 2, буферного слоя 3 и камеры сгорания в поршне 4. При этом блоки 1, 2 и 4 не перестраиваются на протяжении всего движения сетки. Блок 4 вместе с поршнем совершает возвратно-поступательное движение. Буферный слой 3 является связующим звеном между остальными блоками и при движении сетки растягивается и

сжимается. Число ячеек в блоке 3 при движении сетки не изменяется.

Заметим, что в обоих двигателях используют камеры сгорания типа Гессельмана, однако у водородного дизеля по сравнению с базовым двигателем она была модифицирована для обеспечения более высокой степени сжатия, обуславливающей гарантированное воспламенение водорода (см. табл. 1). Начальные условия (температура воздуха в цилиндре, интенсивность вихревого движения заряда, начальный уровень кинетической энергии турбулентности) принимались для них идентичными.

Верификация математической модели рабочего процесса водородного дизеля

Одним из основных этапов исследования рабочего процесса водородного дизеля является контроль

достоверности результатов численного эксперимента. Верификация математической модели проводилась путем сравнения результатов трехмерного расчета с применением 3D CRFD-кода FIRE и экспериментальных данных, полученных на специальной установке [3, 4, 7, 8]. Индикаторные диаграммы (результаты измерения нестационарного давления в цилиндре двигателя), полученные с помощью пьезокварцевых датчиков давления производства фирм KISTLER и AVL, использовались для оценки достоверности расчетных результатов изменения давления в цилиндре (рис. 2). Их сравнение показывает хорошее согласование опытных данных с результатами моделирования.

Следует отметить, что в результате численного моделирования максимальное давление в цилиндре двигателя оказалось несколько выше (12,5 МПа), чем в эксперименте (12,3 МПа). Моменты времени, соответствующие расчетным и экспериментальным максимальным давлениям, отстоят друг от друга незначительно, и сдвиг по фазе составляет 1°ПКВ.

Для согласования результатов моделирования и эксперимента, особенно в области сгорания (см. рис. 2), важно уточнение эмпирических коэффициентов в модели сгорания Магнуссена-Хартагера [1, 3].

Сравнение зависимостей усредненных по объему цилиндра температур от угла поворота коленчатого вала, полученных в результате обработки экспериментальных и расчетных индикаторных диаграмм (рис. 3),

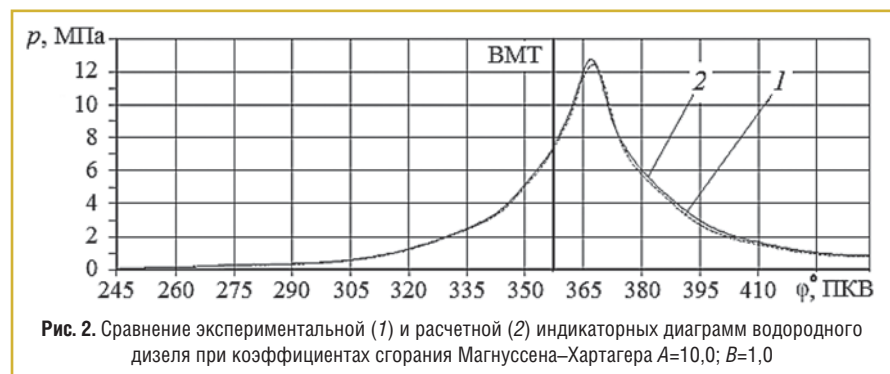


Рис. 2. Сравнение экспериментальной (1) и расчетной (2) индикаторных диаграмм водородного дизеля при коэффициентах сгорания Магнуссена-Хартагера $A=10,0$; $B=1,0$

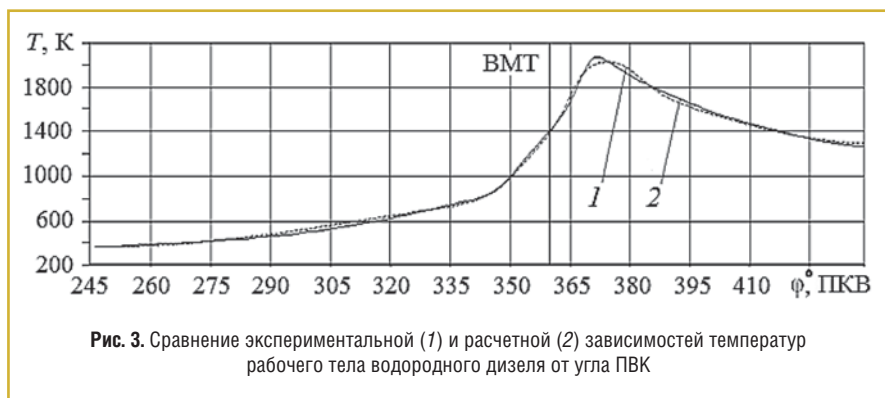


Рис. 3. Сравнение экспериментальной (1) и расчетной (2) зависимостей температур рабочего тела водородного дизеля от угла ПКВ

показывает незначительное превышение расчетной максимальной температуры. Усредненная по объему максимальная температура согласно экспериментальной индикаторной диаграмме достигает 2000 К, а согласно диаграмме по результатам моделирования – приблизительно 2080 К. Сдвиг по фазе между этими значениями составляет 7°ПКВ.

По итогам сравнений можно сделать вывод о том, что 3D CRFD-модель рабочего процесса водородного дизеля адекватно описывает реальные теплофизические процессы в цилиндре двигателя и может быть использована для дальнейшего исследования водородного дизеля.

Сравнительный анализ рабочих процессов водородного и базового дизелей

Из индикаторных диаграмм базового и водородного дизелей (рис. 4) видно, что максимальное давление в цилиндре водородного двигателя $p_z=12,5$ МПа, а базового двигателя

$p_z=11,8$ МПа. Это можно объяснить более высокими скоростями горения и нарастания давления $dp/dφ$ в водородном дизеле. Практически на всех других участках рабочего цикла давление в базовом двигателе выше по сравнению с водородным дизелем, что и обеспечивает разницу в мощностях примерно на 7 % (см. табл. 1). Более продолжительная подача в цилиндр водорода приводит к тому, что максимальное давление цикла в водородном дизеле достигается

позже. В этих расчетах для водородного и базового дизелей коэффициент избытка воздуха $α_φ=2$.

Водород обладает высокой скоростью распространения фронта пламени. Скорость ламинарного пламени в стехиометрической смеси водорода с воздухом в атмосферных условиях

составляет ~ 2,3 м/с, а паров дизельного топлива с воздухом при тех же условиях 0,4 м/с. Это приводит к повышенным скоростям тепловыделения и нарастания давления в водородном дизеле. Когда газообразный водород начинает поступать в камеру сгорания, в которой температура уже превышает необходимую для его воспламенения, он быстро вступает в реакцию с кислородом. Происходит всплеск тепловыделения. В традиционном дизеле рост скорости тепловыделения происходит медленнее (рис. 5).

Усредненная по объему цилиндра температура в водородном дизеле достигает своего максимума быстрее, чем в базовом двигателе, что

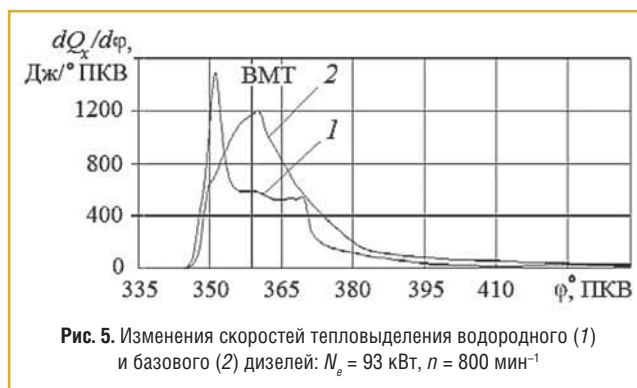


Рис. 5. Изменения скоростей тепловыделения водородного (1) и базового (2) дизелей: $N_e = 93$ кВт, $n = 800$ мин⁻¹

объясняется различными характерами изменения скоростей тепловыделения в этих двигателях. Максимальная температура в цилиндре водородного дизеля составляет 2010 К (рис. 6), а локальные температуры, как показали расчеты, имеют еще большие значения (рис. 7). Это указывает на то, что в водородном дизеле и базовом двигателе согласно термическому механизму Зельдовича образуются оксиды азота, и надо принимать меры для сокращения их эмиссии. Высокие температуры рабочего тела и его турбулентность, генерируемая подвижными деталями (поршень, впускные и выпускные клапаны), непосредственным впрыском водорода и образованием многочисленных локальных очагов воспламенения, интенсифицируют

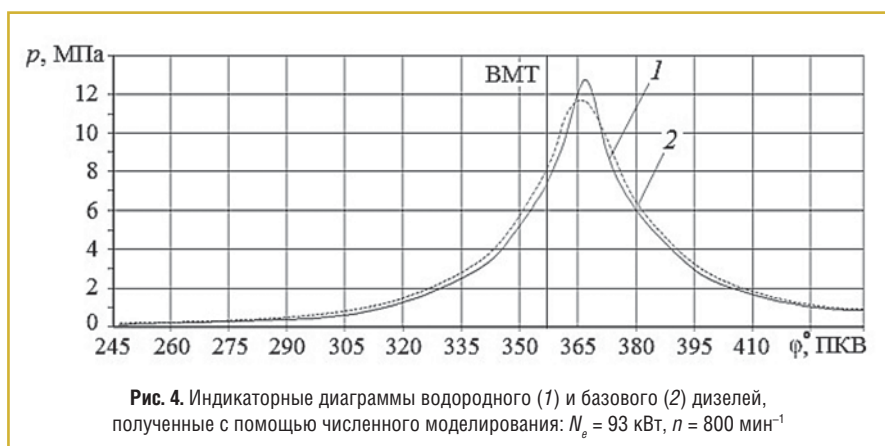


Рис. 4. Индикаторные диаграммы водородного (1) и базового (2) дизелей, полученные с помощью численного моделирования: $N_e = 93$ кВт, $n = 800$ мин⁻¹

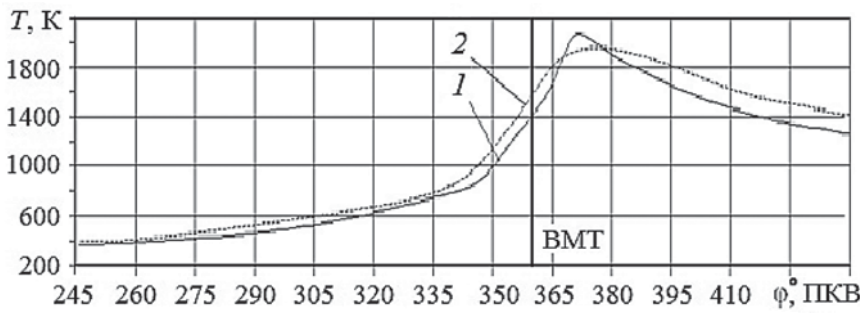


Рис. 6. Изменения усредненной по объему цилиндра температуры рабочего тела в камерах сгорания водородного (1) и базового (2) дизелей: ($N_e = 93$ кВт, $n = 800$ мин⁻¹)

теплообмен со стенками камеры сгорания. Возникает необходимость определения локальных тепловых нагрузок на основные детали двигателя, значения которых потом могут быть использованы в качестве термических граничных условий для расчета их теплонапряженного состояния. Следует подчеркнуть, что локальные тепловые нагрузки на основные детали, составляющие камеру сгорания, в водородных двигателях до настоящего времени не исследовались.

Анализ локальных образований оксидов азота в камерах сгорания водородного и базового дизелей

Для исследования локального образования оксидов азота в камере сгорания водородного дизеля были проанализированы параметры рабочего тела, прежде всего локальные нестационарные температуры, полученные по результатам численных экспериментов в различных сечениях камеры сгорания при разных положениях поршня (рис. 8).

При $\phi = 350^\circ$ ПКВ, то есть к моменту времени, соответствующему 5° ПКВ после начала впрыскивания, значение максимальной температуры в камере сгорания базового (серийный) дизеля составляла $T_z = 1987$ К, а водородного – $T_z = 2696$ К, разница температур – почти 700 К, что обусловлено быстрым распространением фронта пламени водорода. В базовом дизеле, когда дизельное топливо только

начинает гореть на верхней поверхности оболочки топливного факела,

появляются первые очаги сгорания (рис. 7а), а в водородном двигателе к этому моменту уже сформировался фронт пламени, который начинает распространяться по всему объему цилиндра (см. рис. 7б).

При $\phi = 355^\circ$ ПКВ горение факела дизельного топлива продолжает развиваться в основном по краям факела (см. рис. 7в), а газообразный водород продолжает формировать область активного сгорания (см. рис. 7г) в объеме камеры сгорания. По сравнению с предыдущим положением поршня

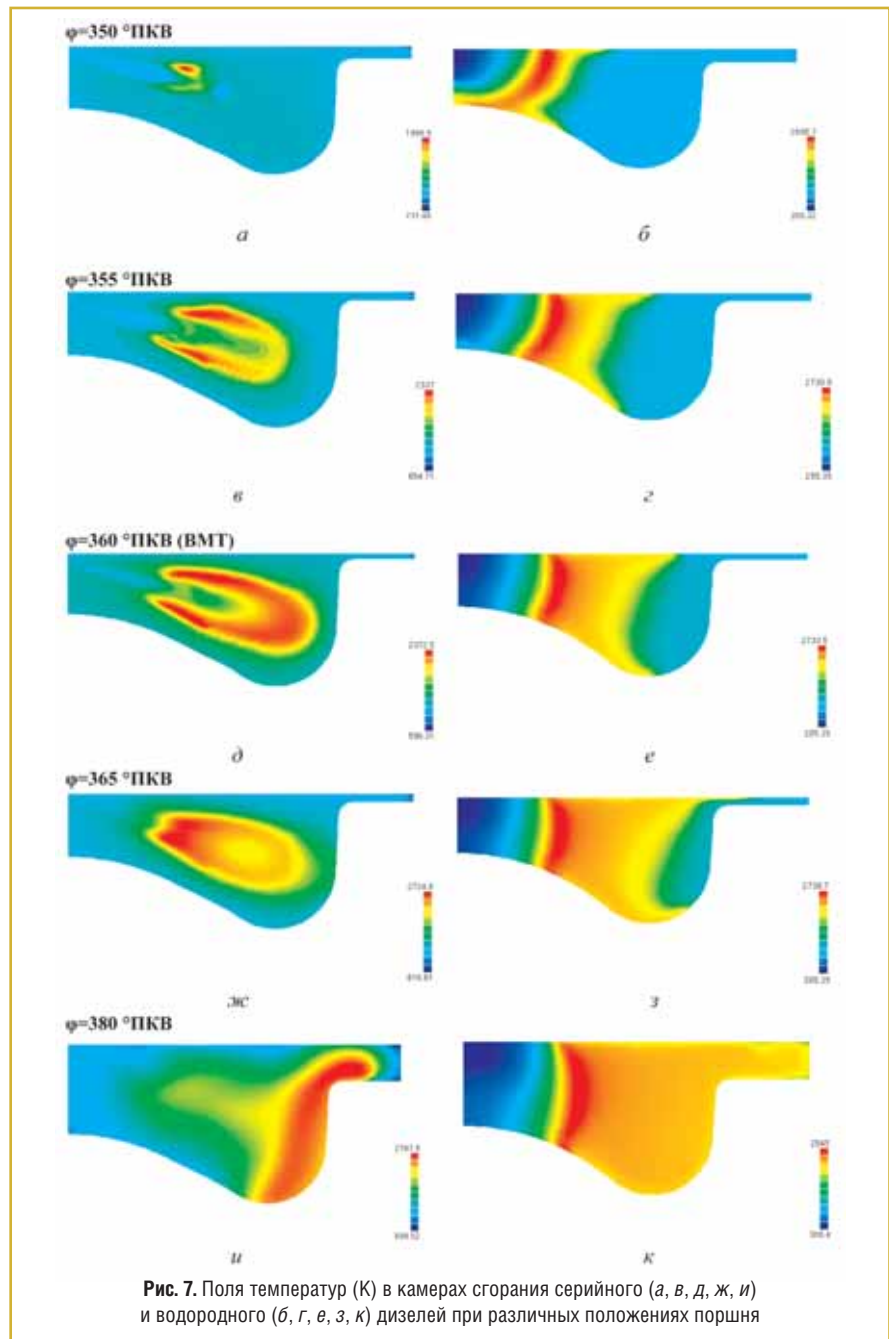


Рис. 7. Поля температур (К) в камерах сгорания серийного (а, в, д, ж, и) и водородного (б, г, е, з, к) дизелей при различных положениях поршня

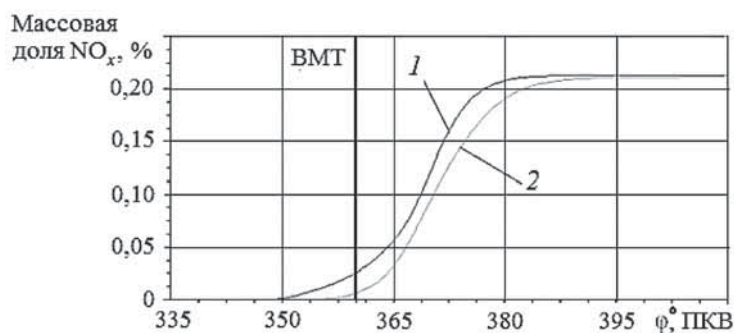


Рис. 8. Изменение массовых долей оксидов азота в камерах сгорания водородного (1) и базового (2) дизелей в зависимости от угла поворота коленчатого вала

($\varphi=350$ °ПКВ) разность между максимальными температурами уменьшается: для базового дизеля $T_z=2337$ К, а для водородного $T_z=2730$ К, так как к этому моменту значительная доля водорода уже сгорела.

При $\varphi=360$ °ПКВ, то есть при нахождении поршня в верхней мертвой точке, интенсификация сгорания дизельного топлива продолжается (см. рис. 7д), что подтверждается ростом максимальных локальных температур. Интенсификация сгорания водорода к этому моменту практически прекращается (см. рис. 7е), а максимальные значения локальных температур стабилизируются.

При $\varphi=365$ °ПКВ максимальные температуры в камерах сгорания обоих двигателей практически выравниваются, правда, в случае работы на дизельном топливе они больше сосредоточены в центральной части камеры (см. рис. 7ж), а пристеночные области имеют более высокие температуры при работе на водороде (см. рис. 7з).

При $\varphi=380$ °ПКВ скорость тепловыделения в водородном дизеле ниже, чем в базовом (см. рис. 5), и максимальная локальная температура в водородном дизеле становится меньше.

В целом продолжительность сгорания в водородном дизеле меньше, а скорость тепловыделения больше, чем в базовом двигателе, что и определяет различную динамику изменения локальных температур в этих

двигателях (см. рис. 7и,к). Сравнение полей температур дает представление также о различии развития фронта пламени в исследуемых двигателях.

Таким образом, хорошо заметно, особенно в области верхней мертвой точки, что процесс сгорания дизельного топлива сосредоточен в зонах распространения топливных факелов, а при сгорании водорода из-за более высоких скоростей распространения фронта пламени и тепловыделения пламя быстрее

охватывает практически весь объем камеры сгорания.

При исследовании локальных и суммарных за цикл концентраций оксидов азота использовались полученные локальные температуры с применением расширенного механизма Зельдовича [13]. Результаты этих исследований показывают, что образование оксидов азота в водородном и базовом дизелях протекает с разной скоростью, что очевидно, если учесть разные характеры тепловыделения в этих двигателях. Однако суммарные за цикл эмиссии NO_x выходят на одинаковый уровень (рис. 8).

Заметное образование оксидов азота в водородном дизеле начинается при угле $\varphi=350$ °ПКВ, то есть через 5 °ПКВ с момента начала впрыскивания, а в серийном дизеле при угле $\varphi=355$ °ПКВ (через 10 °ПКВ с момента начала впрыскивания). При $\varphi=365$ °ПКВ суммарная за цикл эмиссия оксидов азота существенно выше в водородном дизеле, чем в базовом двигателе.

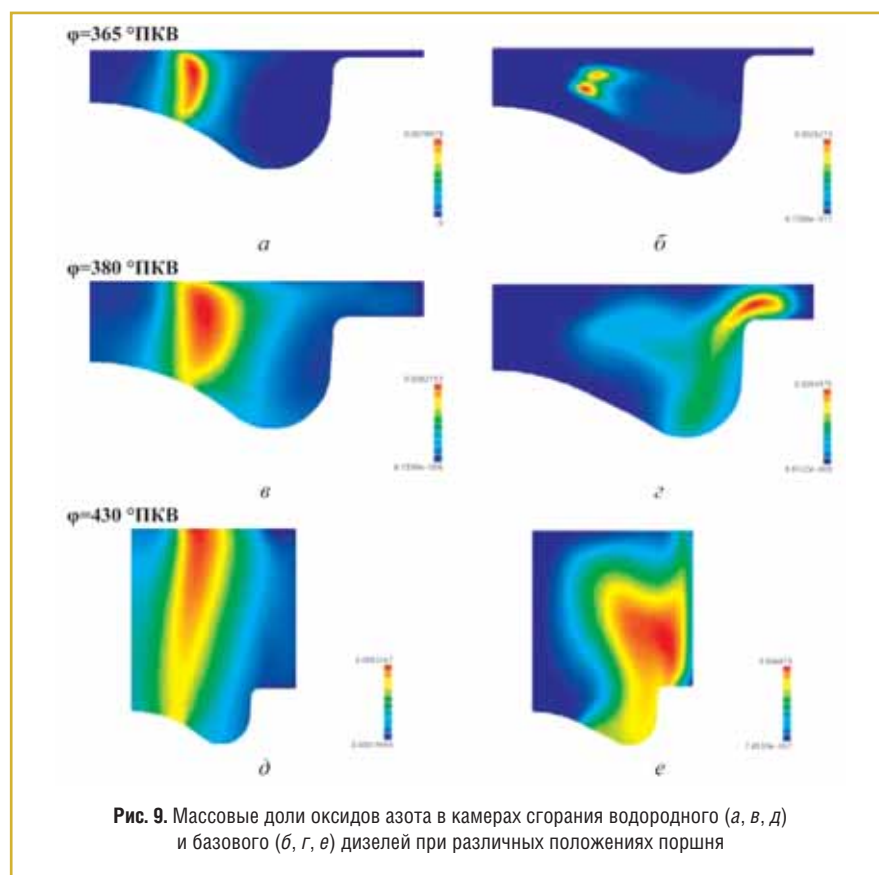


Рис. 9. Массовые доли оксидов азота в камерах сгорания водородного (а, в, д) и базового (б, г, е) дизелей при различных положениях поршня

Изменения локальных массовых долей оксидов азота для водородного (рис. 9а,в,д) и базового (рис. 9б,г,е) дизелей тоже указывают на изменение скорости их образования в зависимости от вида сгорающего топлива. Водородный дизель практически не уступает своему дизельному прототипу по интегральной эмиссии NO_x . Правда, образование оксидов азота в водородном дизеле происходит быстрее, чем в традиционном, что объясняется более высокими скоростями сгорания и тепловыделения в водородных двигателях.

В целом между изменениями локальных температур (см. рис. 7) и локальных образований оксидов азота (см. рис. 9) существует вполне закономерная корреляция, что объясняется термическим механизмом образования NO_x . Прогнозируемые уровни эмиссий оксидов азота в водородном и базовых дизелях близки друг к другу (при условии, что их мощностные показатели мало отличаются), что требует разработки специальных мероприятий для их минимизации при создании перспективного водородного дизеля.

Таким образом, на основе результатов проведенных исследований можно заключить, что одной из наиболее перспективных концепций водородных двигателей в настоящее время является дизель с непосредственным впрыском газообразного водорода. При конвертации дизеля на водород требуются повышение степени сжатия для облегчения воспламенения водородно-воздушной смеси, а также приблизительное равенство эффективных мощностей ($\Delta N_e \leq 10\%$) с целью сравнения условий образования оксидов азота в базовом и водородном дизелях.

Изменения локальных температур рабочего тела и локальных концентраций оксидов азота в камерах сгорания водородных и базовых дизелей на сходных режимах работы существенно отличаются. Установлено, что

процессы воспламенения и сгорания при использовании дизельного топлива сосредоточены в области наружной поверхности (воспламенение) и конуса (сгорание) топливных факелов, а при сгорании водорода воспламенение и фронт пламени быстрее охватывают практически весь объем камеры сгорания. Очевидно, что такой характер изменения локальных температур рабочего тела указывает также на необходимость исследования локального теплообмена в водородном дизеле.

Разные скорости тепловыделения в камерах сгорания базового дизеля и его водородной модификации приводят к тому, что процессы локального образования оксидов азота

в водородном дизеле происходят с большей интенсивностью, однако суммарные за цикл эмиссии оксидов азота в обоих двигателях имеют приблизительно одинаковый уровень.

В продуктах сгорания водородного дизеля практически отсутствуют концентрации CH , CO , CO_2 и твердых частиц сажи. Образование этих веществ в результате горения смазочного масла играет незначительную роль. Однако проблема минимизации содержания оксидов азота у водородного дизеля, как и у традиционных дизелей, остается, и ее решение требует разработки специальных методов.

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

Литература

1. Merker G., Schwarz Ch., Teichmann R. Grundlagen Verbrennungsmotoren. Funktionsweise, Simulation, Messtechnik. 6. Auflage. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag. – 2012. – 795 S.
2. Кавтарадзе З.Р., Кавтарадзе Р.З. Перспективы применения поршневых двигателей на альтернативных моторных топливах // Транспорт на альтернативном топливе. – Ч. 1: 2009. – № 6 (12). – С. 59-65; Ч. 2: 2010. – № 1 (13). – С. 74-80.
3. Кавтарадзе Р.З. Теплофизические процессы в дизелях, конвертированных на природный газ и водород. – М.: изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. – 238 с.
4. Rottengruber H., Wiebicke U., Woschni G., Zeilinger K. Wasserstoff-Dieselmotor mit Direkteinspritzung, hoher Leistungsdichte und geringer Abgasemission. Teil 3 // Versuche und Berechnungen am Motor. MTZ. – 2000. – № 2. – S. 122-128.
5. Eichlseder H., Klell M. Wasserstoff in der Fahrzeugtechnik. Erzeugung, Speicherung, Anwendung. – Wiesbaden: Vieweg + Teubner Verlag, 2008. – 288 S.
6. Кавтарадзе Р.З. Рабочие процессы водородного дизеля и улучшение его экологических показателей // Транспорт на альтернативном топливе. – 2012. – № 2 (26). – С. 61-64.
7. Кавтарадзе Р.З. Формулы для расчета задержки воспламенения при работе газодизеля на различных газообразных топливах // Транспорт на альтернативном топливе. – 2009. – № 3 (9). – С. 36-42.
8. Kавтарадзе R.Z., Zeilinger R., Zitzler G. Ignition Delay in a Diesel Engine Utilizing Different Fuels // High Temperature. – 2005. – Vol. 43, № 6. – P. 951-960.
9. FIRE. Users Manual. Version 2010. AVL List GmbH Graz, Austria, 2010. (License Agreement for Use of the Simulation Software AVL FIRE between Moscow State Technical Univ. n.a. N.E. Bauman and AVL List GmbH, 2011).
10. Кавтарадзе Р.З., Зеленцов А.А., Онищенко О.Д., Финкельберг Л.А., Костюченко А.Н. Моделирование процессов переноса, сгорания и образования оксидов азота в авиационном поршневом двигателе с дублированной системой зажигания // Известия РАН. Энергетика. – 2012. – № 6. – С. 135-152.
11. Natriashvili T., Glonti M., Kavtaradze R., Kavtaradze Z., Zelentsov A. Solutions of Some Problems of Improvement of Ecological Characteristics of the Diesel Engine Converted in the Gas Engine // Problems of Mechanics. – 2010. – № 1 (38). – P. 13-28.
12. Kavtaradze R.Z., Onishchenko D.O., Zelentsov A.A., Sergeev S.S. The influence of rotational charge motion intensity on nitric oxide formation in gas-engine cylinder // International Journal of Heat and Mass Transfer. – 2009. – № 52. – P. 4308-4316.
13. Кавтарадзе З.Р., Кавтарадзе Р.З. Анализ механизмов образования и методов расчета концентрации оксидов азота в поршневых двигателях // Транспорт на альтернативном топливе. – Ч. 1: 2011. – № 5 (23). – С. 65-71; Ч. 2: 2011. – № 6 (24). – С. 12-19.

Бортовое генерирование водородосодержащего газа для транспортных двигателей

В.М. Фомин, профессор МГМУ (МАМИ), д.т.н.,

В.Ф. Каменев, профессор, заведующий отделом ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ», д.т.н.,

М.В. Хергеледжи, аспирант МГМУ (МАМИ)

Обсуждается стратегия совершенствования экологических качеств двигателя путем использования водородного синтез-газа как средства химической активации рабочего процесса. Рассмотрены технологии генерирования синтез-газа на борту транспортного средства. Приведено описание экспериментальной бортовой системы получения водородного синтез-газа путем термохимической конверсии бензина и представлены материалы ее испытаний в составе автомобиля.

Ключевые слова: автомобильный двигатель, экологические стандарты, холодный пуск, прогрев двигателя, термохимический реактор, водородосодержащий синтез-газ, система нейтрализации отработавших газов.

Проблема экологической безопасности неуклонно растущего транспортного комплекса обуславливает необходимость поиска новых методов и перспективных технологий, направленных на совершенствование экологических качеств рабочего процесса двигателей автотранспортных средств (АТС). К одному из перспективных направлений относят использование средств химической активации (реагенты), улучшающих работу двигателей внутреннего сгорания (ДВС). Например, коммерческие присадки к топливу способствуют снижению дымности отработавших газов (ОГ), повышению антидетонационной стойкости бензинов и эффективности самовоспламенения дизельного топлива и др.

Методы реакционно-химического управления процессами рабочего цикла ДВС вызывают особый интерес в исследовательской практике вследствие их высокой эффективности и простоты практической реализации. Их отличительной особенностью является способность непосредственного воздействия на кинетические и экологические параметры процессов

окисления (сгорание) углеводородного топлива.

Особое место среди химически активирующих средств занимает водород. Детальный механизм воздействия водорода как химического реагента на процессы воспламенения и сгорания топливовоздушных смесей до настоящего времени остается еще малоисследованным. Однако уже сейчас, опираясь на известные положения теории химической кинетики и катализа, в рамках рабочей гипотезы можно указать на ряд характерных свойств этого реагента, влияющих на протекание внутрицилиндровых процессов двигателя, определяющих его экологические качества.

В контексте обсуждаемой проблемы авторами применен термин «водородный химический реагент», который в теории ДВС используются крайне редко. Обычно физическая добавка водорода интерпретируется как энергетически значимый компонент смеси топлива, который проявляет свое активирующее влияние в качественном изменении характера протекания рабочего цикла ДВС, обуславливающее, как правило,

повышение механических и термических нагрузок в ДВС, а также эмиссии с ОГ оксидов азота. Терминология, принятая в данном исследовании, отражает несколько другие функциональные свойства водорода. Здесь строго дозированная незначительная по массе химическая присадка этого газа к горючей смеси интерпретируется как водородный химический реагент, если она оптимизирована и согласована по условию предельно возможного сохранения исходных максимальных уровней температуры и давления в рабочем цикле двигателя. При этом влияние водорода, как источника активных центров зарождения реакций [1], проявляется главным образом в механизме химической кинетики преобразования углеводородов топлива при его окислении.

Особенностью водорода является его способность в условиях окисления (горение) углеводородов топлива инициировать окислительные процессы в богатых и существенно обедненных смесях благодаря тому, что энергия, необходимая для начала реакции окисления водорода,

примерно в 10 раз ниже необходимой для углеводородов топлива (табл. 1). В соответствии с современной теорией сгорания эта способность водорода обуславливает специфику цепочного механизма его окисления [1]. При окислении водорода образуется H_2O и регенерируются активные центры зарождения реакций – переносчики цепи O. При этом возникают еще два переносчика цепи H и OH. Каждый из переносчиков цепи может начать новое звено с образованием еще большего числа активных центров. Очевидно, подобным цепочным механизмом можно объяснить тот факт, что регистрируемое многочисленными опытами влияние водорода столь велико, что при относительно небольших его присадках к горючей смеси представляется возможным реализовать такие степени ее обогащения и обеднения, которые недоступны любому другому способу. Поэтому использование водородной присадки к топливовоздушной смеси повсеместно рассматривается как наиболее эффективный способ направленного воздействия на ее концентрационные пределы сгорания.

Воспламенение горючей смеси электрической искрой является важным составляющим фактором в общей структуре организации рабочего процесса ДВС, а его эффективность в первую очередь зависит от уровня энергии активации углеводородной среды реагирования. Энергия воспламенения водородно-воздушной смеси более чем в 10 раз ниже необходимой для воспламенения воздушных смесей бензина. С учетом этого водородный реагент может рассматриваться как эффективный инициатор воспламенения. Таким образом, для двигателя с искровым зажиганием в присутствии водорода гарантировано воспламенение и сгорание сильно обедненных смесей, которое сопровождается снижением расхода топлива и токсичности ОГ двигателя.

Большое влияние на кинетику процессов термохимического преобразования углеводородов топлива при его окислении в двигателе оказывает диффузионная способность реагирующей среды. Водород обладает высокой скоростью диффузии, что обуславливает его способность за очень короткое время образовывать с углеводородными компонентами топлива и воздухом однородную смесь в цилиндре ДВС. При этом за счет возрастания скорости смешения реагента с топливовоздушной средой увеличивается объем зоны активированной смеси и уменьшается время полного ее сгорания.

При горении водорода толщина зоны гашения (пристеночный слой, в котором не идут окислительные процессы) примерно в 3 раза меньше, чем у углеводородных топлив (табл. 1). Это свойство водорода предопределяет высокую эффективность его воздействия на кинетику сгорания смеси в периферийных и холодных пристеночных зонах камеры сгорания. Ясно, что полнота сгорания топлива при этом возрастает, а эмиссия с ОГ токсичных продуктов неполного сгорания снижается.

С учетом рассмотренных свойств водородного реагента как источника

активных центров и при использовании основных положений теории химической кинетики попытаемся спрогнозировать качественные изменения в характере протекания рабочего цикла двигателя.

В обобщенном виде весь процесс сгорания топлива в двигателе условно разделим на три характерные фазы, отличающиеся по способу и эффективности проявляемых реагентом активирующих свойств. В самом начале своего распространения от свечи зажигания скорость пламени близка к скорости ламинарного горения. Процесс сгорания в начальной фазе в основном подчиняется закономерностям мелкомасштабного турбулентного горения, скорость которого обусловлена нормальной скоростью пламени. В этих условиях с учетом повышения реакционной способности смеси благодаря присутствию водородного реагента ее сгорание должно инициироваться с увеличением скорости ламинарного горения.

Скорость распространения пламени в основной фазе сгорания подчиняется законам крупномасштабного турбулентного горения, мало зависит от реакционных свойств горючей смеси, несмотря на присутствие в ней реагента, и практически

Таблица 1

Сравнительные физико-химические свойства бензина и водорода

Свойства	Топливо	
	Бензин	Водород
Молекулярная масса, кг/моль	117	2,015
Плотность, кг/м ³	670	0,086
Низшая теплота сгорания, кДж/кг	44000	120085
Стехиометрическое соотношение воздух–топливо, кг/кг	14,95	34,2
Пределы воспламенения (объемная доля), %	1,2...6,0	4,0...75
Ламинарная скорость распространения пламени, м/с	0,37...0,43	1,9...2,7
Энергия воспламенения, мДж	0,25	0,02
Коэффициент диффузии, см ² /с	0,08	0,63
Толщина зоны гашения, мм	2,0	0,6
Температура воспламенения на платиновом катализаторе, °С	270	30

целиком определяется скоростями крупных турбулентных пульсаций. В этой фазе происходит основное тепловыделение и достигается максимальная температура цикла, определяющая выход оксидов азота. Несколько бóльшая температура горения водородного реагента (2449 К) в сравнении с бензином (2336 К) не может существенным образом способствовать увеличению эмиссии оксидов азота с ОГ вследствие малой доли реагента в заряде. Сгорание водорода в ДВС, как основного топлива, в отличие от небольших его присадок к горючей смеси реализуется по другим механизмам и сопровождается более высокими температурой цикла и эмиссией NO.

В пристеночных зонах камеры сгорания скорости и масштабы турбулентных пульсаций существенно меньше, чем в основном объеме камеры, поэтому скорости распространения пламени по мере приближения к стенкам уменьшаются. Это приводит к тому, что сгорание в завершающей третьей фазе (фаза догорания), как и в начальной фазе, начинает подчиняться законам мелкомасштабного турбулентного горения, скорость которого существенно зависит от реакционной способности горючей смеси, то есть от наличия в ней химического реагента.

В обычных условиях (без реагента) с уменьшением скорости сгорания фаза догорания в двигателе протекает в значительной доле рабочего заряда, и все горение существенно затягивается в такте расширения, что уменьшает эффективность использования выделяющейся при сгорании теплоты. В непосредственной близости от сравнительно холодных стенок камеры сгорания происходит гашение пламени и прекращение реакции горения в части смеси, находящейся в зоне гашения. Концентрация продуктов неполного сгорания возрастает.

Толщина зоны гашения бензовоздушных смесей составляет 2 мм,

водородовоздушных не превышает 0,6 мм (см. табл. 1). Водородный реагент как источник генерирования активных частиц, способствуя повышению реакционных свойств реагирующей среды, обуславливает значительно больший объем сгоревшей смеси в зоне гашения, при этом полнота сгорания топлива повышается, а эмиссия вредных веществ уменьшается.

Обобщая сказанное выше, можно сделать следующие выводы:

- эффективность использования теплоты в завершающей фазе сгорания в двигателе, работающем с присадкой к горючей смеси реагента, повышается ввиду больших скоростей распространения пламени, и, следовательно, уменьшаются продолжительность этой фазы и тепловые потери в цикле;
- при использовании реакционно-активного средства толщина зоны гашения пламени уменьшается, концентрация несгоревших углеводородов, образующихся в этих зонах, снижается;
- по этой же причине горение привородном реагенте происходит в непосредственной близости стенок камеры сгорания, в вытеснителях и в зазоре между цилиндром и поршнем (над первым поршневым кольцом), что в целом повышает полноту сгорания топлива и снижает эмиссию с ОГ токсичных продуктов неполного сгорания.

Анализ возможных эффектов активирующего воздействия водородного реагента на процессы рабочего цикла ДВС, безусловно, не является исчерпывающим и не исключает другие виды воздействия реагента на сложный механизм рабочего цикла. Тем не менее он позволяет в первом приближении прогнозировать важные для последующего анализа положительные изменения в характере протекания рабочего цикла в двигателе благодаря реакционному влиянию водородного реагента.

Аккумуляирование (хранение) водорода на борту АТС

Однако при всех преимуществах водорода как химического реагента его широкое применение на транспорте в настоящее время сдерживается рядом объективных проблем, например, отсутствием инфраструктуры производства и распределения для мобильных средств, его высокой стоимостью, низким уровнем безопасности при авариях и др.

Выход из этой ситуации может быть найден при аккумуляировании водорода на борту АТС в химически связанном состоянии в виде жидкого или газообразного соединения. Исследования жидких и газообразных сред как носителей водорода начаты относительно недавно. Тем не менее можно констатировать, что к настоящему времени уже накоплен определенный исследовательский опыт по разработке подобных сред и систем бортового генерирования водорода с их участием. Обоснованию выбора приемлемого исходного сырьевого продукта как носителя водорода для его бортового производства посвящено достаточно много работ, в которых в целом определен ряд газообразных и жидких углеводородных соединений, наиболее пригодных для достижения поставленной цели. Основными характеристиками исходного продукта для производства водорода на борту транспортных средств являются:

- содержание водорода и удельные энергетические характеристики;
- сложность и стоимость бортовой переработки продукта;
- наличие сырьевой базы, в том числе и возобновляемого сырья;
- стоимость продукта, наличие производства и заправочной инфраструктуры.

Традиционно в качестве источников водорода для транспортных энергетических установок рассматривают углеводородные продукты. К носителям водорода могут быть

отнесены низшие спирты (метанол, этанол) и предельные углеводороды (метан, пропан, бутан и бензины). Эти вещества относятся к так называемым коммерческим и перспективным видам топлива (табл. 2).

По показателю удельного объемного энергосодержания для бортового получения водорода наиболее выгодно использовать жидкий метан и бензин, при этом для метана необходимы криогенные блоки хранения, что связано с соответствующими эксплуатационными проблемами. Приемлемым бортовым носителем водорода является также и метанол, производство которого в России освоено в крупномасштабном объеме. Этанол во многом близок метанолу, но уступает ему, прежде всего, по адаптации к существующим бортовым системам конверсии.

В настоящее время наиболее отработана в промышленности технология получения водородосодержащего газа из метана (природный газ) и метанола, которая используется для стационарных энергоустановок и в химической промышленности. Кроме того, среди углеводородов метан содержит наибольшее количество водорода, то есть имеет максимальные удельные энергетические характеристики и выделяет минимальное количество углекислоты CO_2 (парниковый газ) на единицу произведенной теплоты. Для

энергетических установок АТС целесообразно использование природного газа в сжиженном состоянии, что сдерживается сложной технологией хранения сжиженного компонента. Это обуславливает необходимость разработки малогабаритных, надежных и безопасных криогенных блоков хранения. Однако бортовые системы переработки (конверсия) природного газа даже при криогенном хранении существенно проигрывают по массогабаритным характеристикам системам с жидкими сырьевыми источниками водорода.

Наиболее отработаны в современной исследовательской практике технологии получения водорода на борту АТС, при которых в качестве исходного сырьевого продукта используются в основном следующие жидкие соединения:

- спирты – метанол CH_3OH , этанол $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$;
- бензин $\text{C}_n\text{H}_{2n+1}$ ($n = 7 \dots 10$).

Предпочтение следует отдать метанолу, термохимические реакции преобразования которого в водородный газ в присутствии катализатора идут при относительно невысокой температуре, что позволяет снизить затраты энергии для организации конверсионного процесса в бортовом реакторе и использовать для его конструкции более дешевые материалы. Промышленное получение метанола

практически исключает присутствие в нем серосодержащих соединений, снижающих эффективность катализаторов. При его использовании для получения водородного газа на борту АТС возможна его низкотемпературная каталитическая конверсия с применением «бесплатной» энергии ОГ двигателя, что существенно повышает эффективность энергетической установки в целом [2].

Бортовая система конверсии бензина

По предварительной оценке, системы конверсии бензина и метанола имеют близкие массогабаритные характеристики вследствие более простой конструкции конвертора (термохимический реактор). При этом применение на АТС базового топлива в качестве жидкой среды-носителя водорода более предпочтительно с точки зрения обеспечения полной автономности мобильного средства в условиях его эксплуатации. К тому же массовый показатель жидкой среды (бензин) аккумуляирования водорода достаточно высок и составляет приблизительно 15 %.

Наиболее полно исследованы процессы конверсии моноуглеводородов (метан, метанол и др.), имеющих относительно простую химическую структуру. Бензин не является монокомпонентным соединением, его композиционный состав включает смесь нескольких предельных углеводородов $\text{C}_n\text{H}_{2n+1}$ с длиной углеводородной цепочки $n = 7 \dots 10$. Ни один из компонентов не является преобладающим в составе, и для каждого сорта бензина существует индивидуальная химическая формула. Например, формула бензина Аи-95 – $\text{C}_{7,14}\text{H}_{14,28}$, поэтому конверсия нефтяного топлива, содержащего в своем составе большое количество углеводородных фракций с различными физико-химическими свойствами, представляет собой более сложный химический акт, отличающийся многостадийностью

Таблица 2

Сравнительные энергетические характеристики продуктов как источников водорода

Исходное топливо	Массовая доля водорода, %	Удельная энергия	
		массовая, МДж/кг	объемная, МДж/л
Газообразный метан CH_4 $p = 35$ МПа $p = 100$ МПа	25	50	12
	25	50	35
Жидкий метан CH_4 ($t = -160$ °С)	25	50	35
Пропан-бутан (сжиженный)	15...18	46...49	27...29
Метанол CH_3OH	12,5	20	16
Этанол $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	12	27	22
Бензин $\text{C}_n\text{H}_{2n+1}$ ($n = 7 \dots 10$)	14	43	30

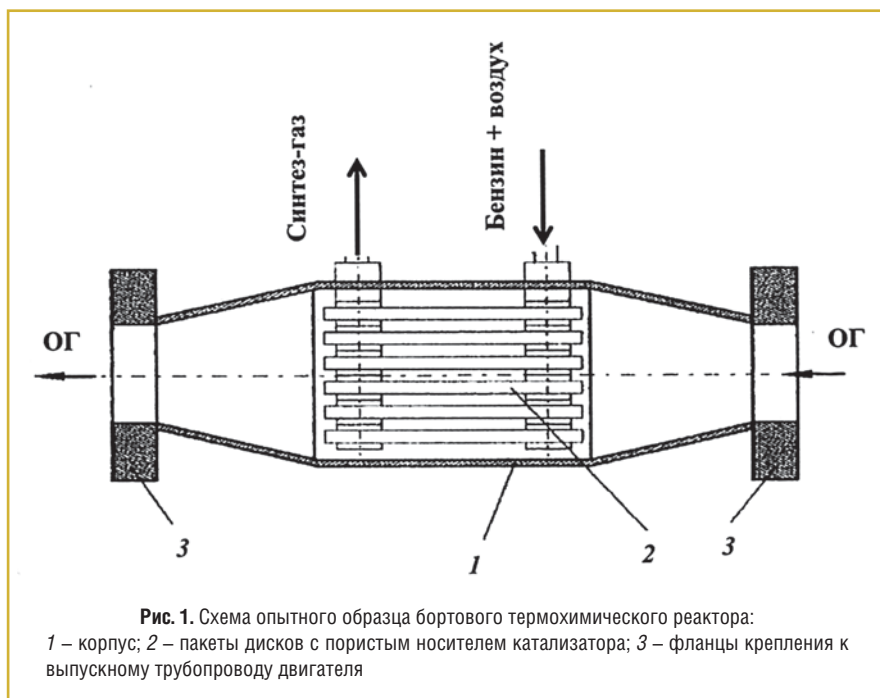


Рис. 1. Схема опытного образца бортового термохимического реактора:
1 – корпус; 2 – пакеты дисков с пористым носителем катализатора; 3 – фланцы крепления к выпускному трубопроводу двигателя

химических превращений углеводородов. Конечная эффективность конверсии определяется энергозатратами, связанными с ее реализацией, и содержанием в продуктах конверсии целевого продукта – водорода.

Несмотря на отмеченные трудности, используя накопленный отечественный и зарубежный опыт, авторы разработали опытный вариант бортовой системы для получения водородосодержащих продуктов (водородный синтез-газ) на основе конверсии бензина и экспериментальный образец бортового термохимического реактора (ТХР), являющегося главным функциональным звеном в составе этой системы (рис. 1).

Термохимическое преобразование топлива в реакционно-активные продукты в условиях высоких температур осуществляется в реакционной зоне ТХР, куда подаются предварительно испаренный бензин и воздух. В зависимости от условий протекания химических превращений углеводородов – температурных, концентрационных и др. – меняется количественное соотношение инертных и реакционно-активных компонентов в конверсионных продуктах.

Для поддержания необходимого теплового режима конверсии в ТХР используется теплота ОГ двигателя. Реакционная камера выполнена в виде набора дисков, внутри которых размещены носители катализатора из мелкодисперсного никеля с развитой теплообменной поверхностью, что обеспечивает равномерное распределение теплоты по объему реакционной зоны и смешение потока, способствуя гомогенизации смеси. Мелкодисперсная структура носителя позволяет увеличить активную площадь теплообмена ОГ и каталитической подложки реактора. Небольшие размеры пор каждого носителя катализатора (менее критического диаметра распространения пламени) предохраняют реактор от образования и обратного проскока пламени в реакционный объем. Подобный конверсионный процесс в ТХР позволяет смешивать нагретые компоненты без воспламенения, благодаря чему в продуктах реакции и на катализаторе практически отсутствуют углеродные отложения (сажа). Предварительными исследованиями установлено, что продукты конверсии бензина (ПКБ) имеют следующий объемный компонентный

состав (%): 4...6 H₂; 8...19 CH₄; 8...10 CO; 3,5...6 CO₂; 50...55 N₂.

Основными особенностями опытной конструкции ТХР являются простота, легкость демонтажа блока катализатора и компактность. Реактор характеризуется малым объемом катализатора на единицу продукции и высокой степенью конверсии. В перспективных разработках конструкций ТХР закладывается возможность обеспечения предельной концентрации в ПКБ водорода (~15 %), соответствующей равновесному составу полного разложения исходного продукта (бензин). Данные показатели предполагается обеспечить за счет организации оптимальных по температурным и концентрационным факторам условий проведения конверсии моторного топлива, что, безусловно, может быть реализовано на основе применения гибких автоматизированных систем управления этим процессом.

Апробация метода

Рассмотрим практическое применение опытного образца бортовой системы для повышения стартовой экологической эффективности автомобильного двигателя с системой нейтрализации ОГ.

В общем виде стратегия совершенствования стартовых экологических качеств ДВС за счет применения водородосодержащего реагента впервые в отечественной исследовательской практике была предложена в работе [3]. Ее отличительной особенностью стало получение водородосодержащего реагента на основе конверсии метанола. Используемые при этом функциональные и технические средства для генерирования реагента и его компонентный состав отличаются по целому ряду показателей от предлагаемой «бензиновой» версии. Целесообразность и практическая возможность использования базового топлива (бензин) в качестве исходного продукта для получения водородосодержащего реагента, ко-

торый применяется в качестве средства улучшения экологических характеристик ДВС, были обоснованы в работе [4]. Эти работы и послужили научно-методическим стимулом для разработки нового метода на основе обобщения результатов приведенного выше анализа характерных свойств водородного реагента. Комплексный характер этого метода обусловлен тем фактом, что один и тот же реакционно-активный компонент используется для повышения эффективности как двигателя, так и системы нейтрализации ОГ, что способствует решению в целом проблемы холодной фазы ездового цикла АТС.

Сущность этой проблемы общеизвестна и заключается в следующем. Современная стандартная методика, регламентируемая Правилами № 83 ЕЭК ООН, предусматривает испытание охлажденного до температуры -7°C автомобиля в условиях ездового цикла с непосредственным отбором проб ОГ для оценки вредных выбросов сразу после пуска двигателя. Понятно, что двигатель в период его прогрева не может устойчиво работать на смеси стехиометрического состава, необходимого для эффективной работы нейтрализатора в бифункциональном режиме. Устойчивая работа двигателя в этот период обеспечивается за счет соответствующего обогащения смеси, что обуславливает высокий уровень эмиссии токсичных продуктов неполного сгорания топлива (СО и СН), которые не могут быть преобразованы (нейтрализованы) в еще непрогретом каталитическом блоке нейтрализатора. В течение этого стартового периода в атмосферу выбрасывается более 80% СО и СН от суммарного количества за весь ездовой испытательный цикл [3, 4].

Для успешного решения обсуждаемой проблемы необходимо обеспечить два основных условия:

- быстрый перевод двигателя в начальный период после его

холодного пуска на работу при стехиометрическом составе смеси;

- ускоренный выход каталитического нейтрализатора на эффективный режим работы.

Необходимой мерой для обеспечения одного из этих условий является предельно возможное сокращение времени прогрева нейтрализатора за счет использования высокоэффективного источника с тепловой мощностью в несколько киловатт. В предлагаемом методе в качестве такого источника используется химическая энергия водородо-содержащего реагента, вырабатываемого в бортовой системе на основе конверсии бензина.

Водород, обладая высокой скоростью диффузии (см. табл. 1), за очень короткий промежуток времени смешивается с другими компонентами ОГ при его введении в проточный тракт нейтрализатора, активно проникая в мелкоячеистую структуру его каталитической матрицы. При окислении водорода толщина зоны гашения предельно минимальна, что предопределяет его высокую эффективность воздействия как химического реагента в порах еще непрогретого каталитического блока. При этом проявляется одно из уникальных свойств водорода, которое заключается в его способности

экзотермически окисляться на поверхности катализатора практически при комнатной температуре. Необходимая тепловая энергия для нагревания каталитического блока может быть обеспечена при окислении незначительного количества водорода благодаря его высокому показателю теплоты сгорания, которая, например, в 3 раза превышает этот показатель для бензина. Реакция окисления водорода позволяет извлечь (химически связать) свободный кислород из компонентного состава ОГ, что формирует необходимые условия (отсутствие избыточного кислорода в ОГ) для восстановления (нейтрализация) оксидов азота даже на частично прогретом катализаторе.

Однако, как отмечалось выше, ускоренный прогрев нейтрализатора является необходимым, но не единственным условием для решения в целом проблемы холодной фазы ездового цикла. Ее решение требует скоординированного подхода, при котором уменьшение времени разогрева нейтрализатора должно сочетаться с одновременным интенсивным прогревом ДВС с целью ускоренного выхода его на режим со стехиометрическим составом смеси. С учетом этого ПКБ, содержащие свободный водород, вводятся в ДВС в период его холодного старта и прогрева

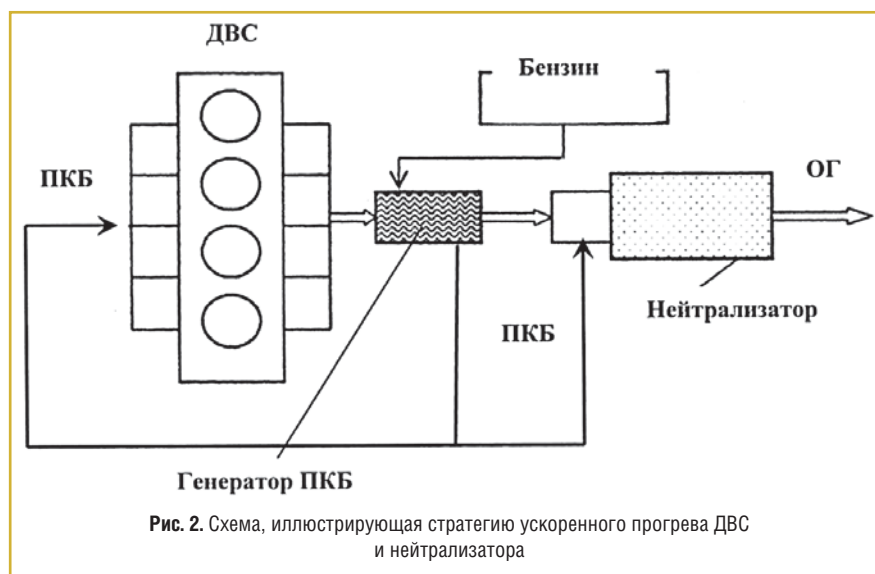


Таблица 3

Результаты сравнительных испытаний

Объект испытаний	Выбросы токсичных компонентов ОГ, г/км		
	CO	CH	NO _x
Автомобиль серийный	2,3	0,2	0,15
модернизированный	0,533	0,09	0,07
Нормативные требования Евро-4	1,0	0,1	0,08

Примечание. Нормы Евро-4, г/км: CO – 1,0; CH – 0,1; NO_x – 0,08.

скоординированно с началом их поступления в газовую среду проточного тракта нейтрализатора (рис. 2).

Введение в состав топливовоздушной смеси двигателя активных компонентов ПКБ существенно повышает ее реакционную способность, расширяет концентрационные пределы воспламенения, обеспечивает устойчивую работу ДВС и, что важно, без традиционного пускового обогащения смеси. При этом достигаются высокая полнота сгорания смеси с минимальным выходом токсичных продуктов, существенное сокращение длительности прогрева ДВС, возможность быстрого перехода на режим горения смеси стехиометрического состава, при котором обеспечивается эффективная работа уже предварительно прогретого нейтрализатора.

Для поддержания необходимого теплового режима конверсии ТХР устанавливается в непосредственной близости от выпускного коллектора ДВС. Предусмотрен также дополнительный подогрев паров бензина перед их поступлением в реактор в специальном теплообменнике с использованием теплоты ОГ. Кроме того, существует «штатная» возможность повышения температуры ОГ на входе реактора в послепусковой период работы двигателя. Большинство современных микропроцессорных систем управления работой ДВС изначально программируются на временную корректировку частоты вращения и момента зажигания с целью повышения температуры ОГ на выходе из двигателя в период его прогрева.

Таким образом, благодаря ускоренному скоординированному прогреву всех составляющих системы двигатель – нейтрализатор в стартовый период обеспечиваются условия ее быстрого (в пределах 15 с) выхода на эффективный режим работы, а главное – существенно снижается эмиссия токсичных продуктов неполного сгорания, что решает главную задачу холодной фазы ездового цикла.

Для оценки эксплуатационной эффективности предложенного метода проведена его опытная апробация на автомобиле в условиях стандартного ездового цикла. Для этой цели разработанная опытная система с комплексом необходимых функциональных и технических средств, реализующих данный метод, была установлена на автомобиле ВА3-2112 и адаптирована к условиям работы его двигателя и системы нейтрализации. Сравнительные испытания серийного автомобиля (штатная комплектация) и его модернизированного варианта (опытная система) проводились на беговых барабанах в соответствии с

регламентом Правил № 83 ЕЭК ООН (табл. 3).

Реализация метода позволила улучшить исходные экологические показатели исследованного автомобиля по всем нормируемым компонентам ОГ до уровня нормативных требований Евро-4 с гарантированным запасом, что дает основание рекомендовать его в качестве эффективного альтернативного варианта для предстоящей разработки малотоксичных двигателей перспективных отечественных автомобилей.

Результаты работы позволили сделать вывод, что предложенный метод можно отнести к одному из перспективных направлений в области исследований по созданию малотоксичного конкурентоспособного двигателя для отечественных АТС. Данный метод, а также функциональные и технические средства его реализации следует рассматривать как один из альтернативных вариантов решения проблемы экологической безопасности на транспорте. Метод может быть направлен на разработку новых типов экологически усовершенствованных транспортных двигателей с различными способами организации рабочего процесса и на модификацию уже существующих. Его применение может быть успешно совмещено с рядом других известных мероприятий по экологическому совершенствованию ДВС, дополняя и усиливая при этом их совокупную эффективность.

Литература

1. **Фомин В.М., Хакимов Р.Р., Шевченко Д.В.** Водород как химический реагент в кинетическом механизме образования углерода в дизеле // Транспорт на альтернативном топливе. – 2011. – № 3 (21). – С. 10-13.
2. **Шевченко Д.В., Фомин В.М.** Повышение эффективности использования энергии альтернативного топлива // Транспорт на альтернативном топливе. – 2011. – № 5 (23). – С. 46-53.
3. **Фомин В.М., Каменев В.Ф., Герасименко С.А.** Стратегия стартового прогрева автомобильной системы нейтрализации на основе использования водородного реагента / Труды НАМИ. – Вып. № 242: Комбинированные энергоустановки автотранспортных средств: сб. науч. тр. – М., 2009. – С. 105-132.
4. **Гусаков С.В., Каменев В.Ф., Шарипов А.З.** Снижение вредных выбросов городского автомобиля с бензиновым двигателем // Транспорт на альтернативном топливе. – 2012. – № 2 (26). – С. 36-39.

Частичное сжижение природного газа в малотоннажных установках с блоком низкотемпературной очистки

С.П. Горбачев, профессор, гл. научный сотрудник ООО «Газпром ВНИИГАЗ», д.т.н.,
И.С. Медведков, младший научный сотрудник ООО «Газпром ВНИИГАЗ»

Предложена технология частичного сжижения природного газа в малотоннажных установках высокого и среднего давления с получением продукта высокой чистоты. Рассмотрено использование блока низкотемпературной очистки (БНО) с фракционным испарителем или ректификационной колонной в составе установок частичного сжижения природного газа для получения содержания метана в СПГ более 99 % и снижения молярной доли CO_2 до уровня 50...100 ppm. Представлены основные характеристики установок сжижения с низкотемпературной очисткой и предложены рекомендации по выбору параметров их функционирования в зависимости от состава исходного газа и требуемой чистоты продукта.

Ключевые слова: сжиженный природный газ, блок низкотемпературной очистки, очистка от диоксида углерода, производство СПГ высокого качества.

В настоящее время очистка сырьевого природного газа в установках сжижения производится при высокой температуре. Цель очистки – получить природный газ, компоненты которого не кристаллизуются в области низких температур, а продукт (СПГ) будет иметь требуемые теплофизические и эксплуатационные характеристики. Для этого в составе очищенного природного газа должно присутствовать не более 50...200 ppm диоксида углерода. Для высококачественного СПГ, применяемого как моторное топливо, суммарная молярная доля высококипящих углеводородов C_{2+} должна быть не более 1 % [1]. И если первое условие может быть достигнуто на современных высокотемпературных блоках адсорбционной очистки, то СПГ высокого качества возможно получить только разделением природного газа при криогенных температурах. Как показывают расчеты [2-4], на низкотемпературном уровне может быть решена и задача очистки природного газа от диоксида углерода, если будут соблюдены условия достаточной

растворимости кристаллизующихся компонентов в устройствах и аппаратах установок частичного сжижения.

При частичном сжижении природного газа с использованием простого дросселирования (рис. 1а) стоимость системы очистки может достигнуть 60 % стоимости установки сжижения.

За счет применения двухпоточной технологии [5] в схеме цикла частичного сжижения с расширяющим устройством (рис. 1б) стоимость системы очистки может быть снижена в 6-10 раз [6], что связано с уменьшением количества адсорбента в блоке очистки.

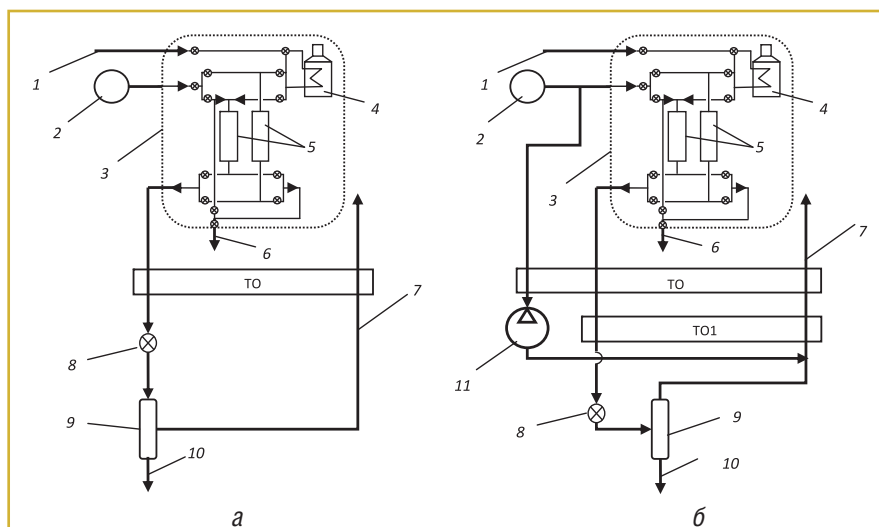
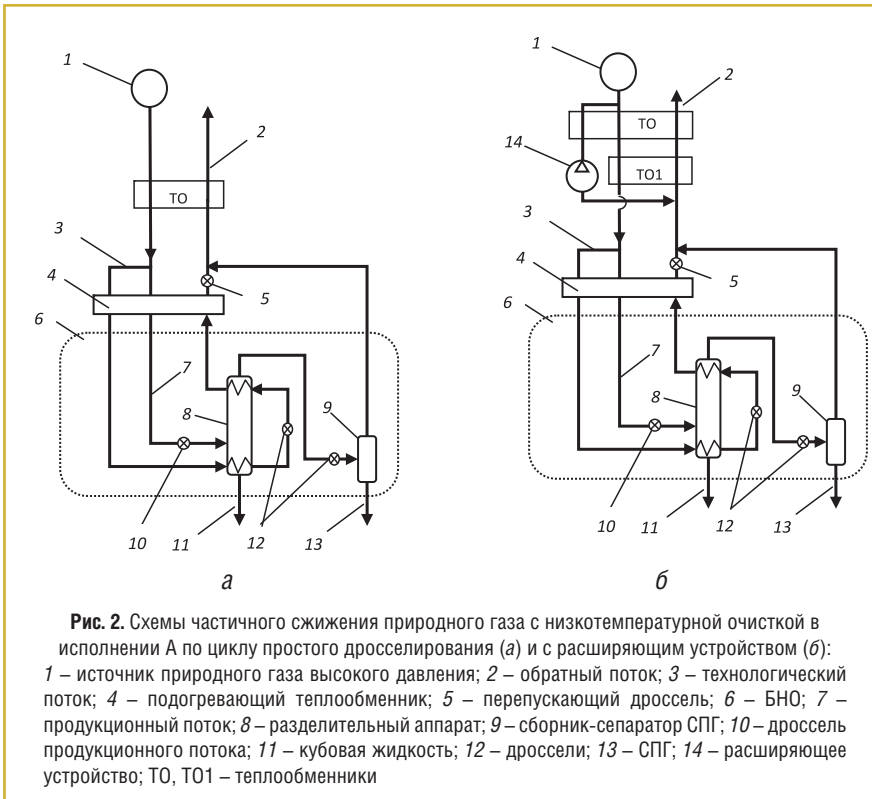


Рис. 1. Схемы частичного сжижения природного газа с высокотемпературной очисткой по циклу простого дросселирования (а) и с расширяющим устройством (б): 1 – газ регенерации; 2 – источник природного газа высокого давления; 3 – блок высокотемпературной очистки (БВО); 4 – огневой подогреватель газа регенерации; 5 – адсорбционные колонны; 6 – газ регенерации, насыщенный влагой; 7 – обратный поток; 8 – дроссельный вентиль; 9 – сборник-сепаратор СПГ; 10 – СПГ; 11 – расширяющее устройство; Т0, Т01 – теплообменники



При использовании установки частичного сжижения природного газа низкотемпературной очистки с блоком простого дросселирования (рис. 2а) предположительная стоимость этой системы составит не более 10...15 % стоимости высокотемпературной системы очистки в установке, представленной на рис. 1а. Стоимость двухпоточной установки частичного сжижения газа с расширяющим устройством и низкотемпературной очисткой будет как минимум в 2 раза ниже стоимости системы очистки в установке, представленной на рис. 1б, за счет сокращения материалоемкости БНО по сравнению с высокотемпературным блоком.

Основной принцип работы БНО заключается в разделении сырьевого природного газа методами непрерывных испарения, конденсации и ректификации в разделительном аппарате (рис. 3), который состоит из устройства разделения (ректификационная колонна или простой сепаратор) и теплообменных аппаратов. Работа разделительного аппарата обеспечивается технологическим потоком,

состав которого соответствует составу сырьевого газа. Растворимость кристаллизующихся компонентов в нем обеспечивается корректным выбором температур и давлений [3]. От параметров технологического потока зависит давление в устройстве

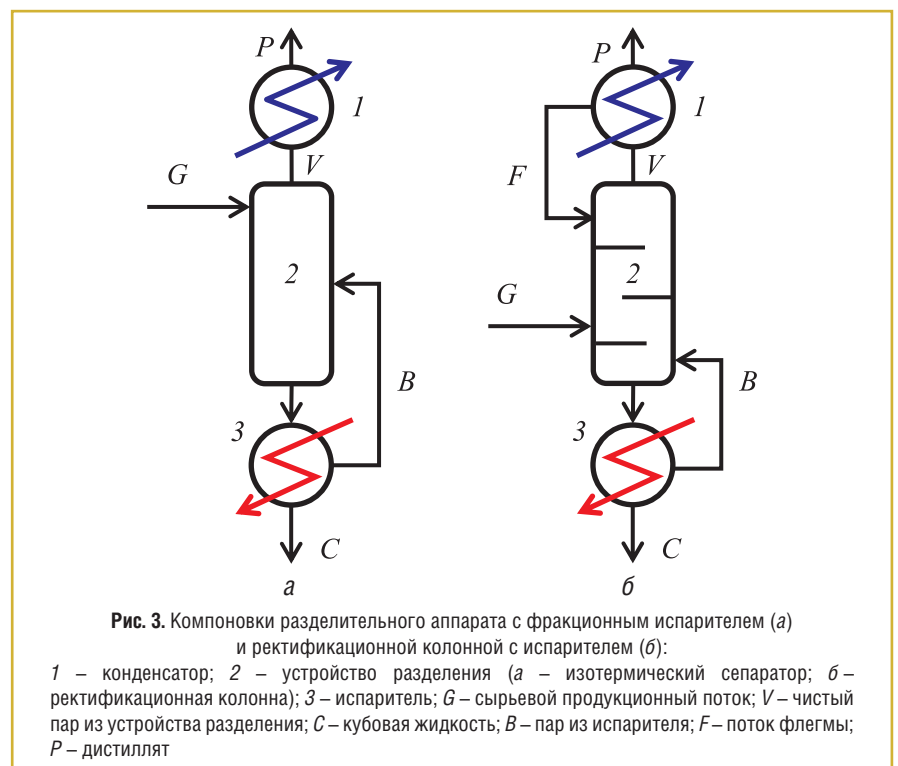
разделения [3], а оно обуславливает вид основной характеристики разделительного аппарата – зависимости выхода чистого продукта (дистиллят) от состава сырьевого газа и требуемой чистоты СПГ.

Характеристика БНО непосредственно влияет на характеристики цикла, в который встраивается блок. Степень влияния БНО определяется сравнением цикла сжижения с БНО с исходными циклами сжижения. Исходный цикл сжижения – цикл частичного сжижения, в котором БНО заменен на изотермический сборник-сепаратор. Состав сырьевого газа, температура, давление и расход сырьевого газа на входе в установку, давление СПГ, температура и давление обратного потока на выходе из установки полностью идентичны тем же характеристикам для рассматриваемого цикла с БНО.

Коэффициент сжижения исходного цикла

$$k_{L_0} = \frac{L_0}{G_0},$$

где L_0 – расход получаемого СПГ в исходном цикле; G_0 – расход поступившего на сжижение сырьевого газа.



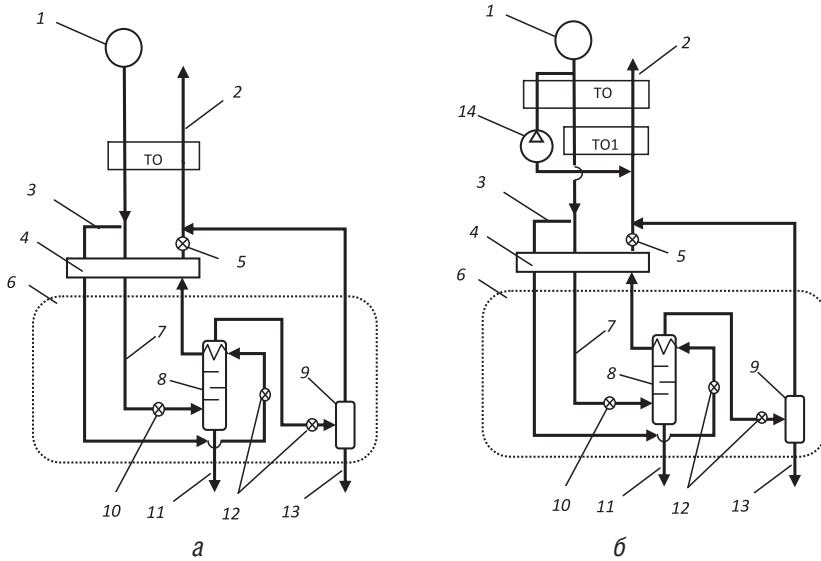


Рис. 4. Схемы частичного сжижения с низкотемпературной очисткой в исполнении Б по циклу простого дросселирования (а) и с расширяющим устройством (б): 1 – источник природного газа высокого давления; 2 – обратный поток; 3 – технологический поток; 4 – подогревающий теплообменник; 5 – перепопускающий дроссель; 6 – БНО; 7 – производственный поток; 8 – разделительный аппарат (ректификационная колонна без испарителя); 9 – сборник-сепаратор СПГ; 10 – дроссель производционного потока; 11 – кубовая жидкость; 12 – дроссели; 13 – СПГ; 14 – расширяющее устройство; TO, TO1 – теплообменники

Для установок сжижения с БНО (см. рис. 2а и 4а) исходным является цикл простого дросселирования (см. рис. 1а), для установок с БНО (см. рис. 2б и 4б) – двухпоточный цикл сжижения с детандером (см. рис. 1б). Влияние встраиваемого в исходные циклы БНО различной компоновки определяется изменением коэффициента сжижения цикла с низкотемпературной очисткой.

Характеристика, определяющая степень эффективности компоновки БНО, оценивается комплексом

$$K = \frac{k_L}{k_{L_0}} < 1.$$

Здесь $k_L = L/G_0$, где L – расход получаемого СПГ в цикле с БНО.

Чем больше комплекс K , тем эффективнее компоновка БНО (рис. 5). Расчет характеристик циклов сжижения происходил для модельных смесей, состав которых приведен в таблице.

Для анализа величины комплекса K для цикла высокого давления с БНО был рассмотрен цикл простого дросселирования с БНО, работающий

в диапазоне давлений 15,0...0,6 МПа. Проводились сжижение и очистка смеси 5 % ВКК + 3 % $N_2 + CO_2$. При этом содержании CO_2 рассматривалось в двух вариантах – 0,5 и 1 %. Разделительный аппарат – ректификационная колонна с десятью теоретическими тарелками. Температура окружающей среды – 293,15 К, недорекуперация на горячем конце предварительного теплообменника 10 К. Коэффициент сжижения в установках без БНО 0,19. Молярная доля CO_2 в СПГ во всех случаях – 50 ppm. Проводилась отдувка азота до концентрации его в СПГ в 1%. Получено суммарное содержание ВКК в СПГ менее 1%.

Для двухпоточных циклов (рис. 6) k_{L_0} зависит от содержания диоксида углерода в сырьевом газе [7], но в диапазоне концентраций 0...5000 ppm он постоянен и составляет 0,124. Расчеты проводились для ректификационной колонны с десятью теоретическими тарелками. Сжижаемая смесь – 1 % ВКК + CO_2 (см. таблицу). Полученное суммарное содержание ВКК в СПГ менее 0,1 %.

Для увеличения коэффициента сжижения в установках частичного сжижения с БНО могут быть применены предварительное охлаждение и утилизация кубовой жидкости. Часть энергии, затраченная на сжижение кубовой жидкости, может быть возвращена в цикл посредством различных технологических схем. Например, кубовой продукт может быть сжат до давления, при котором кристаллизация диоксида углерода не происходит, и испарение кубового продукта может быть получено за счет охлаждения прямого потока газа.

Таким образом, применение блока низкотемпературной очистки позволяет получить качественный продукт (СПГ) с низким содержанием высококипящих компонентов, в том числе диоксида углерода. Компоновка и параметры применяемого блока низкотемпературной очистки в большей степени зависят от состава сырьевого газа и требований к чистоте СПГ. Чистота СПГ характеризуется наличием в нем диоксида углерода, поскольку при снижении его концентрации в 10 раз содержание других высококипящих компонентов сокращается в 100 раз.

Исследованные модельные смеси

Смесь	Молярные доли компонентов					
	Метан, %	Этан, %	Пропан, %	Бутан, %	N_2 , %	CO_2 , ppm
Метан + CO_2	< 100	–	–	–	–	500...5000
ВКК 1 % + CO_2	< 99	0,5	0,375	0,125	–	500...50000
ВКК 3 % + CO_2	< 97	2	0,75	0,25	–	
ВКК 5 % + CO_2	< 95	3	1,5	0,5	–	
ВКК 5 % + N_2 3% + CO_2	< 92	3	1,5	0,5	3	

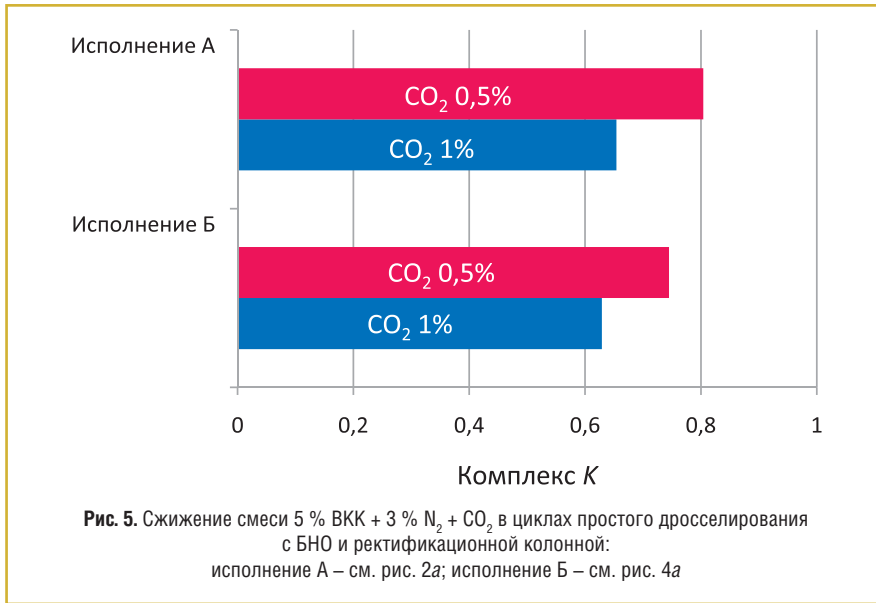


Рис. 5. Сжижение смеси 5 % ВКК + 3 % N₂ + CO₂ в циклах простого дросселирования с БНО и ректификационной колонной: исполнение А – см. рис. 2а; исполнение Б – см. рис. 4а

Уменьшение производительности установки сжижения при использовании в ней БНО составит от 10 до 40 % в зависимости от состава сырьевого газа и требуемой чистоты продукта. Потери такого рода в малотоннажных установках допустимы, поскольку основную долю в

формировании цены СПГ составляет амортизация основных фондов установки частичного сжижения, а эксплуатационные затраты при работе установки минимальны. При выборе компоновки блока низкотемпературной очистки рекомендуются следующие схемы.

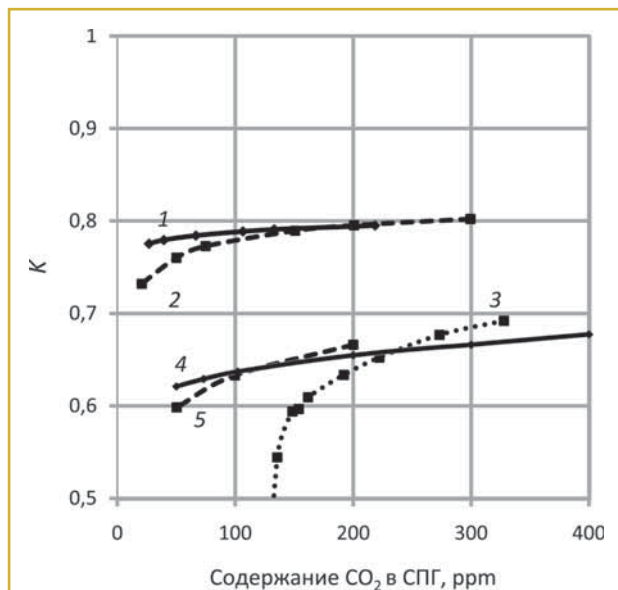


Рис. 6. Сравнение критерия эффективности двухпоточной установки сжижения с низкотемпературной очисткой в зависимости от требуемого содержания CO₂ в СПГ. Сжижаемая смесь 1 % ВКК + CO₂ (1000 ppm): 1 – БНО с ректификационной колонной в исполнении А (см. рис. 2б); 2 – БНО с ректификационной колонной в исполнении Б (см. рис. 4б); 3 – БНО с фракционным испарителем в исполнении А (см. рис. 2б). Сжижаемая смесь 1 % ВКК + CO₂ (5000 ppm): 4 – БНО с ректификационной колонной в исполнении А (см. рис. 2б); 5 – БНО с ректификационной колонной в исполнении Б (см. рис. 4б).

жидкость при этом рекомендуется утилизировать сжатием криогенным насосом и испарением ее в горячем теплообменнике за счет охлаждения прямого потока сырьевого газа.

- Для увеличения производительности установки следует применять БНО с ректификационной колонной и испарителем. Кубовую жидкость при этом рекомендуется утилизировать сжатием ее в криогенном насосе и испарением в горячем теплообменнике за счет охлаждения прямого потока сырьевого газа. В двухпоточных циклах частичного сжижения с расширяющим устройством использование ректификационной колонны с испарителем не оправданно, если перепад давления в технологическом потоке менее чем десятикратный. Выигрыш производительности по сравнению с ректификационной колонной без испарителя в этом случае минимален.

Литература

- При сжижении бедных смесей с низким содержанием ВКК (менее 1 %) и кристаллизующихся компонентов (менее 1000 ppm), а также при невысоких требованиях к чистоте СПГ (не менее 100...200 ppm CO₂ в СПГ) следует применять БНО с фракционным испарителем.
- При содержании в сырьевом газе CO₂ более 1000 ppm, ВКК более 3 % и повышении требований к чистоте СПГ (до уровня менее 100 ppm CO₂ в СПГ) следует применять ректификационную колонну без испарителя. Кубовую

1. Ходорков И.Л. Сжиженный природный газ (СПГ). Физико-химические, энергетические и эксплуатационные свойства. – С.-Пб.: Химиздат, 2003. – 22 с.
2. Мурин В.И. и др. Технология переработки природного газа и конденсата. Ч.1. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2002. – 517 с.
3. Горбачев С.П., Медведков И.С. Совершенствование технологии сжижения природного газа на газораспределительных станциях с получением продукта повышенной чистоты // Технические газы. – 2012. – № 4. – С. 31-36.
4. Пат. 2438081 РФ. Способ сжижения природного газа (варианты) и установка для его реализации (варианты) / Горбачев С.П. // БИ. – 27.12.2011.
5. Пат. 2212598 РФ. Способ частичного сжижения природного газа и установка для его реализации / Горбачев С.П. // БИ. – 20.09.2003.
6. Горбачев С.П., Люгай С.В., Самсонов Р.О. Технология производства СПГ на газораспределительных станциях при повышенном содержании диоксида углерода в сетевом газе // Технические газы. – 2010. – № 3. – С. 48-52.
7. Горбачев С.П., Медведков И.С. Влияние высококипящих компонентов при производстве СПГ на ГРС // Транспорт на альтернативном топливе. – 2012. – № 2. – С. 8-54.

Методики определения оптимального состава смесевых биотоплив на основе растительных масел

В.А. Марков, профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана, д.т.н.,
С.Н. Девянин, профессор МГАУ им. В.П. Горячкина, д.т.н.,
В.В. Маркова, аспирант МГАУ им. В.П. Горячкина

Представлены методики определения оптимального состава смесей дизельного топлива и рапсового масла. По результатам оптимизационных расчетов получены характеристики изменения состава этих смесей в зависимости от скоростного и нагрузочного режимов работы дизельного двигателя. Проведено сопоставление показателей дизельного двигателя при использовании смесей дизельного топлива и рапсового масла с различными характеристиками.

Ключевые слова: дизельный двигатель, дизельное топливо, рапсовое масло, смесевое биотопливо, токсичность отработавших газов.

Биотоплива находят все более широкое применение на автомобильном и железнодорожном транспорте, в сельскохозяйственной технике, в стационарных установках [1-5]. В городских условиях целесообразно использование метиловых эфиров растительных масел и их смесей с нефтяным дизельным топливом (ДТ), а для сельской местности – чистые растительные масла и их смеси с ДТ [6].

Использование на транспорте различных биотоплив на основе растительных масел обеспечивает решение проблемы замещения нефтяных топлив, значительно расширяет сырьевую базу для получения моторных топлив, облегчает решение вопросов снабжения топливом транспортных средств и стационарных установок. Вместе с тем более широкое использование этих топлив сдерживается отличиями их

Таблица 1

Физико-химические свойства исследуемых топлив

Физико-химические свойства	Топлива*				
	ДТ	РМ	80 % ДТ + 20 % РМ	60 % ДТ + 40 % РМ	40 % ДТ + 60 % РМ
Плотность при 20 °С, кг/м ³	830	916	848	865	882
Вязкость кинематическая при 20 °С, мм ² /с	3,8	75	9	19	30
Коэффициент поверхностного натяжения при 20 °С, мН/м	27,1	33,2	–	–	–
Теплота сгорания низшая, МДж/кг	42,5	37,3	41,5	40,4	39,4
Цетановое число	45	36	–	–	–
Температура, °С					
самовоспламенения	250	318	–	–	–
помутнения	–25	–9	–	–	–
застывания	–35	–20	–	–	–
Количество воздуха, необходимое для сгорания 1 кг топлива, кг	14,3	12,6	13,9	13,5	13,1
Массовая доля, %					
С	87,0	78,0	–	–	–
Н	12,6	10,0	–	–	–
О	0,4	12,0	–	–	–
Общая массовая доля серы, %	0,20	0,002	0,16	0,12	0,08
Коксуемость 10%-го остатка, % по массе	0,2	0,4	–	–	–

Примечание. * Для смесей ДТ и РМ указано объемное процентное содержание компонентов; «—» – свойства не определялись.

свойств от свойств нефтяного дизельного топлива. Решение этой проблемы возможно путем перевода двигателей на смешанные топлива, в частности, на смеси дизельного топлива и растительного масла. При этом появляется возможность получения смешанных топлив с требуемыми физико-химическими свойствами, что позволяет целенаправленно совершенствовать рабочие процессы дизелей и тем самым улучшать их экологические и экономические показатели.

В условиях Российской Федерации для производства биотоплива для дизелей наиболее целесообразно использование рапсового масла (РМ) [1, 6]. Эта сельскохозяйственная культура хорошо приспособлена к умеренному климату нашей страны – она культивируется в Черноземье, Нечерноземье, Сибири, Алтайском крае, на Урале и Дальнем Востоке. В условиях этих регионов рапс дает хорошие урожаи – 3 т/га и более, что позволяет получить с 1 га около 1 т биотоплива. При переработке семян рапса (отжим) получают также рапсовый шрот (жмых), являющийся высокобелковым концентратом для кормления сельскохозяйственных животных. Он не уступает соевому и подсолнечному шротам и содержит до 40 % протеина и 8...11 % жира. Дополнительное получение шрота и использование его для откорма животных удешевляет производство биотоплива для дизелей.

При использовании смесей дизельного топлива с различными биотопливами на основе растительных масел можно обеспечить требуемый характер протекания рабочего процесса. Это подтверждается результатами экспериментальных исследований [1, 7] дизеля Д-245.12С (4ЧН 11/12,5) Минского моторного завода. Исследуемый дизель работал на чистом ДТ и смешанном биотопливе на основе РМ с концентрацией масла 20, 40 и 60 % (табл. 1). На каждом из исследуемых топлив испытания проводились на режимах внешней скоростной характеристики и 13-ступенчатого испытательного цикла ЕСЕ R49 для оценки токсичности отработавших газов (ОГ) дизелей в стендовых условиях.

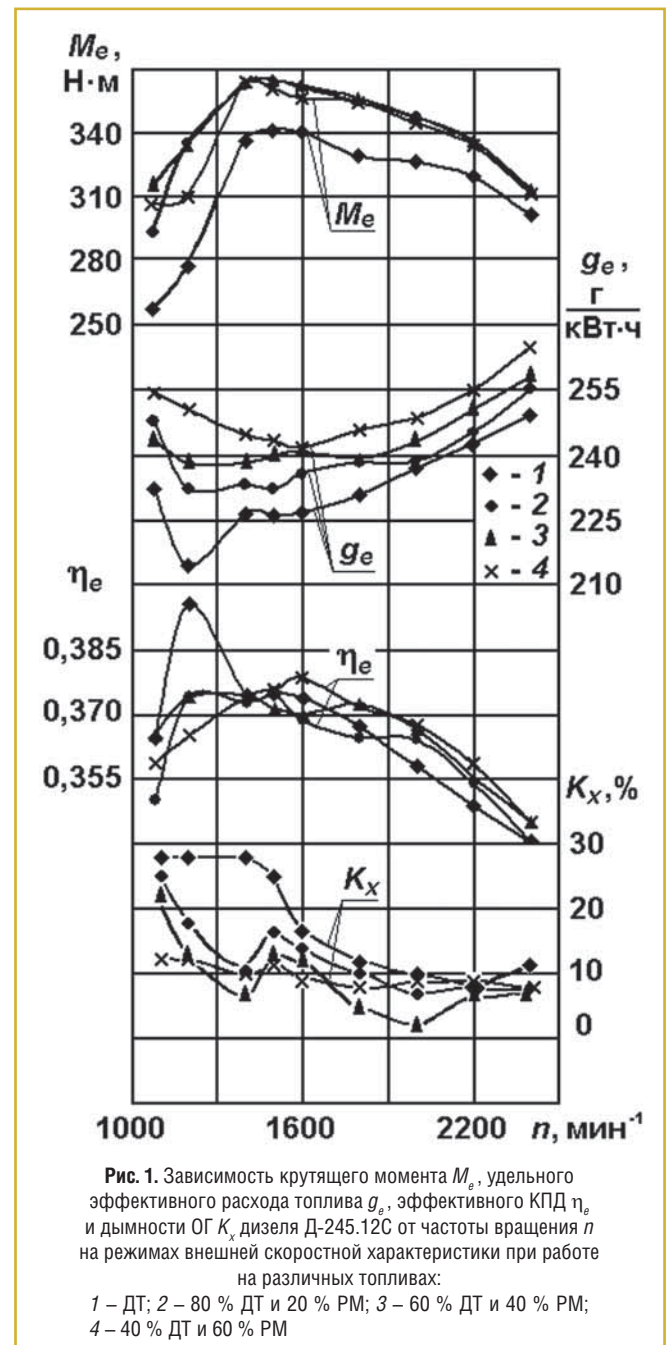
Анализ экспериментальных данных (рис. 1 и 2) подтверждает улучшение показателей токсичности ОГ при использовании смесей ДТ и РМ, а также возможность оптимизации состава смешанного топлива. При этом необходимо учитывать совокупность показателей топливной экономичности, дымности и токсичности ОГ, однако требования к выбору оптимального по данным критериям состава смешанного топлива часто противоречат друг другу, и его выбор является многокритериальной оптимизационной задачей.

При использовании смешанных биотоплив различного состава удельный эффективный расход топлива g_e не в полной мере характеризует эффективность процесса сгорания, поскольку они имеют различную теплотворную способность. Поэтому при оптимизации состава смешанного топлива в качестве частного критерия оптимальности, характеризующего топливную экономичность, выбран эффективный КПД двигателя η_e . В качестве частных критериев оптимальности,

характеризующих токсичность ОГ, принято содержание в ОГ нормируемых токсичных компонентов – оксидов азота NO_x , монооксида углерода CO , несгоревших углеводородов CH . Кроме того, необходимо учесть выбросы сажи (дымность ОГ) или твердых частиц. Но следует отметить, что определение дымности ОГ практически более доступно, чем определение выброса твердых частиц.

Для выбора наиболее целесообразного способа оптимизации состава смешанного топлива предложены следующие три методики.

- В первой из них обобщенный критерий оптимальности J_o формируется в виде произведения двух частных критериев. В качестве критерия топливной экономичности J_{η_e} принят эффективный КПД двигателя, а в качестве критерия токсичности



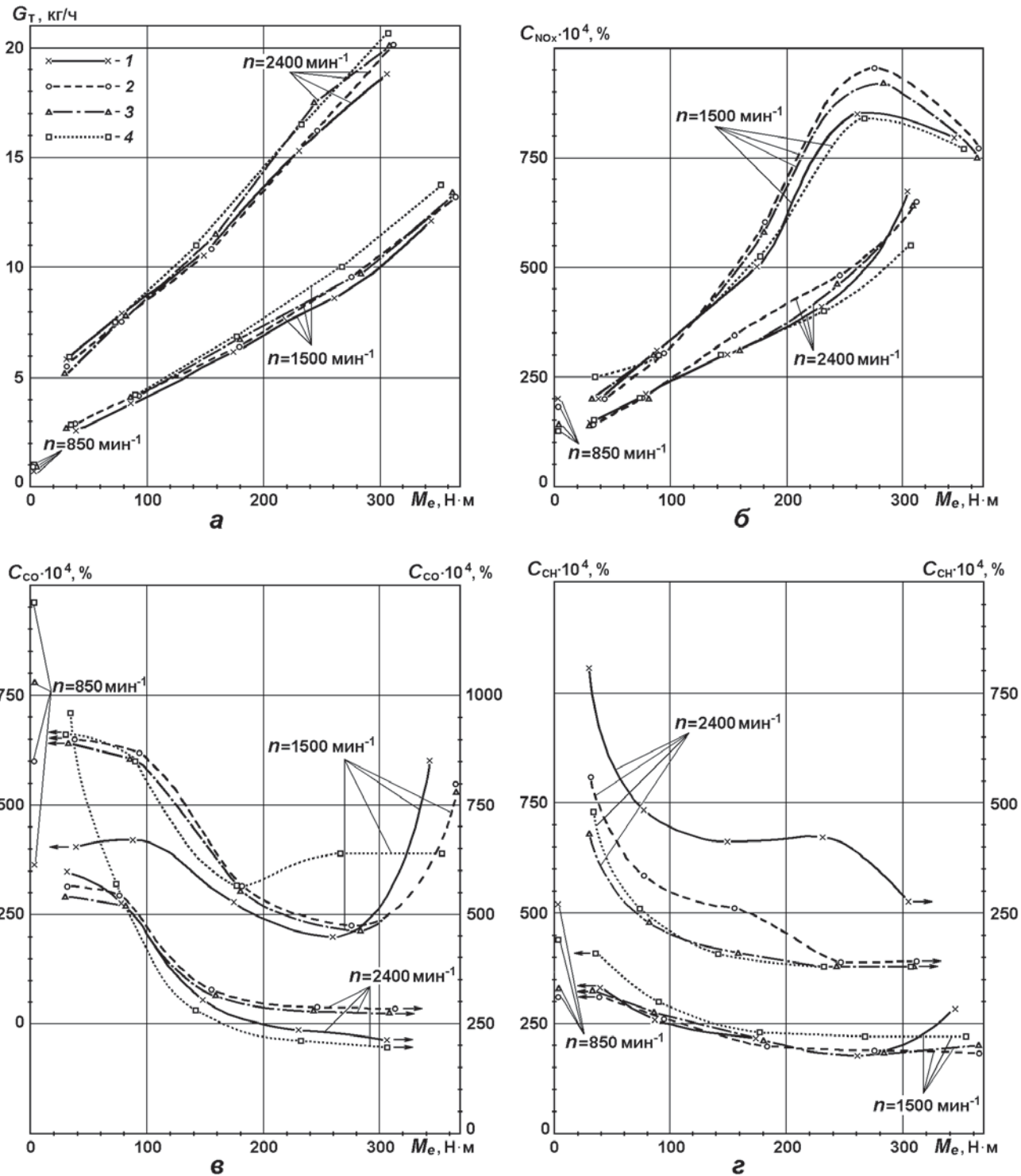


Рис. 2. Зависимость часового расхода топлива G_T (а) и концентраций в ОГ дизеля Д-245.12С оксидов азота C_{NO_x} (б), монооксида углерода C_{CO} (в) и углеводородов C_{CH} (г) от частоты вращения n и крутящего момента M_e при использовании различных топлив: 1 – дизельное топливо; 2 – смесь 80 % ДТ и 20 % РМ; 3 – смесь 60 % ДТ и 40 % РМ; 4 – смесь 40 % ДТ и 60 % РМ

ОГ J_{NO_x} – выброс оксидов азота, наиболее значимого нормируемого токсичного компонента ОГ. Такой обобщенный критерий оптимальности можно записать в виде

$$J_o = J_{\eta_e} J_{\text{NO}_x} = \frac{\eta_{e\text{ДТ}}}{\eta_{e\text{и}}} \frac{C_{\text{NO}_x i}}{C_{\text{NO}_x \text{ДТ}}}, \quad (1)$$

где $\eta_{e\text{ДТ}}$ – эффективный КПД двигателя, работающего на дизельном топливе; $\eta_{e\text{и}}$ – эффективный КПД двигателя, работающего

на смешанном топливе i -го состава; $C_{\text{NO}_x i}$ – концентрация оксидов азота в ОГ двигателя, работающего на смешанном топливе i -го состава; $C_{\text{NO}_x \text{ДТ}}$ – концентрация оксидов азота в ОГ двигателя, работающего на дизельном топливе.

Этот обобщенный критерий оптимальности отличается простотой и сравнительно небольшим объемом необходимых расчетов, но не учитывает выброс ряда нормируемых

токсичных компонентов – монооксида углерода CO, несгоревших углеводородов CH и сажи C.

Во второй из предложенных методик обобщенный критерий оптимальности J_o формируется в виде суммы частных критериев, характеризующих топливную экономичность J_{η_e} , выбросы с ОГ оксидов азота J_{NO_x} , монооксида углерода J_{CO} , несгоревших углеводородов J_{CH} , а также дымность ОГ J_{K_x} :

$$J_o = J_{\eta_e} + J_{NO_x} + J_{CO} + J_{CH} + J_{K_x} = \frac{\eta_{eДТ}}{\eta_{ei}} + \frac{C_{NO_x i}}{C_{NO_x ДТ}} + \frac{C_{CO i}}{C_{CO ДТ}} + \frac{C_{CH i}}{C_{CH ДТ}} + \frac{K_{xi}}{K_{x ДТ}}, \quad (2)$$

где $C_{CO i}$, $C_{CH i}$, $C_{CO ДТ}$, $C_{CH ДТ}$ – концентрации монооксида углерода и несгоревших углеводородов в ОГ двигателя, работающего на смешанном топливе i -го состава и на дизельном топливе; K_{xi} , $K_{x ДТ}$ – дымность ОГ двигателя, работающего на смешанном топливе i -го состава и на дизельном топливе.

При формировании этого обобщенного критерия оптимальности последнее слагаемое учитывалось лишь на режимах внешней скоростной характеристики, на которых измерялась дымность ОГ. На режимах с неполной нагрузкой дымность ОГ не нормируется, и обобщенный критерий оптимальности J_o включает лишь первые четыре слагаемых.

Третья методика предусматривает формирование обобщенного критерия оптимальности J_o в виде суммы частных критериев, аналогичной выражению (2), но вводятся весовые коэффициенты, характеризующие значимость каждого из слагаемых. При этом весовой коэффициент, характеризующий эффективный КПД двигателя, принят $a_{\eta_e} = 1$, а весовые коэффициенты a_{NO_x} , a_{CO} , a_{CH} , характеризующие выбросы нормируемых токсичных компонентов, определялись в виде отношений действительной эмиссии токсичных компонентов ОГ дизеля, работающего на дизельном топливе (e_{NO_x} , e_{CO} , e_{CH}), к предельным значениям эмиссии, определяемым нормами на токсичность ОГ ($e_{NO_x пр}$, $e_{CO пр}$, $e_{CH пр}$):

$$\begin{aligned} a_{NO_x} &= e_{NO_x} / e_{NO_x пр}; \\ a_{CO} &= e_{CO} / e_{CO пр}; \\ a_{CH} &= e_{CH} / e_{CH пр}. \end{aligned} \quad (3)$$

Входящие в выражения (3) интегральные на режимах 13-ступенчатого испытательного цикла удельные массовые выбросы токсичных компонентов ОГ определялись по общепринятой методике [8]:

$$e_{NO_x} = \frac{\sum_{i=1}^{13} E_{NO_x i} K_i}{\sum_{i=1}^{13} N_{ei} K_i}; \quad e_{CO} = \frac{\sum_{i=1}^{13} E_{CO i} K_i}{\sum_{i=1}^{13} N_{ei} K_i}; \quad e_{CH} = \frac{\sum_{i=1}^{13} E_{CH i} K_i}{\sum_{i=1}^{13} N_{ei} K_i}, \quad (4)$$

где $E_{NO_x i}$, $E_{CO i}$, $E_{CH i}$ – массовые выбросы токсичных компонентов ОГ на i -м режиме, г/ч; N_{ei} – мощность двигателя на этом режиме, кВт; K_i – коэффициент, отражающий долю времени i -го режима в 13-ступенчатом испытательном цикле ECE R49.

Весовой коэффициент частного критерия дымности ОГ a_{K_x} определялся в виде отношения K_x дизеля, работающего

на дизельном топливе на режиме максимального крутящего момента, к предельному значению дымности ОГ $K_{x пр}$ дизеля на этом режиме, определяемому его нормами. Обобщенный критерий оптимальности J_o с учетом принятых положений записывается в виде

$$\begin{aligned} J_o &= a_{\eta_e} J_{\eta_e} + a_{NO_x} J_{NO_x} + a_{CO} J_{CO} + a_{CH} J_{CH} + a_{K_x} J_{K_x} = \\ &= a_{\eta_e} \frac{\eta_{eДТ}}{\eta_{ei}} + a_{NO_x} \frac{C_{NO_x i}}{C_{NO_x ДТ}} + a_{CO} \frac{C_{CO i}}{C_{CO ДТ}} + a_{CH} \frac{C_{CH i}}{C_{CH ДТ}} + a_{K_x} \frac{K_{xi}}{K_{x ДТ}}. \end{aligned} \quad (5)$$

Как и в выражении (2), в предлагаемой методике последнее слагаемое учитывалось лишь на режимах внешней скоростной характеристики, а на режимах с неполной нагрузкой обобщенный критерий оптимальности J_o включает лишь первые четыре слагаемых. В третьей методике при расчетных исследованиях весовые коэффициенты a_{NO_x} , a_{CO} , a_{CH} частных критериев оптимальности, характеризующих выбросы газообразных токсичных компонентов ОГ, определялись по выражениям (3) при ограничениях на эти выбросы, накладываемых нормами Евро-4. Весовой коэффициент дымности ОГ определялся по выражению $a_{K_x} = K_x / K_{x пр}$, в котором ограничение на предельную дымность ОГ регламентируется Правилами 24-03 ЕЭК ООН. С учетом принятых допущений получены следующие значения весовых коэффициентов частных критериев оптимальности:

$$\begin{aligned} a_{\eta_e} &= 1,0; \\ a_{NO_x} &= e_{NO_x} / e_{NO_x пр} = 7,442/3,5 = 2,13; \\ a_{CO} &= e_{CO} / e_{CO пр} = 3,482/1,5 = 2,32; \\ a_{CH} &= e_{CH} / e_{CH пр} = 1,519/0,5 = 3,04; \\ a_{K_x} &= K_x / K_{x пр} = 25/56,2 = 0,44. \end{aligned}$$

В числителях этих выражений использовались значения коэффициентов при работе на дизельном топливе (табл. 2), а в знаменателе – регламентируемые нормами токсичности.

Эти значения весовых коэффициентов частных критериев оптимальности приняты постоянными для всех исследуемых видов топлива и режимов работы.

Для проведения оптимизационных расчетов необходимы показатели топливной экономичности и токсичности ОГ во всем диапазоне изменения скоростных и нагрузочных режимов работы дизеля. Для получения такой информации экспериментальные данные по дизелю Д-245.12С (см. рис. 1 и 2) были обработаны с использованием методов линейной интерполяции и экстраполяции. В результате получены данные по эффективному КПД двигателя и концентрациям нормируемых газообразных токсичных компонентов в ОГ в широком диапазоне скоростных и нагрузочных режимов работы дизеля Д-245.12С, работающего на различных топливах. Затем были рассчитаны оптимальные составы смешанного топлива на всех эксплуатационных режимах работы дизеля Д-245-12С – при частотах вращения коленчатого вала $n = 800, 1200, 1600, 2000, 2400$ мин⁻¹ и нагрузках, соответствующих

Показатели работы дизеля Д-245.12С на различных топливах

Топливо	Удельный выброс, г/(кВт.ч)			Дымность ОГ на режиме максимального крутящего момента $K_x, \%$	Суммарный условный коэффициент агрессивности ОГ $A_{ог}$	Условный удельный расход топлива $g_{e\text{ усл}}$	Условный эффективный КПД двигателя $\eta_{e\text{ усл}}$
	оксидов азота e_{NO_x}	оксида углерода e_{CO}	углеводородов e_{CH}				
Дизельное топливо	7,442	3,482	1,519	25	245,3	247,2	0,343
80 % ДТ + 20 % РМ	7,159	3,814	0,965	16	170,6	254,4	0,341
60 % ДТ + 40 % РМ	7,031	3,880	0,949	13	145,9	259,2	0,344
40 % ДТ + 60 % РМ	6,597	3,772	1,075	11	127,7	272,2	0,336
Биотоплива, полученные по методикам							
1	7,039	3,056	1,195	11	130,2	257,3	0,336
2	6,587	2,871	1,035	11	127,3	261,0	0,341
3	6,575	2,855	1,007	11	127,2	261,2	0,341

относительным значениям крутящего момента, равных 10, 25, 50, 75 и 100 % максимального M_e .

По трем предложенным методикам в каждой узловой точке рассчитывались обобщенные критерии оптимальности с использованием выражений (1), (2) и (5) при работе на каждом из исследуемых топлив. В каждой узловой точке определялся состав топлива, при котором обобщенный критерий был минимален. Этот состав топлива и принимался за оптимальный. В результате расчетных исследований получены три базовые характеристики оптимального состава биотоплива (рис. 3).

Далее были определены показатели исследуемого двигателя, в котором реализуются составы смесового биотоплива полученных базовых характеристик. В соответствии с представленными экспериментальными данными и выражениями (4) получены значения удельных выбросов основных нормируемых токсичных компонентов e_{NO_x} , e_{CO} , e_{CH} на режимах 13-ступенчатого испытательного цикла. Кроме того, рассчитаны на этих же режимах условные средние удельный эффективный расход топлива $g_{e\text{ усл}}$ и эффективный КПД двигателя $\eta_{e\text{ усл}}$ по формулам [8]:

$$g_{e\text{ усл}} = \frac{\sum_{i=1}^{13} G_{Ti} K_i}{\sum_{i=1}^{13} N_{ei} K_i}; \quad \eta_{e\text{ усл}} = \frac{3600}{H_U g_{e\text{ усл}}}, \quad (6)$$

где G_{Ti} – часовой расход топлива на i -м режиме, г/ч; H_U – низшая теплота сгорания топлива, МДж/кг.

Кроме того, определены значения дымности ОГ K_x на режиме максимального крутящего момента при $n = 1500 \text{ мин}^{-1}$ (см. табл. 2).

Для оценки суммарной токсикологической агрессивности ОГ двигателя, работающего на различных топливах, предлагается использовать суммарный условный коэффициент агрессивности ОГ $A_{ог}$

$$A_{ог} = A_{NO_x} \frac{e_{NO_x i}}{e_{NO_x ДТ}} + A_{CO} \frac{e_{CO i}}{e_{CO ДТ}} + A_{CH} \frac{e_{CH i}}{e_{CH ДТ}} + A_{K_x} \frac{K_{xi}}{K_{x ДТ}}, \quad (7)$$

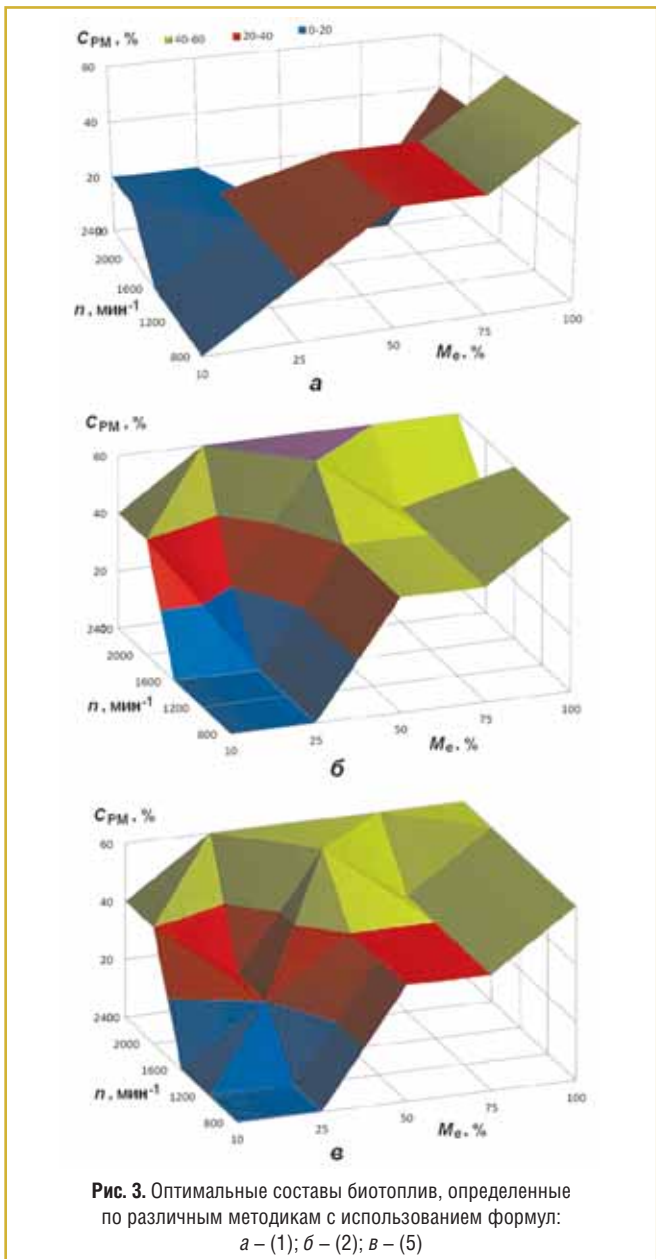


Рис. 3. Оптимальные составы биотоплив, определенные по различным методикам с использованием формул: а – (1); б – (2); в – (5)

где $A_{NOx} = 41,1$; $A_{CO} = 1,0$; $A_{CH} = 3,16$; $A_{Kx} = 200$ – коэффициенты агрессивности нормируемых токсичных компонентов ОГ [8, 9]; e_{NOxi} , e_{COi} , e_{CHi} – выбросы компонентов при работе дизеля на смесевом топливе i -го состава; K_{xi} – дымность ОГ по Хартриджу при работе на режиме максимального крутящего момента на смесевом топливе i -го состава; e_{NOxDT} , e_{CODT} , e_{CHDT} – содержание в ОГ токсичных компонентов при работе двигателя на дизельном топливе; K_{xDT} – дымность ОГ по Хартриджу при работе на дизельном топливе.

При составлении суммарного условного коэффициента агрессивности ОГ A_{OG} использована дымность исследуемого дизеля на режиме максимального крутящего момента при $n=1500$ мин⁻¹, поскольку из двух нормируемых режимов (режимы максимальной мощности и максимального крутящего момента) на этом режиме отмечается большая дымность ОГ. Относительные суммарные условные коэффициенты агрессивности ОГ A_{OG} , отнесенные к их значению для дизельного топлива, представлены на рис. 4.

Полученные значения этих коэффициентов свидетельствуют о том, что среди рассматриваемых смесевых биотоплив наилучшими экологическими характеристиками обладает смесь 40 % ДТ и 60 % РМ, для которой $A_{OG} = 127,7$ ($A_{OG\text{отн}} = 0,521$). Среди полученных смесевых биотоплив наилучшими экологическими свойствами отличается биотопливо с составом, полученным по методике 3. При ее реализации $A_{OG} = 127,2$ ($A_{OG\text{отн}} = 0,518$). Близкое значение этого коэффициента можно получить и при формировании состава биотоплива, полученного по методике 2 с $A_{OG} = 127,3$ ($A_{OG\text{отн}} = 0,519$). Следует также отметить, что с учетом полученных значений коэффициента агрессивности A_{OG} экологические показатели дизеля, в котором формируются биотоплива по методикам 2 и 3, близки к экологическим показателям дизеля, работающего на топливе постоянного состава – 40 % ДТ + 60 % РМ. Однако формирование указанных характеристик переменного состава топлива

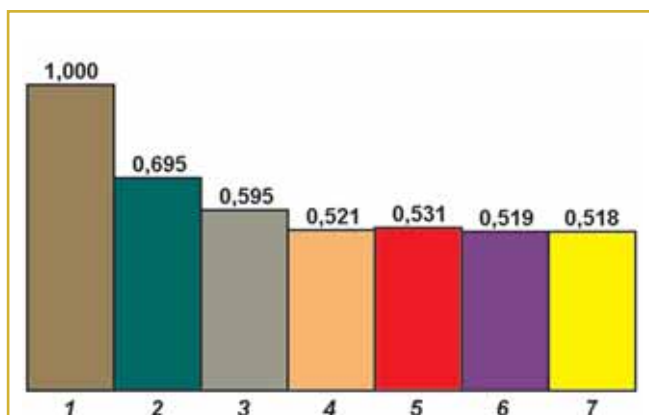


Рис. 4. Значения относительного суммарного условного коэффициента агрессивности ОГ A_{OG} .

Для рассматриваемых топлив: 1 – дизельное топливо; 2 – смесь 80 % ДТ + 20 % РМ; 3 – смесь 60 % ДТ + 40 % РМ; 4 – смесь 40 % ДТ + 60 % РМ; для полученных по различным методикам составов биотоплив: 5 – по методике 1 (см. рис. 4а); 6 – по методике 2 (см. рис. 4б); 7 – по методике 3 (см. рис. 4в)

обеспечивает топливную экономичность на 1,5 % лучше, чем у дизеля, работающего на смеси 40 % ДТ + 60 % РМ.

Таким образом, полученные результаты расчетно-экспериментальных исследований подтверждают целесообразность оптимизации состава смесевых биотоплив и сравнительной оценки различных смесевых топлив с использованием разработанных методик, а также эффективность этих методик. Наилучшие результаты дает методика, построенная на составлении обобщенного критерия оптимизации по формуле (5). При этом сумма частных критериев, характеризующих топливную экономичность (эффективный КПД двигателя), содержание в ОГ оксидов азота, монооксида углерода, газообразных несгоревших углеводородов, а также дымность ОГ, определяется с учетом различных весовых коэффициентов частных критериев оптимальности.

В заключение следует также отметить, что использование всех рассмотренных смесевых биотоплив и топлив, состав которых определен по методикам 1-3, обеспечивает значительное улучшение экологических показателей исследуемого двигателя. В частности, снижение выброса с ОГ наиболее значимого токсичного компонента составило от 3,8 % (смесь 80 % ДТ и 20 % РМ) до 7,8 % (состав биотоплива по методике 3). Минимальное уменьшение дымности ОГ на режиме максимального крутящего момента оказалось равно 36 % (с 25 до 16 % по шкале Хартриджа для смеси 80 % ДТ и 20 % РМ), а ее максимальное уменьшение составило 56 % (с 25 до 11 % по шкале Хартриджа для смеси 40 % ДТ и 60 % РМ и для всех полученных составов смесевых биотоплив).

Литература

1. Использование растительных масел и топлив на их основе в дизельных двигателях / В.А. Марков, С.Н. Девянин, В.Г. Семенов и др. – М.: ООО НИЦ «Инженер», 2011. – 536 с.
2. Марков В.А., Девянин С.Н., Маркова В.В. Показатели транспортного дизеля, работающего на смесях дизельного топлива с рапсовым и подсолнечным маслами // Автомобильная промышленность. – 2010. – № 7. – С. 10-13.
3. Григорович Д.Н. Применение биотоплива на железнодорожном транспорте // Транспорт на альтернативном топливе. – 2010. – № 1. – С. 59-65.
4. Девянин С.Н., Быковская Л.И., Маркова В.В., Марков В.А. Рапсовое масло в смеси с дизельным топливом // Техника и оборудование для села. – 2010. – № 9. – С. 45-46.
5. Капралов Д.А., Троицкий А.А. Электростанция на пальмовом масле работает в Италии // Турбины и дизели. – 2008. – № 4. – С. 2-7.
6. В.А. Марков, С.Н. Девянин, В.И. Крылов В.И. и др. Перспективы использования биотоплива в дизельных двигателях // Транспорт на альтернативном топливе. – 2012. – № 6. – С. 6-10.
7. Марков В.А., Ефанов А.А., Девянин С.Н. Улучшение экологических характеристик транспортного дизеля регулированием состава смесевых биотоплив // Грузовик &. – 2008. – № 9. – С. 42-56.
8. Марков В.А., Баширов Р.М., Габитов И.И. Токсичность отработавших газов дизелей. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 376 с.
9. Экологические аспекты применения моторных топлив на транспорте / В.Ф. Кутенев, В.А. Звонов, В.И. Черных и др. Автомобильные и тракторные двигатели: Межвуз. сб. – М.: изд-во ТУ «МАМИ», 1998. Вып.14. – С. 150-160.

Новости Биотопливной ассоциации

Производство биотоплива в Пензенской области

В феврале в рамках II Международной конференции «Рыжик посевной – сырье для авиатоплива второго поколения» был подписан протокол о намерениях по взаимному сотрудничеству между правительством Пензенской обл. и представителями инвесторов, в котором предусматривается строительство на территории области двух заводов по производству масла рыжика с объемом инвестиций около 2,5 млрд руб. каждый. Планируется начать строительство в 2013 г. и через год выйти на промышленную эксплуатацию.

Подписи под документами поставили губернатор Пензенской обл. Василий Бочкарев, генеральный директор ООО «Управляющая компания «Росагро» (Республика Алтай) Ольга Шипова и член совета директоров ЗАО «Управляющая компания «Сбережения и инвестиции» (УК «Сберинвест», Москва) Олег Дьяченко.

По словам Олега Дьяченко, уже есть предварительные договоренности о том, что продукция маслоэкстракционных

заводов будет использоваться в производстве авиационного биотоплива второго поколения для концерна Lufthansa AG (Германия). Интерес немцев к этой теме во многом объясняется тем, что национальный авиаперевозчик Германии начинает использовать топливо, произведенное из рыжика. Компания даже приобрела в Пензенской обл. первую пробную партию – 600 т пензенского рыжикового масла.

В случае успешной реализации проекта производство на базе переработки рыжика может быть расширено, поскольку его продукты могут быть использованы в фармацевтике, химической промышленности, производстве кормов.

Кроме того, достигнута договоренность о строительстве в Пензенской обл. котельной на биотопливе.

На Украине прогнозируется рост потребления биоэтанола

Аналитики ГП «Укрпромвнешэкспертиза», подготовившие исследование потенциальных рыночных ниш для реализации химической продукции на

Украине, прогнозируют к 2015 г. увеличение на 400 % потребления топливного биоэтанола в стране, которое составит около 240 тыс. т.

По оценкам экспертов, в 2020 г. потребление биоэтанола на Украине достигнет 400 тыс. т. Наряду с этим ожидается увеличение потребности в данном топливе в ЕС до 5,7 млн т к 2015 г., что на 50 % больше, чем в 2012 г. Это позволит Украине увеличить экспортные поставки биоэтанола в Европу. Через 5-10 лет рыночная ниша, на которую могут рассчитывать украинские производители, составит около 1,1 млн т.

Существенному увеличению производства биоэтанола способствовало вступление в действие нормы закона (с 1 января 2013 г.), предписывающей в добровольном порядке добавлять 5 % биоэтанола в бензин. С 2014 г. 5%-я доля биоэтанола в топливе станет обязательной, а с 2016 г. она должна будет увеличиться до 7 %.

По информации УПЭ, в 2011 г. украинским населением и промышленностью было использовано около 10 тыс. т биоэтанола, а в 2012 г. – 60 тыс. т.

По материалам сайта Национальной биотопливной ассоциации

**КОНГРЕСС ПО ПРОИЗВОДСТВУ И ПРИМЕНЕНИЮ
АВТОМОБИЛЬНЫХ И КОТЕЛЬНЫХ ТОПЛИВ ИЗ ВОЗОБНОВЛЯЕМОГО СЫРЬЯ**
(биобутанол, биоэтанол, бионефть, пеллеты, брикеты и другие виды топлива)

Биомасса
ТОПЛИВО И ЭНЕРГИЯ
КОНГРЕСС И ВЫСТАВКА • 16-17 АПРЕЛЯ 2013 • МОСКВА

16-17 апреля 2013 года
Отель Холидей Инн Лесная, Москва

- Состояние отрасли: развитие технологий и рынка первого и второго поколения биотоплива
- Биозаводы (biorefinery): компоновка, производимые продукты, экономика, капитальные вложения
- Гранты и другие финансовые возможности для разработки технологий биотоплива
- Конверсия заводов пищевого спирта на производство биотоплива
- Целлюлозный биобутанол: технологии производства и возможность коммерциализации
- Биотопливо из водорослей: технология производства, мировой рынок, возможности производства в России
- Топливный биоэтанол, бутанол и другие транспортные биотоплива
- Пиролиз и газификация: бионефть, сингаз и биочар. Стандарты и рынок печного биотоплива
- Биодизель и биокеросин. Биотоплива для авиации, европейский налог на выброс CO₂ для авиакомпаний
- Твердые биотоплива: пеллеты и брикеты

www.bioplivo.ru Тел +7 (495) 585-5167
congress@bioplivo.ru Факс +7 (495) 585-5449

Российская
Биотопливная
Ассоциация™

Электромобили в России

С момента старта продаж в октябре 2011 г. на территории Российской Федерации было продано 90 электромобилей Mitsubishi i-MiEV. По итогам 2012 г., продажи электромобилей в стране существенно превосходят аналогичные показатели ряда европейских стран. Например, в России было продано электромобилей Mitsubishi i-MiEV в 1,9 раза больше, чем во Франции, в 2,6 раза больше, чем в Дании, в 3,5 раза больше, чем в Италии, и в 3,8 раза больше, чем в Нидерландах. В течение 2012 г. для продажи и последующего технического обслуживания электромобилей Mitsubishi было авторизовано 42 дилерских центра в 19 городах России.

«2012 год стал для нас системообразующим, – отметил Андрей Панков, главный исполнительный директор компании «РОЛЬФ Импорт», дистрибьютора автомобилей Mitsubishi в РФ. – Mitsubishi i-MiEV не только дал старт развитию рынка электротранспорта в России, но и, что крайне важно, начал

формировать спрос и подготовил потенциальных потребителей к восприятию других моделей экологического транспорта, в том числе и электромобилей с увеличенным запасом хода, которые мы планируем вывести на российский рынок в 2013 г. При этом рост продаж электромобиля i-MiEV, который мы наблюдали в прошлом году, мог быть существенно выше с введением мер государственной поддержки».

Дилерская сеть Mitsubishi Motors является одной из наиболее развитых в России и на сегодняшний день включает 125 дилерских центров в 77 городах страны. Результаты продаж «РОЛЬФ Импорт» в 2012 г. составили свыше 74 тыс. автомобилей. В 2011 г. «РОЛЬФ Импорт» стала первой и единственной компанией на российском рынке, которая начала продажи инновационного 100%-го электромобиля Mitsubishi i-MiEV.

В январе 2013 г. уровень продаж автомобилей Mitsubishi в России вырос на

34 % по сравнению с аналогичным показателем 2012 г.

Статистика приводит следующие данные:

- рост продаж Mitsubishi Outlander составил 31 % – 1198 автомобилей в январе 2013 г. против 918 в январе 2012 г.;
- более чем в два раза (на 135 %) выросли продажи Mitsubishi Pajero Sport – 468 автомобилей в январе 2013 г. против 199 в январе 2012 г.;
- 71%-й рост показал Mitsubishi L200, продемонстрировав абсолютное лидерство в своем сегменте относительно аналогичных автомобилей других брендов, – 387 проданных автомобилей в январе 2013 г. против 226 в январе 2012 г.

В январе компания почти в пять раз опередила рост продаж при том, что рынок новых иностранных автомобилей в России показал прирост всего в 6 %. В основе этого роста – привлекательные ценовые предложения на текущий модельный ряд Mitsubishi. Планируется дальнейший рост благодаря обновленному Mitsubishi ASX, который уже поступил в продажу во всех официальных дилерских центрах Mitsubishi Motors.

Продажи первого электрического внедорожника Outlander PHEV в Японии

В январе этого года в дилерских центрах Японии стартовали продажи электромобиля с увеличенным запасом хода. Outlander PHEV будет предлагаться в пяти комплектациях:

- G – базовая;
- G Safety Package – с передовой системой безопасности e-Assist собственной разработки Mitsubishi Motors Corporation (MMC);
- G Navi Package – с бортовой системой навигации и прочими функциями;
- G Premium Package – с аудиосистемой премиум-класса RockfordFosgate® и кожаными сиденьями для повышенного комфорта;
- E – комплектуется по заказу клиента.

В марте 2013 г. на Женевском автосалоне MMC представила европейскую версию Mitsubishi Outlander PHEV, который начнет официально продаваться в ЕС уже в июле этого года. Электромобиль с увеличенным запасом хода для европейского потребителя будет во многом схож с японской версией автомобиля, за исключением обязательных для внедрения норм ЕС. Mitsubishi Outlander PHEV будет оснащен резиной, адаптированной к европейским дорогам, и оптимизированной тормозной системой. Сборка электрического внедорожника будет осуществляться на заводе Оказаки в Японии.

Новинкой Женевского автосалона стал и концепт-кар пятидверного

хэтчбэка SA-MiEV, способного преодолеть 300 км без подзарядки. Достичь пробега на одной зарядке вдвое больше, чем у существующих сегодня на рынке электромобилей, стало возможно благодаря батарее нового поколения и усовершенствованной аэродинамике.

Кроме того, в Женеве был продемонстрирован гибридный пикап GR-HEV. Его уникальная характеристика – применение гибридной (HEV) технологии. Совершенно новое коммерческое решение в области технологии HEV включает дизельный двигатель Clean Diesel и электромоторы. Гибридный пикап является более простым и доступным по цене по сравнению с моделями EV и PHEV. GR-HEV позволяет снизить уровень выбросов CO₂ до 149 г/км, что почти на 30 % ниже уровня выбросов автомобиля с ДВС (200-250 г/км).

<http://www.mitsubishi-motors.ru/>

Снижение выбросов твердых частиц с отработавшими газами на двигателях V8

И.Ф. Гумеров, заместитель генерального директора ОАО «КАМАЗ» – директор по развитию, к.т.н.,
Р.Х. Хафизов, заместитель главного конструктора по исследованиям двигателей НТЦ ОАО «КАМАЗ»

Приведены результаты опытно-конструкторских работ по достижению уровня выбросов твердых частиц с отработавшими газами дизельных двигателей КАМАЗ в соответствии с требованиями Правил ЕЭК ООН № 49 Евро-3, -4 (-5).

Ключевые слова: выбросы вредных веществ, выбросы твердых частиц, отработавшие газы, топливная аппаратура, цилиндропоршневая группа, степень сжатия.

Специалистами, занимающимися разработками, исследованиями и производством дизелей для автотранспортных средств (АТС), признано, что наибольшие затраты при проведении НИОКР приходятся на достижение уровня токсичности отработавших газов (ОГ), соответствующего требованиям Правил ЕЭК ООН № 49 и 96 [1, 2], которые регламентируют выбросы оксидов азота NO_x и твердых (дисперсные) частиц РТ. Две эти составляющие в выбросах с ОГ особенно вредны для живых организмов и загрязняют окружающую среду опасными для здоровья людей веществами, а две других – оксид углерода CO и углеводороды CH – являются несгоревшими продуктами работы двигателей. Для доведения их выбросов до уровня, указанного в действующих нормах, не требуется особых затрат. В основном они достигаются при снижении выбросов NO_x и РТ.

Еще на этапе подготовки к принятию требований Евро-3 по выбросам вредных веществ (ВВ) двигателями с воспламенением от сжатия разработчиками рассматривались разные варианты достижения этого уровня [3-6 и др.] – от применения нейтрализаторов для

NO_x и фильтров для улавливания РТ до совершенствования рабочих процессов за счет использования топливных систем с высоким давлением (до 150 МПа). Второго направления придерживались, например,

Таблица 1

Выбросы ВВ с ОГ, регламентированные Правилами ЕЭК ООН № 49 (05) при испытаниях по циклу ESC

Евро	CO	CH	NO_x	РТ
	г/кВт • ч			
3	2,1	0,66	5,0	0,10
4	1,5	0,46	3,5	0,02
5	1,5	0,46	2,0	0,02

Таблица 2

Комплектации двигателей Евро-3 и -4

Вариант	Евро-3	Евро-4
ТА	Традиционные топливные насосы высокого давления (ТНВД) с V-образным (ОАО «ЯЗДА») или Р-рядным (фирма Bosch) расположением плунжерных пар, электронным регулятором и максимальным давлением впрыска топлива 120 МПа форсунками с распылителями, имеющими шесть сопловых отверстий	Аккумуляторного типа CR (фирма Bosch) с максимальным давлением впрыска топлива 160 МПа электромагнитными инжекторами CRIN 2 с распылителями, имеющими семь сопловых отверстий
ЦПГ	Комплект уплотнительных колец: <ul style="list-style-type: none"> • первое компрессионное кольцо – двухсторонняя трапеция с углом 6°, хром-керамическим покрытием и рабочей поверхностью типа «смещенная бочка»; • второе компрессионное кольцо – односторонняя трапеция с углом 7°, с расположением рабочей поверхности относительно зеркальной гильзы под минутным углом, поверхность – чугунная с азотированием. Маслосъемное кольцо высотой 4 мм	Комплект уплотнительных колец: <ul style="list-style-type: none"> • первое компрессионное кольцо – двухсторонняя трапеция с углом 15°, хром-алмазным покрытием и рабочей поверхностью типа «смещенная бочка»; • второе компрессионное кольцо – прямоугольное, с расположением рабочей поверхности относительно зеркальной гильзы под минутным углом, поверхность из специального чугуна без покрытия. Маслосъемное кольцо высотой 3 мм
Степень сжатия	16,8	18

специалисты известной фирмы AVL, рекомендовавшие центральное расположение форсунки относительно камеры сгорания для соблюдения показателей Евро-3 (табл. 1) на двигателях КАМАЗ.

Исследовательские работы по достижению уровня выбросов РТ, соответствующих требованиям Евро-3, -4 (-5), на примере двигателей КАМАЗ проводились по трем направлениям (табл. 2):

- повышение давления впрыска топлива путем применения топливной аппаратуры (ТА) с электронной системой управления двигателем;
- улучшение эффективности уплотнений в цилиндропоршневой группе (ЦПГ) с помощью комплектов колец для снижения расхода масла на угар;
- повышение степени сжатия в камере сгорания.

В табл. 3 представлены сравнительные данные по результатам испытаний двигателя с вариантами ТА и различными давлениями впрыскивания топлива.

Анализ представленных результатов показывает явное преимущество аккумуляторной системы топливоподачи, которая, в отличие от традиционных ТА, позволяет регулировать также впрыски по углу начала и их числу в каждой режимной точке работы двигателя.

Уровень выбросов NO_x топливной аппаратуры типа CR соответствует показателям Евро-4, что достигается применением системы нейтрализации ОГ типа SCR (селективное каталитическое восстановление).

Расположение уплотнительных колец ЦПГ двигателей Евро-3 и -4 и зависимость уровня выбросов РТ от относительного расхода масла на угар (проценты от расхода топлива), представленные на рис. 1 и 2,

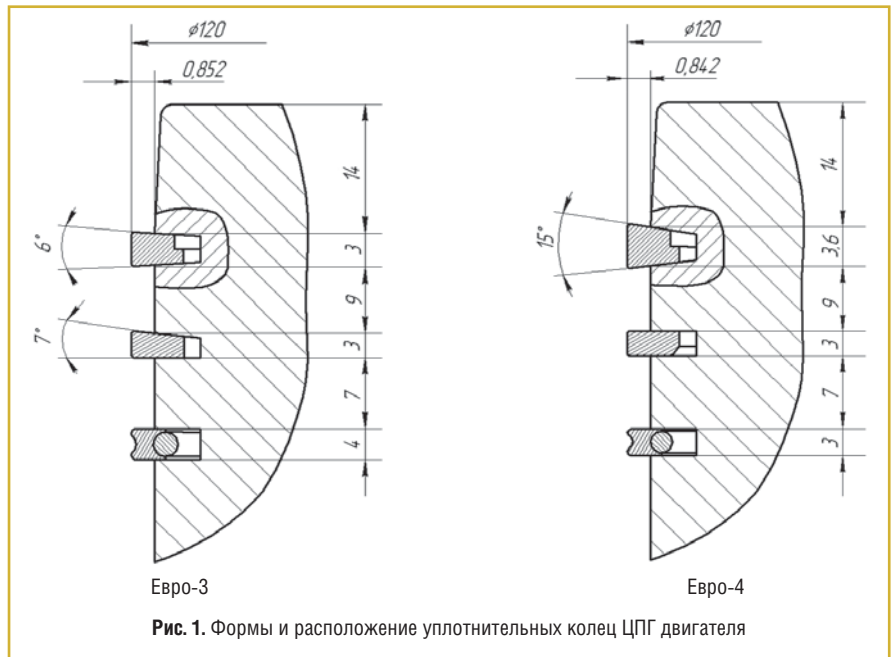


Рис. 1. Формы и расположение уплотнительных колец ЦПГ двигателя

Таблица 3

Результаты испытаний двигателя КАМАЗ

Комплектация ТА	p_{max} впрыска, МПа	Евро	CO	CH	NO _x	РТ
			г/кВт·ч			
P7100	120	3	0,58	0,19	4,89	0,094
CR	160	4	0,80	0,20	11,11	0,017
	180		0,74	0,14	10,58	0,006

Таблица 4

Выбросы ВВ с ОГ при различных степенях сжатия

Степень сжатия	NO _x	CH	CO	РТ
	г/кВт·ч			
21	4,56	0,10	0,50	0,058
19	4,50	0,10	0,56	0,061
17	4,42	0,11	0,56	0,068



Рис. 2. Гистограмма уровня выбросов РТ в зависимости от расхода масла на угар

подтверждают результаты, полученные по второму направлению исследований.

Анализ результатов работ по оценке влияния степени сжатия на выбросы РТ показывает (табл. 4), что наблюдается тенденция их снижения.

Таким образом, можно сказать, что выполненные опытно-конструкторские работы по всем трем направлениям исследований позволили достигнуть пятикратного снижения выбросов твердых частиц с ОГ двигателей V8 уровня Евро-4 по сравнению с показателями Евро-3. Следует при этом отметить, что наибольший эффект по уменьшению выбросов РТ достигнут за счет применения современных топливоподающих аккумуляторных систем. Это еще раз подтверждает важность дальнейшего развития ТА типа CR в части повышения давления впрыска топлива.

Литература

1. Правила ЕЭК ООН № 49(05) «Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения двигателей с воспламенением от сжатия и двигателей, работающих на природном газе, а также двигателей с принудительным зажиганием, работающих на сжиженном нефтяном газе, и транспортных средств, оснащенных двигателями с воспламенением от сжатия, двигателями, работающими на природном газе, и двигателями с принудительным зажиганием, работающими на сжиженном нефтяном газе, в отношении выделяемых ими загрязняющих веществ».

2. Правила ЕЭК ООН № 96 (02) «Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения двигателей с воспламенением от сжатия для установки на сельскохозяйственных тракторах и внедорожной технике, в отношении выброса загрязняющих веществ этими двигателями».

3. **Звонов В.А.** Токсичность двигателей внутреннего сгорания. – М.: Машиностроение, 1973. – 200 с.

4. **Марков В.А. Баширов Р.М., Габитов И.И.** Токсичность отработавших газов дизелей. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002. – 376 с.

5. **Новиков Л.А.** Анализ потенциала модернизации дизелей семейства ЧН21/21 для достижения действующих норм вредных выбросов // Двигателестроение. – 2011. – № 4 (246). – С. 31-38.

6. **Мельник Г.В.** Технологии снижения вредных выбросов дизелей. Состояние и перспективы развития. По материалам конгресса СИМАС 2010 // Двигателестроение. – 2011. – № 4 (246). – С. 48-56.

7. **Мельник Г.В.** Тенденции развития двигателестроения за рубежом. По материалам конгресса СИМАС // Двигателестроение. – 2012. – № 2 (248). – С. 39-53.

НАЦИОНАЛЬНАЯ ГАЗОМОТОРНАЯ АССОЦИАЦИЯ

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

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

Содружество двух предприятий

В конце декабря прошлого года в рамках технической конференции, в которой участвовали ОАО «КАМАЗ» и ОАО «Новолипецкий металлургический комбинат» (НЛМК), состоялась презентация сервисного центра ООО «РариТЭК». НЛМК – одна из крупнейших металлургических компаний в мире. Группа производит широкий спектр листового и сортового стального проката и поставляет свою продукцию более чем в 70 стран мира.



Презентация метановых автомобилей

Гости из НЛМК ознакомились с возможностями сервисного центра по техническому обслуживанию и эксплуатации автомобилей, работающих на природном газе. Им был показан модельный ряд газомоторных автомобилей

КАМАЗ и автобусов НЕФАЗ. В частности, продемонстрированы газомоторный вахтовый автобус НЕФАЗ-4208, седельный тягач КАМАЗ-65116-34 с криогенным баком для сжиженного природного газа, газомоторный автобус НЕФАЗ-5299

2004 г. выпуска, который находится на капитальном ремонте.

Тема экономичности, экологичности и безопасности стала основой презентации газового сервисного центра КАМАЗ.

Одно из приоритетных направлений деятельности компании, с которым смогла ознакомиться делегация металлургического гиганта, – производство каркасно-тентовых сооружений. Мобильный быстровозводимый сервисный центр (ангар), предназначенный для хранения и технического обслуживания автотехники, оборудован всеми необходимыми системами для комфортного функционирования – теплогенератором KROLL (Германия), вентиляцией, освещением и электрообеспечением, подъемными секционными воротами, системой отвода выхлопных газов и газовой мини-заправкой (Италия).

Гостей особенно привлекла стоимость возведения подобных сооружений. Ведь не секрет, что стоимость строительства утепленного ангара (будь то склад для готовой продукции и материалов или ангар для обслуживания автотехники), оснащенного всем необходимым оборудованием, значительно ниже аналогичных по назначению сооружений из бетона и сэндвич-панелей.

Совещание с участием представителей НЛМК и руководителей служб и подразделений КАМАЗа с обсуждением вопросов по взаимовыгодному сотрудничеству завершило работу технической конференции.

Развитие рынка газобаллонных автомобилей и газомоторного топлива

24 января на базе ООО «Газпром трансгаз Томск» состоялось совещание по вопросам развития рынка газомоторного топлива в Российской Федерации, которое провел председатель совета директоров ОАО «Газпром», председатель правления и генеральный директор ООО «Газпром газомоторное топливо» Виктор Зубков.

В совещании приняли участие заместитель губернатора Томской обл. Леонид Резников, депутат

Государственной Думы РФ Василий Толстопятов, руководители ООО «Газпром трансгаз Томск» и ООО «Газпром

газомоторное топливо», а также представители компаний ОАО «КАМАЗ», ООО «РариТЭК», ООО «Русские автобусы – группа ГАЗ», концерна «Тракторные заводы», ассоциации «Росагромаш».

В ходе совещания было отмечено, что необходимыми условиями развития рынка газомоторного топлива в России являются синхронизация действий региональных властей, производителей техники и инвесторов, а также разработка законодательной базы.

От ОАО «КАМАЗ» приняли участие заместитель генерального директора



Рафаэль Батыршин демонстрирует газовую автотехнику

предприятия по продажам и сервису Евгений Пронин и генеральный директор ООО «РариТЭК», которое является дистрибьютором продукции с газовыми двигателями, Рафаэль Батыршин.

Представитель ОАО «КАМАЗ» сделал доклад «Автомобили КАМАЗ, работающие на сжатом природном газе. Модельный ряд. Опыт эксплуатации».

В рамках совещания на открытой площадке демонстрировались газомоторные автомобили КАМАЗ и НЕФАЗ (Евро-4):

- тягач КАМАЗ-65116 на КПГ и СПГ;
- мусоровоз AEROSUNCMZL8580A на базе КАМАЗ-65115-30;
- мусоровоз МКЗ-44501 на базе КАМАЗ-65115-30;
- вакуумная машина КО-505АГ;

- самосвал КАМАЗ-65115-865-30 с задней разгрузкой;

- пригородный автобус НЕФАЗ-5299-11-31.

– Для динамичного развития рынка газомоторного топлива в России необходим федеральный закон, предусматривающий комплекс мер государственной поддержки, прежде всего – налоговые льготы для автопредприятий при переводе транспорта на газомоторное топливо, освобождение от платежей и пошлин, субсидирование закупок ГМТ на федеральном уровне, целевые региональные программы, – отметил Виктор Зубков. – Широкое применение этого вида топлива приведет к снижению себестоимости автомобильных перевозок и, следовательно, будет способствовать ускорению экономического развития отдельных регионов и России в целом.

Кроме того, оно позволит заметно улучшить экологическую ситуацию в стране, в том числе и здесь, в Сибири с ее уникальными природными ресурсами.

Газовые машины и заправки в Санкт-Петербурге

В преддверие Нового года в Санкт-Петербурге появилась первая многотопливная заправка, на которой, помимо привычного бензина и сжиженного углеводородного газа, можно будет заправиться и компримированным природным газом – метаном.



Алексей Миллер и Георгий Полтавченко на открытии новой заправки

Церемония открытия первого многотопливного автозаправочного комплекса в России состоялась с участием председателя правления ОАО «Газпром» Алексея Миллера и губернатора Санкт-Петербурга Георгия Полтавченко.

В выступлении А. Миллера было отмечено, что в течение 2013 г. на месте бывших АЗС и АГНКС в Сестрорецке, Тосно и Тихвине будут открыты подобные заправки. Кроме того, в перспективе появятся еще шесть таких станций на трассе между Санкт-Петербургом и Москвой.

В ответной речи губернатор Санкт-Петербурга пообещал рассмотреть возможность перевода городского общественного транспорта на газомоторное топливо, подчеркнув важность этого шага на пути повышения чистоты воздуха в Петербурге.



На новой многопливной заправке

После этого события ОАО «КАМАЗ» и городские предприятия ГУП «Водоканал Санкт-Петербург» и СПб ГУДП «Центр» провели ряд совещаний, на которых приняли решение о передаче в тестовую эксплуатацию газомоторной техники КАМАЗ.

Техническое сопровождение данных газовых машин обеспечит

компания «РариТЭК». Эксплуатирующие компании направят в г. Набережные Челны водителей для прохождения обучения по курсу «Особенности устройства, эксплуатации, технического обслуживания, диагностики и текущего ремонта автомобильной техники КАМАЗ, работающей на компримированном природном газе – метан».

По заверениям экспертов, в выхлопных газах автомобиля, работающего на КПГ, вредных веществ содержится в 5 раз меньше, чем на привычном бензиновом. В связи с ростом цен на горючее автомобилей прельщает и тот факт, что значительно сократятся затраты по статье ГСМ.



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

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

РЕКЛАМА

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



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

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

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

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

Термоакустический ожижитель природного газа для заправки речных судов

В.И. Карагузов, профессор Омского ГТУ, д.т.н.,

В.Л. Юша, профессор Омского ГТУ, д.т.н.,

И.В. Карагузов, магистрант Омского ГТУ

Современное состояние развития термоакустических систем позволяет применять их для создания теплоиспользующих термоакустических ожижителей природного газа, практически не требующих использования электроэнергии. Невысокая стоимость, длительный ресурс работы, высокая надежность, малые габариты, простая эксплуатация позволяют размещать их в условиях малонаселенных регионов по берегам российских рек.

Ключевые слова: ожижитель природного газа, термоакустическая система, транспорт, природный газ.

Как указывалось в [1], на речном транспорте проблема использования природного газа вызывает целый ряд проблем, связанных с перемещением судов по российским рекам в малонаселенных регионах. Даже в богатой природным газом Сибири для заправки этим топливом речных судов необходимо пройти зачастую тысячи километров.

В таких условиях преимущества сжиженного природного газа (СПГ) перед компримированным (КПГ), помимо прочих, определяются

важным условием – наличием заправок СПГ в портах или на пристанях. В настоящее время КПГ низкого или высокого давления доступен во многих речных портах, на пристанях или в близлежащих населенных пунктах. С другой стороны, сжижение природного газа в таких условиях представляет собой достаточно сложные техническую, экономическую и логистическую задачи.

Выпускаемые промышленностью ожижители природного газа, как правило, рассчитаны на заправку судов для перевозки СПГ на

значительные расстояния и имеют большую производительность, соответственно высокую стоимость, занимают значительную площадь и потребляют много электроэнергии.

Хранение СПГ в емкостях на пристанях и в портах на неинтенсивных речных маршрутах оказывается дорогим из-за больших потерь на испарение и затрат на доставку СПГ от крупных ожижителей. С другой стороны, размещение в речных портах крупных ожижителей природного газа нерентабельно из-за больших капитальных затрат,



Рис. 1. Структурная схема термоакустического ожижителя природного газа

длительных простоев оборудования, необходимости регулярного технического обслуживания, частого захлаживания и отогрева больших масс оборудования. Применение сравнительно недорогих дроссельных ожижителей в таких условиях невозможно из-за низкого процента ожижения (до 4 %).

Наиболее целесообразно для заправки судов использовать конденсационные ожижители, которые могут сжижать до 100 % природного газа. В настоящее время существуют только опытные образцы таких ожижителей на базе газовых криогенных машин Стирлинга. Они значительно дороже дроссельных, но главные их недостатки – малый ресурс работы (несколько тысяч часов) и необходимость периодического квалифицированного обслуживания.

В последние годы разработаны термоакустические ожижители (рис. 1) природного газа [2], принцип действия которых основан на преобразовании тепловой энергии сжигаемого природного газа в акустическую, а затем преобразовании акустической энергии в производство холода [1] при температуре конденсации природного газа 112...114 К (-159...-161 °С).

На таком принципе может быть построен малогабаритный ожижитель природного газа достаточно простой по конструкции с длительным ресурсом работы (несколько сотен тысяч часов, так как в нем отсутствуют подвижные детали и узлы), не требующий квалифицированного технического обслуживания. Габариты и стоимость такого ожижителя могут быть минимальны и зависят от необходимой производительности. Важное достоинство термоакустических ожижителей – отсутствие потребления электроэнергии (электричество нужно только для контрольно-измерительных приборов и автоматики),

что значительно снижает эксплуатационные расходы. Возможны даже такие случаи, когда достаточно крупные суда могут иметь на борту термоакустический ожижитель и заправляться от любого берегового источника природного газа для получения СПГ.

Газообразный природный газ поступает от береговых коммуникаций в систему регулирования расхода и подачи газа и далее в систему очистки и осушки (рис. 2). В системе дросселирования его давление снижается до атмосферного и при этом газ частично сжижается (до 2...4 %). Часть природного газа из системы очистки и осушки подается на форсунки камеры сгорания термоакустического ожижителя, затем СПГ через систему заправки подается на судно. Система охлаждения служит для отвода теплоты от термоакустического ожижителя в окружающую среду.

По линии подачи природного газа 1 через запорно-регулирующий

вентиль 2 природный газ поступает в картридж очистки и осушки 3, после которого делится на два потока. Меньшая часть через форсунки 6 поступает в камеру сгорания 8, а большая дросселируется на вентиле 5 и в виде двухфазной среды поступает на сжижение в термоакустический ожижитель 11. СПГ поступает в накопительную емкость 13 и через вентиль подачи 14 по линии подачи 15 поступает к потребителю. В системе очистки и осушки могут быть использованы регенерируемые или одноразовые картриджи.

Поскольку в таких ожижителях холод вырабатывается за счет сжигания природного газа, то существенное значение имеет эксергетический КПД термоакустического ожижителя, так как он определяет процентное отношение сжигаемого газа к сжиженному (рис. 3). Эксергетический КПД лучших опытных образцов таких ожижителей составляет 0,9...0,97 [2].

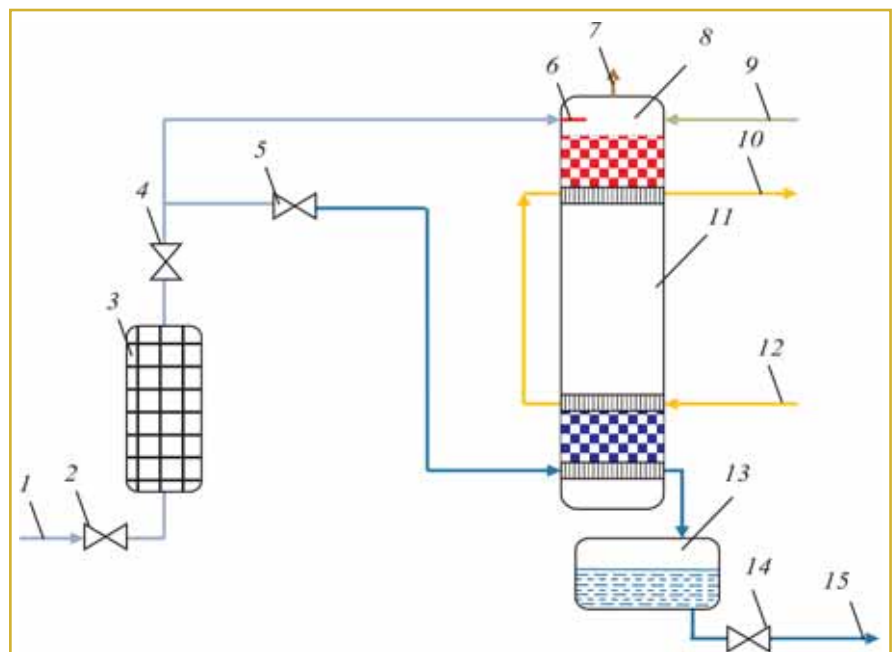
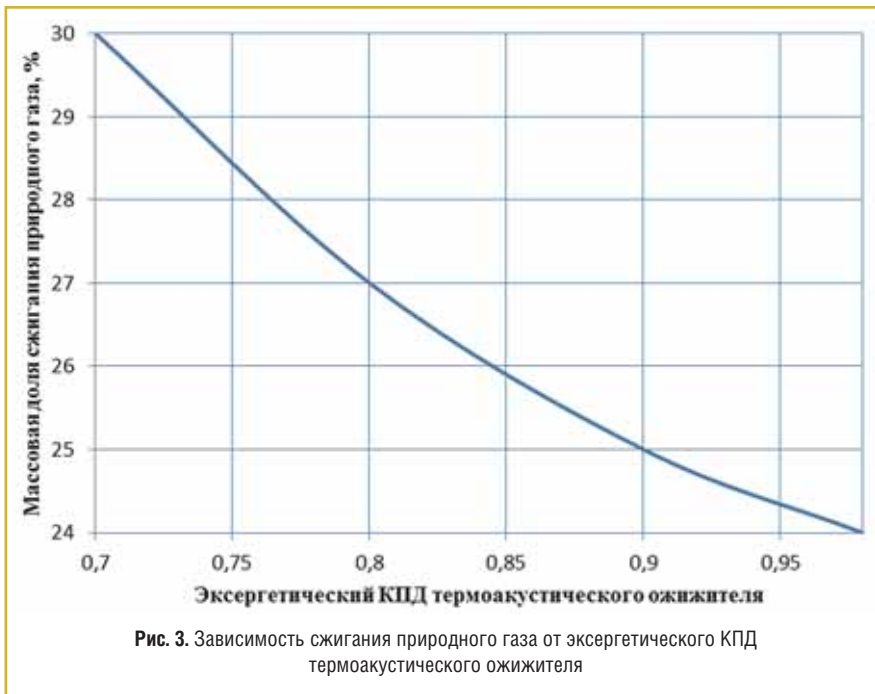


Рис. 2. Пневмогидравлическая схема термоакустического ожижителя природного газа:
 1 – линия подачи природного газа; 2 – запорно-регулирующий вентиль подачи природного газа; 3 – картридж очистки и осушки; 4 – технологический вентиль; 5 – дроссельный вентиль; 6 – форсунки; 7 – отвод продуктов сгорания в окружающую среду; 8 – камера сгорания; 9 – подвод воздуха; 10 – сброс охлаждающей воды; 11 – термоакустический ожижитель; 12 – подвод охлаждающей воды; 13 – накопительная емкость для СПГ; 14 – вентиль подачи СПГ; 15 – линия подачи СПГ



Использование термоакустического эффекта позволяет перейти к экологически чистым технологиям сжижения природного газа и уменьшить воздействие на окружающую среду за счет снижения расхода электроэнергии, применения экологически чистых хладагентов, а также снизить стоимость, повысить ресурс, надежность и доступность ожигателей природного газа, улучшить их потребительские свойства. Тем не менее, использование акустических волн большой мощности при ошибках в проектировании и эксплуатации оборудования может привести к неблагоприятному воздействию на обслуживающий персонал.

Частота и интенсивность акустической волны внутри термоакустического ожигателя зависят от конструктивных и режимных параметров. При проектировании можно принять меры по уменьшению уровня шума вне термоакустического ожигателя (чем меньше шум снаружи, тем выше КПД ожигателя) за счет геометрических размеров агрегатов и звукоизоляции. Однако в процессе эксплуатации при регулировании расхода частота и амплитуда звуковой волны могут изменяться, что приведет к увеличению шума вблизи термоакустического ожигателя.

Говоря о возможном воздействии шума на персонал, следует обратить внимание на три основных фактора: частоту акустической волны; интенсивность звука вблизи термоакустического ожигателя; изменение частоты звука.

Частота акустической волны внутри термоакустического ожигателя может изменяться от 30 до 1000 Гц. В таком большом диапазоне частот звуковые волны имеют различную проникающую способность. Этот фактор следует учитывать при проектировании системы изоляции шумов. Ошибки при проектировании могут привести к тому, что геометрические размеры термоакустического ожигателя не будут соответствовать режимам эксплуатации. Кроме того, изоляция шумов в одних режимах работы может работать корректно, а в других не работать вовсе.

Интенсивность звуковой волны внутри установки может достигать 160 дБ. Недоработки при проектировании таких установок могут привести к возникновению шумов высокой интенсивности при переходных и штатных режимах работы. Такие шумы также вредны для обслуживающего персонала.

Следует отметить, что близкое размещение нескольких аналогичных по параметрам термоакустических ожигателей природного газа при идентичных режимах работы способно привести к возникновению резонанса между ожигателями и нарушению режимов эксплуатации. При работе нескольких ожигателей с разницей в частоте от 1 до 100 Гц персонал, находящийся между ними, может подвергаться негативному воздействию бинауральных биений.

Применение термоакустических ожигателей природного газа позволит использовать СПГ для заправки речных судов в районах с неразвитой инфраструктурой. Их применение технически и экономически выгодно. Такие ожигатели имеют длительный ресурс работы и в эксплуатации не требуют квалифицированного обслуживания. Тем не менее, следует учитывать взаимовлияние подобных установок, а также воздействие на обслуживающий персонал. Поэтому рекомендуется установка одного термоакустического ожигателя природного газа с большей производительностью вместо нескольких меньших.

Литература

1. **Кагауцов В.И.** Реконденсация паров СПГ на речном транспорте // Транспорт на альтернативном топливе. – 2013. – № 1 (31). – С. 11-12.
2. **Swift G.W.** Thermoacoustics for liquefaction on natural gas // Gas TIPS. – 2002. – P. 21-26.
3. **Oster G.** Auditory beats in the brain // Scientific American. – 1973. – № 229. – P. 94-102.

Подготовка специалистов и преподавателей для газомоторного комплекса страны

А.В. Николаенко,

ректор Московского государственного машиностроительного университета (МАМИ), д.э.н.,

В.И. Ерохов,

профессор Московского государственного машиностроительного университета (МАМИ), д.т.н.

Изложены методологические особенности, приведены учебные планы и программы подготовки специалистов и преподавателей для газового моторного комплекса страны. Представлены результаты их подготовки. Сформулирована концепция эффективности применения альтернативных топлив. Разработаны предложения по совершенствованию эффективности функционирования газомоторного комплекса.

Ключевые слова: газомоторный комплекс, сжиженный углеводородный газ, специалисты комплекса, газобаллонный автомобиль, учебный процесс, методология обучения, сертификация газомоторного комплекса, эффективность системы обучения.

В стране осуществляется планомерная комплексная работа по созданию рациональной структуры парка газобаллонных автомобилей и автобусов. Наиболее эффективно решение данной проблемы может быть достигнуто путем замены нефтяного топлива альтернативным – сжиженным углеводородным (СУГ) или компримированным природным (КПГ) газом, которые являются полноценным моторным топливом.

Московский государственный машиностроительный университет (МАМИ) – ведущее высшее учебное заведение – располагает лицензией в области подготовки специалистов для газомоторного комплекса, имеет необходимую учебно-методическую и лабораторно-производственную базы (переоборудование базовых автомобилей в газобаллонные), нормативно-техническую и учебную литературу и укомплектован высокопрофессиональными специалистами. Основываясь на многолетнем опыте подготовки отечественных и зарубежных специалистов в данной области, университет постоянно совершенствует учебные планы и программы обучения, уделяя особое внимание практическим вопросам функционирования

автокомплекса. Система подготовки специалистов и преподавателей для газомоторного комплекса признана ведущими учебными центрами соответствующей мировому уровню.

Обеспечение автотранспорта (АТ) эффективными и стабильными энергоносителями представляет собой одну из важнейших задач национальной экономики. Применение альтернативных видов топлива (АВТ) обеспечивает расширение номенклатуры традиционных топливно-энергетических ресурсов для автомобильного транспорта и получение высоких экологических и топливно-экономических показателей автомобильных двигателей [1].

Газовое топливо из альтернативного превратилось в самостоятельный полноценный вид моторного топлива. Ежегодно используется 6,5 млн т СУГ, что составляет 5-6 % общего потребления газового топлива автотранспортом. Эффективность применения газового топлива обусловлена следующим соотношением: 1 т СУГ эквивалентна 1,017 т бензина.

Применение газа в качестве моторного топлива обеспечивает получение высоких экологических и топливно-энергетических показателей автомобильных двигателей. Во многих

странах разработаны и реализуются национальные программы по рациональному и экономному расходованию нефтяных ресурсов, а также программы применения АВТ. Ведущее место в этих программах занимает газовое топливо – сжиженный углеводородный и компримированный природный газ.

Россия – единственное в мире индустриальное государство, полностью базирующее свою экономику на собственных топливно-энергетических ресурсах (рис. 1). Проблема их эффективного использования приобретает исключительную актуальность. Развитие топливно-энергетического комплекса РФ в течение длительного периода определялось соотношением потребления угля (кривая 2) и нефти (кривая 1). Начиная с 1940 г. активную роль в ТЭК получает газовое топливо (кривая 3). Важное место занимают ядерная энергетика (кривая 4) и гидроэнергетика (кривая 5). Альтернативная энергетика (солнечная, ветровая, приливы и отливы) получит широкое развитие в ближайшем будущем (кривая 6).

Наиболее перспективным энергоносителем в нашей стране на ближайшие десятилетия остается ПГ,

способный эффективно заменить нефть и уголь на электростанциях, а также светлые нефтепродукты в транспортных двигателях и энергетических установках. ПГ – это наиболее экономичное топливо из числа применяемых альтернативных заменителей на автомобильном транспорте, и в ближайшее время оно из альтернативного превратится в основное моторное топливо.

Газобаллонные автомобили имеют ряд существенных отличий от бензиновых в конструктивном отношении и способах организации их эксплуатации. Правильная эксплуатация автомобильной газовой аппаратуры гарантирует потребителю получение заданных технико-эксплуатационных свойств газобаллонного автомобиля (ГБА).

Мировой автомобильный парк насчитывает свыше 800 млн, из которых 15 млн работают на КПГ. В России

86 тыс. автомобилей, использующих КПГ. По данным ОАО «Газпром», в 2012 г. через российские автомобильные газонаполнительные компрессорные станции (АГНКС) было реализовано 361,1 млн м³ КПГ. На сегодняшний день в РФ действует 243 АГНКС.

Заслуживает особого внимания опыт применения ПГ в качестве моторного топлива в Германии, являющейся лидером в этой области с начала XIX в. В стране эксплуатируется свыше 900 АГНКС. Парк автомобилей, работающих на газе, составляет 1 %, а в перспективе достигнет 4 %.

Эффективность КПГ определяется содержанием метана, изменяющегося в пределах 65...99 %, что оказывает существенное влияние на эксплуатационные качества ГБА, нормирование расхода газа, экологические и социально-экономические показатели

транспортных средств. Высокое содержание метана обеспечивает больший выход энергии. В зависимости от состава смеси предлагаются две категории качества ПГ: природный газ марки «High» и «Low». Содержание метана в ПГ категории «High» составляет 87...99 %, а категории «Low» – 80...87 %.

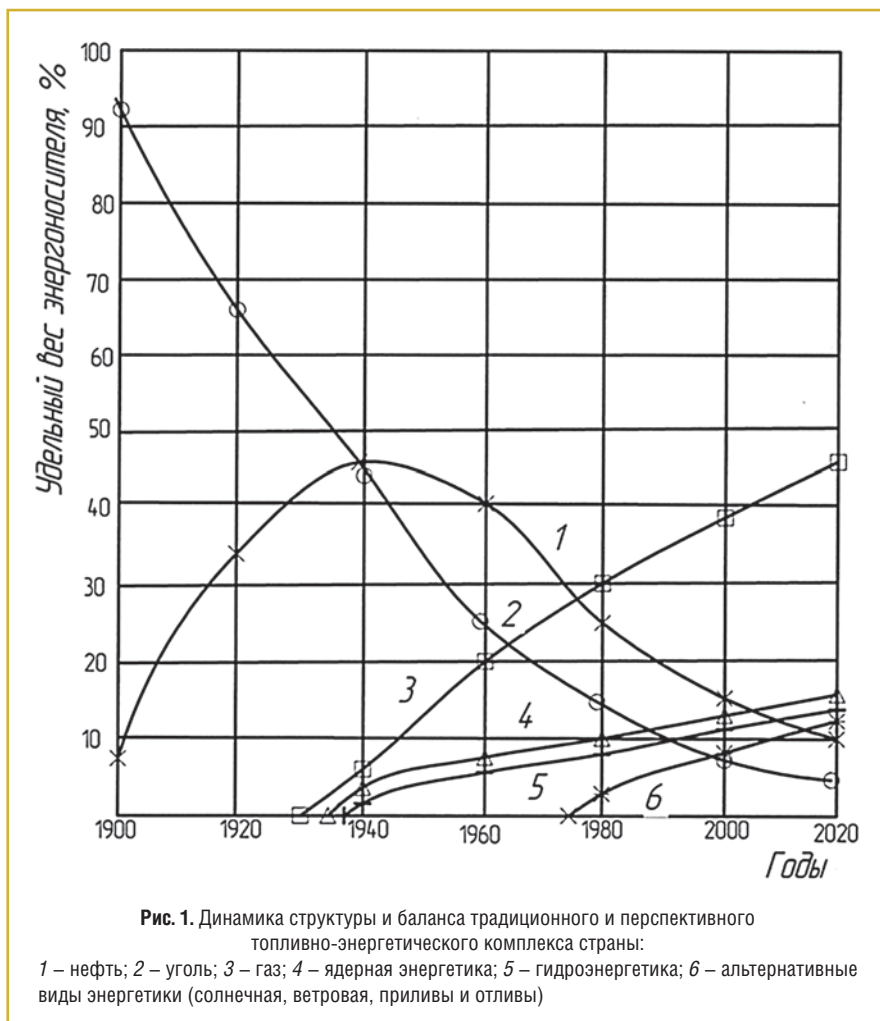
ПГ не имеет запаха, и для обнаружения утечек его смешивают со специальными добавками, имеющими характерный запах. Современная газобаллонная установка транспортного двигателя для работы на КПГ оснащена комплексом необходимого специального оборудования и функциональных приборов, позволяющих определить и предотвратить возможные утечки.

В нашем университете на факультете подготовки и повышения квалификации руководящих работников газомоторного комплекса создано два учебно-методических центра «Газобаллонные автомобили» и «Автомобильные газонаполнительные и компрессорные станции», осуществляющих подготовку специалистов и преподавателей для автотранспортного комплекса в области конструирования, компьютерной диагностики и эксплуатации ГБА, АГЗС и АГНКС. Для предприятий автосервиса готовят специалистов по направлению «Диагностика и ремонт систем питания и зажигания отечественных и зарубежных автомобилей».

Подготовка специалистов для газомоторного комплекса предусмотрена регламентом системы сертификации ГОСТ Р. Предложенная схема признана зарубежными центрами, в том числе Volkswagen Group Academy и ООО «МАН Трак энд Бас РУС».

В мировой практике производство ГБА на автомобильных заводах является ведущей концепцией современной автомобилизации. Важным направлением остается и переоборудование эксплуатируемых базовых автомобилей в газобаллонные.

Система впрыска газового топлива фирмы Volkswagen, являющейся



лидером в производстве электронных систем подачи газового топлива, удовлетворяет современным топливно-энергетическим и экологическим требованиям. Привлечение к выпуску газовой аппаратуры предприятий, использующих передовые технологии, позволяет повысить технический уровень газовой аппаратуры, безопасность эксплуатации ГБА и улучшить их экологические показатели.

В соответствии с двусторонним договором между Машиностроительным университетом (МАМИ) и Volkswagen Group Academy в 2012 г. проведено обучение целевых групп, состоящих из шеф-тренеров и сервис-специалистов фирмы. Актуальность обучения специалистов обусловлена тем, что в ближайшее время отечественный рынок будет существенно пополнен газобаллонными автомобилями фирмы Volkswagen, включая 4,5 тыс. ГБА для обслуживания зимней Олимпиады-2014 в Сочи.

Целью данного обучения стала подготовка специалистов фирмы Volkswagen Group Academy в области конструирования, эксплуатации, переоборудования, компьютерной диагностики и технического обслуживания ГБА для их адаптации к российским условиям и успешной эксплуатации.

Согласно регламенту обучения был прочитан теоретический курс, проведены практические занятия, включая диагностирование электронных систем, тестирование и экзамен по основным материалам курсов. По окончании курсов слушателям вручены дипломы установленного образца.

Фирма Volkswagen Group Academy представила газобаллонные автомобили Caddy и Touran промышленного производства и программное обеспечение, учебно-методические материалы Servise Training EcoFuel Touran и EcoFuel Caddy, используемые фирмой при обучении специалистов [2].

Аттестованные специалисты получили право проводить обучение технического персонала в подразделениях фирмы Volkswagen Group Academy.

Методика обучения слушателей позволяет решать практические задачи при подготовке немецких специалистов для российского рынка.

В ближайшее время отечественный автотранспортный рынок будет существенно пополнен газобаллонными автобусами ЛиАЗ-529271 нового поколения, оснащенными однотопливными газовыми двигателями фирмы MAN и работающими только на природном газе. В соответствии с договором Московского государственного машиностроительного университета (МАМИ) и ООО «МАН Трак Энд Бас РУС» в 2012 г. проведено обучение целевой группы специалистов этой компании, которые будут обслуживать газобаллонные автобусы в российских условиях.

Специалистами ООО «МАН Трак Энд Бас РУС», участвующими в подготовке, были сделаны доклады о законодательстве в области обслуживания и ремонта транспортных средств в Германии, о предприятии «ЛиАЗ» и путях эффективной адаптации газобаллонного автобуса ЛиАЗ-529271 на российском рынке.

Для слушателей была разработана программа тренинга и подготовлен раздаточный материал с учетом особенностей газобаллонных автобусов нового поколения.

В процессе обучения были предложены основополагающие темы по эксплуатационным показателям, особенностям работы и основам эксплуатации газобаллонных легковых автомобилей и автобусов, физико-химическим и моторным свойствам газового топлива и безопасности технологических процессов. Практическая работа со слушателями по вопросам рациональной эксплуатации и ремонта автобусов ЛиАЗ была проведена в 11-м автобусном парке ГУП «Мосгортранс» г. Москвы.

Подготовка специалистов

Для удовлетворения потребностей национальной экономики в высококвалифицированных кадрах в

Машиностроительном университете (МАМИ) созданы и действуют курсы по подготовке как специалистов широкого профиля (конструирование, эксплуатация, переоборудование, компьютерное диагностирование и техническое обслуживание), так и со специализацией по отдельным дисциплинам (конструирование, методы расчета, диагностирование и приспособленность газовой аппаратуры к регулировочным и техническим воздействиям).

Целесообразность подобной деятельности обусловлена сложившейся структурой автомобильной промышленности. Поступление газобаллонных автомобилей в эксплуатацию осуществляется двумя путями – созданием новых и переоборудованием имеющихся автомобилей, которое сопровождается изменением ряда параметров базового автомобиля в силу специфики нового энергоносителя (СУГ, КПП, бинарное топливо). Знание комплекса специфических вопросов и особенностей газовой аппаратуры позволяет на стадии ее конструирования управлять выходными параметрами ГБА.

Инициативная многоплановая работа сотрудников учебно-методического центра «Газобаллонные автомобили» и научно-исследовательской лаборатории «Альтернативные виды топлива» позволила превратить Машиностроительный университет (МАМИ) в ведущее учебное заведение России в области подготовки специалистов по газобаллонным автомобилям и автогазозаправочному комплексу. В МГТУ (МАМИ) впервые в России в системе сертификации ГБА была создана лаборатория по сертификации газовой аппаратуры («САГА»), функции и права которой в настоящее время переданы Центру по сертификации газовой аппаратуры (г. Рязань).

Учебный процесс осуществляется в соответствии с разработанной Программой курсов и учебным планом по подготовке специалистов в области конструирования, эксплуатации,



Рис. 2. Общий стенд для контроля, регулировки и диагностики элементов систем топливоподачи и воспламенения газового ДВС с искровым зажиганием

установки, функционально выполненные как отдельные блоки, и приводы исполнительных механизмов, работающие независимо друг от друга, но связанные единой системой управления. Система управления стендом совместно с программным обеспечением и управляемой ЭВМ позволяет использовать его блоки и устройства как отдельно функционирующие, так и работающие совместно в зависимости от выбранной подпрограммы диагностики.

Для современной газовой аппаратуры характерно применение различных электронных устройств и систем, обеспечивающих автоматизированное управление процессами топливоподачи и воспламенения горючей смеси. При подготовке специалистов особое внимание уделяется изучению контрольно-измерительного и диагностического оборудования и приборов (рис. 3).

В зависимости от профиля предприятия, направившего специалиста для повышения квалификации, или пожелания слушателя преподавателям предоставляется право в объеме, предусмотримом программой, изменять количественную сторону информации применительно к целевой установке обучения специалиста.

Для обучения практическим приемам переоборудования каждому обучающемуся отводится в среднем по два часа вне сети учебного плана. Форма проведения занятий – аудиторная. Продолжительность теоретических

диагностики, переоборудования и технического обслуживания газобаллонных автомобилей, работающих на СУГ и КПП.

Теоретические занятия предусматривают изучение конструктивных особенностей ГБА, принципов работы функциональных элементов и топливоподающей аппаратуры в целом, методов ее проектирования и испытаний, правил технической эксплуатации и переоборудования, а также основ техники безопасности при использовании газового топлива на автомобильном транспорте.

Практические занятия проводятся в специально оборудованном классе с использованием компьютерных систем обучения, лабораторных и производственных стендов, а также непосредственно на газобаллонных автомобилях.

Стенд (рис. 2) для диагностики отдельных узлов газобаллонной аппаратуры, работающей на СУГ или КПП,

состоит из следующих элементов: датчиков системы управления ДВС с впрыском топлива; газовых форсунок; бензинового клапана; газового клапана; газового редуктора-испарителя; расходомера воздуха; датчиков детонации, положения дроссельной заслонки, температуры охлаждающей жидкости, положения КВ и регулятора ХХ.

Диагностическое оборудование стенда включает специализированные



Рис. 3. Моторный стенд (а) для контрольно-регулирующих работ на ГБА и схема (б) размещения газовой аппаратуры на стенде

занятий составляет 45 мин, практических – 50 мин. Время проведения занятий, порядок назначения и широта охвата контингента специалистов при прохождении курса обучения и выделение необходимых ресурсов определяются руководством университета в зависимости от конкретных условий работы. Программа включает 72 учебных часа, из них 60 ч – теоретические занятия и 12 ч – практические занятия (табл. 1).

После завершения полного курса обучения каждый специалист сдает экзамен, подтверждающий уровень полученной квалификации, и получает удостоверение государственного образца.

В течение 2000-2012 гг. Учебным центром «Газобаллонные автомобили» подготовлено 350 российских специалистов отрасли, являющихся кадровым обеспечением предприятий по переводу автомобилей на газовое топливо. Подготовленные и аттестованные специалисты осуществляют комплекс работ на предприятиях по выдаче сертификата соответствия на транспортное средство.

В перечень услуг, на которые выдают клиенту сертификат соответствия, входят: контрольно-диагностические работы; регламентные работы по системе питания ГБА; ремонт топливной аппаратуры ГБА; переоборудование автомобилей для работы на СУГ или КПГ; проверка герметичности и опресовка газовой аппаратуры ГБА.

В ближайшие годы прогнозируется увеличение парка автомобилей и автобусов заводского изготовления на газомоторном топливе. Для их эффективной эксплуатации необходимо создавать сервисные центры. Важной задачей остается подготовка высококвалифицированных специалистов для газомоторного рынка страны.

В качестве примера рассмотрим конкретные фрагменты методики подготовки специалистов.

Правительство Москвы утвердило программу конвертирования автобусов «Икарус» с дизельного топлива на

КПГ, которая будет осуществляться на производственно-технической базе завода «СВАРЗ» (г. Москва) и предусматривает замену дизеля на двигатель с искровым зажиганием. Будет переоборудоваться 50 «Икарусов» в год.

Стоимость конвертирования одного автобуса составляет около 1 млн руб. На первом этапе дизели демонтировали и отправляли на завод-изготовитель в Венгрию. Машиностроительный университет (МАМИ) разработал адаптивные учебные планы и программы для обучения специалистов завода «СВАРЗ», которые будут заниматься переоборудованием автобусов «Икарус» на КПГ. Работа получила высокую оценку со стороны руководства завода.

Для специалистов ООО «ТехГаз» (г. Нижневартовск) использована двухуровневая система обучения, первым

этапом которой стало дистанционное обучение. Слушателям отправлены программы, задания, тесты и т.д.

На втором этапе прочитан цикл лекций по курсу «Конструирование, эксплуатация, компьютерная диагностика, переоборудование и техническое обслуживание газобаллонных автомобилей и автобусов при работе на СУГ и КПГ».

В Китайской Народной Республике в Пекинском (г. Пекин) и Уханьском (г. Ухань) университетах по согласованным программам прочитан цикл лекций и проведены занятия по подготовке специалистов на методически подготовленной базе университетов (рис. 4).

За прошедший период учебный центр МАМИ подготовил свыше 1 тыс. слушателей из различных регионов России, стран СНГ и дальнего зарубежья.

Таблица 1

Темы, изучаемые в процессе подготовки специалистов

Тематика	Продолжительность занятий, ч	
	общая	в том числе практика
Технико-эксплуатационные показатели газобаллонных автомобилей	4	–
Физико-химические и моторные свойства газов, применяемых на автомобильном транспорте в качестве топлива для газобаллонных автомобилей	4	–
Конструктивные особенности газобаллонных автомобилей	10	2
Электронные системы питания бензиновых и газовых двигателей	4	2
Работа топливной аппаратуры газобаллонных автомобилей	8	–
Современные методы расчета и испытаний газовой аппаратуры	8	–
Средства заправки автомобилей СУГ и СПГ	6	–
Переоборудование карбюраторных автомобилей и автомобилей с электронным впрыском в газобаллонные для работы на СУГ и КПГ: технология подключения газового оборудования в газовую магистраль и электросеть; настройка выбросов CO, CH газовой и бензиновой магистралей на требования ГОСТ	8	4
Организация эксплуатации технического обслуживания, компьютерного диагностирования и ремонта ГБА	8	2
Характерные неисправности газовой аппаратуры и способы их устранения в условиях эксплуатации	8	2
Требования безопасности при эксплуатации газобаллонных автомобилей	4	–
Всего	72	12

Подготовка преподавателей по ГБА

Таблица 2

Темы, изучаемые в процессе подготовки преподавателя по курсу ГБА

Тематика	Продолжительность занятий, ч	
	общая	в том числе практика
Конструирование, эксплуатация, переоборудование, компьютерная диагностика и техническое обслуживание газобаллонных автомобилей	72	12
Методологические особенности построения курса «Конструирование, эксплуатация, переоборудование, компьютерная диагностика и техническое обслуживание газобаллонных автомобилей» (КЭПТО ГБА)	4	1
Особенности конструкции, эксплуатации, переоборудования, технического обслуживания газобаллонных автомобилей	4	1
Методы организации и проведения лекционных (теоретических) занятий по курсу КЭПТО ГБА	4	1
Современные технические средства обучения, применяемые в учебном процессе курса КЭПТО ГБА	4	1
Методы организации и проведения практических занятий по курсу КЭПТО ГБА	4	1
Система сертификации автомобильной газобаллонной аппаратуры	4	1
Методы контроля уровня знаний, полученных слушателями, по теоретическому содержанию курса и практическим навыкам проведения работ по газобаллонным автомобилям	4	1
Методика преподавания курса КЭПТО ГБА	4	1
Методика подготовки по курсу КЭПТО ГБА	4	1
Всего	108	21

Основополагающие критерии отбора слушателей для подготовки преподавательского состава базируются на ряде требований. Преподаватель должен обладать необходимым уровнем знаний в данной области и компетентностью для выполнения своих функций, иметь высшее профессиональное образование, подтвержденное документом государственного образца. Он должен иметь стаж практической работы, в частности, в области ГБА, по одному из видов деятельности: разработке, производству, испытанию, приемке, внедрению, эксплуатации, выполнению работ, оказанию услуг, государственному контролю и надзору, преподавательской, консультационной деятельности.

В настоящее время преподавателей для краткосрочных курсов, которые повсеместно организуются в регионах на предприятиях газомоторного комплекса, недостаточно. Программа для подготовки преподавателей в области конструирования, эксплуатации, переоборудования и технического обслуживания газобаллонных автомобилей, работающих на СУГ и КПП, предусматривает теоретические и практические занятия. В нее

включены вопросы изучения методологических особенностей построения курса, методов организации и проведения лекционных занятий, а также современных технических средств

обучения, применяемых в учебном процессе.

Преподаватель должен иметь широкий кругозор, быть выдержанным, обладать логическим мышлением, аналитическим складом ума, твердостью воли и способностью реально оценивать ситуацию, понимать сложные процессы с учетом перспективы их развития, владеть правилами делового этикета. Он должен ясно и свободно выражать свои мысли письменно и устно.

Предварительное тестирование кандидатов на обучение позволяет правильно составлять и уточнять программы обучения (табл. 2).

Программа должна содержать обязательный минимум наглядных пособий, аудио- и видеоматериалов, которые необходимо продемонстрировать на занятиях. Продолжительность проведения занятий, порядок



Рис. 4. Занятие в учебном центре Уханьского технического университета ведет представитель Машиностроительного университета (МАМИ)

назначения, широта охвата контингента преподавателей при прохождении курса обучения и выделение необходимых ресурсов определяются руководством в зависимости от конкретных условий работы.

После завершения полного курса обучения каждый специалист должен сдать экзамен, подтверждающий уровень полученной квалификации преподавателя. По результатам экзамена слушатели получают диплом соответствующего образца, являющийся в дальнейшем основанием для ведения преподавательской деятельности.

Подготовка специалистов для АГЗК и АГНКС

Автогазозаправочный комплекс страны представляет собой новую отрасль, имеющую свою специфику, которая нуждается в высококвалифицированных специалистах по монтажу, наладке, обслуживанию, эксплуатации современных АГЗС и АГНКС, а также по установке, отладке, сервисному обслуживанию ГБА. Упомянутые объекты относятся к особо опасным, допуск специалистов к их обслуживанию разрешен только при специальном обучении с учетом требований безопасности, углубленном знании работы оборудования и его конструктивных особенностей.

По расчетам института «МосгазНИИпроект» и сведениям из регионов, к 2015 г. будет построено еще 1700 АГЗС, а по программе ОАО «Газпром» будет дополнительно построено 40 АГНКС.

В вузах нашей страны готовят не большое число выпускников кафедр теплогазоснабжения для нефтяной и газовой промышленности. При этом они не в полной мере знакомы с газобаллонным оборудованием и особенностями его эксплуатации.

Учебный центр «Газобаллонные автомобили» МГТУ (МАМИ) осуществляет целенаправленную подготовку специалистов и преподавателей для

газомоторного комплекса по вопросам эксплуатации АГЗС и АГНКС. В методологическом плане подготовка специалистов и преподавателей для этой отрасли идентична.

С учетом современной системной методологии Центром разработана Программа изучения альтернативных видов топлива с включением исходных сведений для построения системы газомоторного комплекса. Программа включает ряд основополагающих разделов:

- гипотезу – научное обоснование, допущения и ограничения, актуальность проблемы, цель и задачи программы;
- сценарии (оптимистический, пессимистический и рациональный) – программные мероприятия, ресурсное обеспечение программы, механизмы ее реализации;
- способы осуществления программы и оценка социально-экономических и экологических последствий.

Для слушателей важно понимание принципов и методов построения программы. В методологическом плане она представлена деревом целей, вершиной которого является кадровое обеспечение газозаправочного комплекса. Будущим специалистам для газомоторного комплекса необходимы теоретические знания по технологии и свойствам применяемых газов. Подобные знания можно получить при длительном и углубленном обучении.

На данном этапе развития газомоторного комплекса целесообразно сформировать требования к системе образования для подготовки специалистов по направлению «Проектирование, строительство, эксплуатация объектов газозаправочного комплекса». Выпускник, получивший эту специальность, должен уметь проектировать объекты газозаправочного комплекса (общестроительная и технологическая части), эксплуатировать объекты, проводить ремонтные работы, знать нормы и правила хозяйствования.

Одновременно с этим целесообразно готовить специалистов по направлению «Проектирование, строительство, эксплуатация объектов сервисного обслуживания газобаллонных автотранспортных средств». Выпускник, получивший эту специальность, должен уметь проектировать все объекты газозаправочного комплекса, хорошо знать все его составляющие, в том числе специфику сервисных центров для монтажа ГБО, его обслуживания, наладки с помощью компьютерных программ. Он должен понимать современные технологии различных систем ГБО, хорошо знать компьютерные программы, уметь программировать и перепрограммировать.

Программа обучения указанных специалистов предусматривает практические занятия на действующих объектах газозаправочного комплекса в хорошо оборудованных производственных лабораториях, а также в лабораториях научно-исследовательских институтов и проектных организаций.

В дальнейшем целесообразно рассмотреть вопрос подготовки кадров массовых профессий для автозаправочного комплекса.

В ближайшее время в России будет принят закон об альтернативных видах топлива. Для его реализации Машиностроительный университет (МАМИ) создал научно-практический задел для решения научных, методических и практических задач на автомобильном транспорте.

Литература

1. **Ерохов В.И.** Газобаллонные автомобили (конструкция, расчет, диагностика). – М: Горячая линия–Телеком, 2012. – 598 с.
2. Система питания на природном газе EcoFuel в автомобилях Touran и Caddy. Service Training. Программа самообучения 373. «Volkswagen Group Academy» twipx.com.file74755, 2009 N373, 49 с.

Abstracts of articles

C. 4

Technique of definition of border of economic efficiency of transition to natural gas as motor fuel

Andrey Evstifeev, Michael Balashov

The choice of routes and the number of vehicles running on classical liquid fuels and natural gas are very important for heads of the enterprises engaged in automobile transportations. The method of a tentative estimation and the selection of a kind of fuel for the vehicles are proposed in this work. The selection of a kind of fuel is being based on the daily run.

Keywords: per diem costs for fuel, liquefied natural gas, compressed natural gas, diesel.

C. 6

Application of various kinds of motor fuel in the conditions of Siberia and the

Lyudmila Gnedova, Kirill Gritsenko, Nikolay Lapushkin, Vera Peretryakhina, Igor Fedotov

In Russia to 80 % of territory is in a frigid climate zone. The analysis of features of work of motor-vehicles on various kinds of motor fuel allows estimating efficiency and expediency of their application in the conditions of Siberia.

Keywords: compressed natural gas (CNG), liquefied petroleum gas (LPG), diesel fuel, gasoline, quality of fuel, Far North.

C. 12

Prospects of Coal Mine Methane in Kuzbass

Oleg Taylakov, Denis Zastrellov, Vitaly Taylakov, Sergey Sokolov

CMM resource estimation (at gob areas) take into consideration the peculiarities of gas migration from coal seams during and after mining. The cost effectiveness of using methane in gas generators, boilers and gas stations, fueled by compressed and liquefied coal mine methane presented in this article.

Keywords: coal mine, coal seam, gob areas, methane, utilization, electric energy, heat energy (power).

C. 18

Regarding CNG applying in bi-fuel engines with spark ignition

Pavel Teremyakin, Artur Latypov

The article considers advantages of the engines with spark ignition that apply CNG as a fuel. There are shown engine characteristics both bi-fuel and specially oriented to CNG. Expediency of applying of the method of double mixed fuel feed is established for the engine with spark ignition of bi-fuel vehicle.

Keywords: emission toxicity, bi-fuel engine, gas fuel, methane, double fuel feed, double mixed fuel feed, catalytic converter, specific costs for the kilometer of the vehicle run.

C. 24

Terms of credit repayment referring to two-fuel modification of helicopter Mi-8

Vjacheslav Zajtsev

At the final operational stage considered are the issues of business relations between participants of the development and introduction of a two-fuel modification of Mi-8 helicopter family and airfield gas refueling complex into operation. A procedure contributing to the coordination of interests of the participants taking part in the realization of this technical solution is offered. A parametric analysis of the influence of different economic factors on terms of repaying the credit obtained by an aviation group for helicopter modification and gas refueling complex organization is carried out.

Keywords: aviation gas, ACKT, gas-engine fuel, gasolet, alternative fuel, economics of modification, repayment of credit.

C. 30

Comparative Analyses of Cycles in Case Gas and Dual Fuel Engines as Applied to Big Size Application

Alexey Khachian, Ivan Shishlov, Danila Karpov

The methods of medium speed diesel engine conversion to operate on natural gas are considered in the paper. Choice of compression ratio for both the methods is analyzed. It turned out that for big size engine compression ratio is considerably higher in case of external mixing and ignition with the help of minimized portion of well atomized diesel fuel as compared with external mixing and spark ignition. In last case internal mixing does not insure better results as compared to gas-diesel fuel version. However development internal mixing spark ignition engine requires much higher expenditures. Cycle calculations for both the external mixing modes but different modes of ignition helped to find out that in case of two fuels mode (gas-diesel fuel) cycle efficiency is much higher because of higher compression ratio and greater air excess. Difference in engine efficiency may be even higher, than difference in indicated efficiency.

Keywords: gas engine, gas-diesel engine, natural gas, cycle parameters, compression ratio, the mixing mode.

C. 34

Investigation of Local Formation of Nitric Oxides in Hydrogen Diesel Engine

Revaz Kavtaradze, Andrey Zelentsov, Vladimir Krasnov, Yevgeniya Klimova

In paper there are presented the results of 3D-modeling of hydrogen diesel engine with direct injection of gaseous hydrogen. Simulation was carried out using CRFD-code FIRE. Verification of the model was carried on basis of experimen-

tal indicator diagram of hydrogen diesel engine. Dynamics of local formation of nitric oxides was examined in combustion chambers of traditional and hydrogen diesel engines. Analysis of NO_x generation showed its significant dependence on fuel type. It was also showed that nitric oxides level in hydrogen diesel engine is practically the same as it is in traditional diesel engine under the assumption of equality of capacity. That means there is a necessity to develop the special methods of improvement of ecological properties of hydrogen diesel engine.

Keywords: working process, alternative fuels, hydrogen diesel engine, nitric oxides.

C. 41

Onboard generation of hydrogen-containing gas for vehicle engines

**Valery Fomin, Vladimir Kamenev,
Mikhail Hergeledzhi**

In article strategy of perfection of ecological qualities of the engine by use of hydrogen synthesis-gas, as means of chemical activation of working process is discussed. Technologies of generating of synthesis-gas onboard a vehicle are considered. The description of experimental onboard system of reception of hydrogen synthesis-gas by thermo chemical conversion of gasoline is resulted and materials of its tests as a part of the car are presented.

Keywords: automobile engine, ecological standards, cold start, heating of engine, termocemical reactor, hydrogen sintes-gas, system of neutralization exhaust gases.

C. 48

Partial liquefying of natural gas in small-scale installations with the unit of low-temperature purification

Stanislav Gorbachev, Ilya Medvedkov

The technology of partial liquefaction of natural gas in small-scale installations to obtain a product of high purity was proposed. Using the low-temperature purification with a fractional evaporator or a rectification column provides a methane content of LNG over 99% and reduction in the concentration of CO_2 to the level of 50-100 ppm. The main characteristics of the LNG-installations with the unit of low-temperature purification and recommendations on the choice of parameters of their operation, depending on the composition of the feed gas and the required purity of the product LNG, were presented.

Keywords: liquefied natural gas, low-temperature purification unit, purification from carbon dioxide, LNG production of high quality.

C. 52

Evaluation Method for Optimized Composition of Mixture Fuels Based on Vegetable Oils

Vladimir Markov, Sergey Devyanin, Vera Markova

Evaluation methods for determining the optimized composition of diesel fuel-rapeseed oil mixtures are presented. According to the results of optimization analysis some characteristics of changing mixture fuel composition depending on diesel engine operating modes are obtained. The characteristics of a diesel engine running on different compositions of diesel fuel-rapeseed oil mixtures are compared.

Keywords: diesel engine, diesel fuel, rapeseed oil, mixed bio-fuel, exhaust gases toxicity.

C. 60

How to achieve the required levels of PM emissions in V8 engines

Irek Gumerov, Rinat Khafizov

The article gives results of research-and-development activity in scope of work on achieving levels of PM emissions in KAMAZ diesel engines required by Regulation № 49 EC for Euro-3, -4 (-5) engines.

Keywords: emission of harmful substances, PM emissions, exhaust gases, fuel injection equipment, cylinder-piston group, compression ratio.

C. 66

Thermoacoustic Liquefier of Natural Gas for Filling of River Vessels

**Vladimir Karagusov, Vladimir Yusha,
Ivan Karagusov**

The current state of development of thermoacoustic systems can use them to create heat-thermoacoustic natural gas liquefier, hardly requiring the use of electricity. Low cost, long service life, high reliability, small size, simple operation allow you to place them in a sparsely populated region on the shores of Russian rivers.

Keywords: liquefier of natural gas, thermoacoustic system, transport, natural gas.

C. 69

Methodological problems and the practical results of training teachers and NGV industry of the country

Andrey Nikolaenko, Viktor Yerokhov

The methodological features of training specialists and teachers of the gas engine of the country. A concept of the effectiveness of alternative fuels. Given curricula and training programs and teachers NGV industry. The results of the training of teachers and the gas motor fuel. Proposals for improving the efficiency of the NGV industry.

Keywords: gas motor complex, liquefied petroleum gas, experts complex gas-cylinder car, the learning process, methodology, training, certification NGV complex, effective education.

Авторы статей в журнале № 2 (32) 2013 г.

Балашов Михаил Леонидович,

ведущий инженер ООО «Газпром ВНИИГАЗ»,
115583, Москва, а/я 130,
тел.: +7 (916) 785-0661,
email: M_Balashov@vniigaz.gazprom.ru

Гнедова Людмила Анатольевна,

старший научный сотрудник ООО «Газпром
ВНИИГАЗ», тел. (498) 657-4051

Горбачев Станислав Прокофьевич,

д.т.н., профессор, гл. научный сотрудник
ООО «Газпром ВНИИГАЗ»,
e-mail: S_Gorbachev@vniigaz.gazprom.ru

Гриценко Кирилл Александрович,

старший научный сотрудник
ООО «Газпром ВНИИГАЗ»,
тел. (498) 657-4591, 8 916 681-99-61

Гумеров Ирек Флорович,

заместитель генерального директора
ОАО «КАМАЗ» – директор по развитию,
к.т.н., р.т. (8552) 37-27-76

Деяннин Сергей Николаевич,

д.т.н., профессор, заведующий кафедрой
«Тракторы и автомобили» Московского
государственного агроинженерного
университета им. В.П. Горячкина
(МГАУ им. В.П. Горячкина),
тел. 8-917-519-63-94

Евстифеев Андрей Александрович,

директор центра ООО «Газпром ВНИИГАЗ»,
115583, Москва, а/я 130,
тел.: +7 (910) 460-7886,
email: A_Evstifeev@vniigaz.gazprom.ru

Ерохов Виктор Иванович,

профессор МГТУ «МАМИ», д.т.н.,
адрес: 107023, г. Москва, ул. Большая
Семёновская, д. 38,
р.т. 8 (499) 785-62-05, м.т. 8 916-150-17-87,
e-mail: PDO@mami.ru

Зайцев Вячеслав Петрович,

ведущий конструктор ЦАГИ, генеральный
директор ОАО «Интерaviaгаз»,
действительный член Российской академии
космонавтики им. К.Э. Циолковского,
тел.: 8 (903) 700-61-21

Застрелов Денис Николаевич,

научный сотрудник лаборатории ресурсов
и технологий извлечения угля метана
Института угля СО РАН, к.т.н.,
р.т. (3842) 57-50-85

Зеленцов Андрей Александрович,

к.т.н., доцент кафедры «Поршневые
двигатели» (Э2) МГТУ им. Н.Э. Баумана,
тел. 89169734192,
e-mail: zelentsov.aa@gmail.com

Кавтарадзе Реваз Зурабович,

профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана, д.т.н.,
м.т. 8 910 469-00-12, р.т. (499) 265-78-92,
e-mail: kavtaradzer@mail.ru

Каменев Владимир Федорович,

д.т.н., профессор, заведующий отделом
ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ»,
тел.: 8-916-622-0563, e-mail: kamovf@mail.ru

Карагузов Владимир Иванович,

д.т.н., профессор Омского
Государственного Технического
Университета,
e-mail: karvi@mail.ru, тел. 8-913-971-3715

Карагузов Иван Владимирович,

магистрант Омского Государственного
Педагогического Университета,
e-mail: mrcounter@mail.ru,
тел. 8-983-622-4461

Карпов Данила Михайлович,

инженер МАДИ,
р.т. (499) 155-08-80

Климова Евгения Викторовна,

аспирант кафедры «Поршневые двигатели»
(Э2) МГТУ им. Н.Э. Баумана,
тел. 8 929 6065407

Краснов Владимир Михайлович,

аспирант кафедры «Поршневые двигатели»
(Э2) МГТУ им. Н.Э. Баумана,
тел. 8 963 9792553,
e-mail: vikrasnov@gmail.com

Лапушкин Николай Александрович,

начальник лаборатории АГНКС
ООО «Газпром ВНИИГАЗ», к.т.н.,
р.т. (498) 657-40-51, м.т. 8 916 854-40-57

Латыпов Артур Ильдарович,

старший инженер-испытатель
ООО «НПП «ИТЭЛМА»,
тел. 8 916-105-71-74

Марков Владимир Анатольевич,

д.т.н., профессор кафедры «Теплофизика»
Московского государственного
технического университета им. Н.Э. Баумана
(МГТУ им. Н.Э. Баумана),
тел. 8-917-584-49-54

Маркова Вера Владимировна,

аспирантка кафедры «Тракторы
и автомобили» Московского
государственного агроинженерного
университета им. В.П. Горячкина
(МГАУ им. В.П. Горячкина),
тел. 8-985-125-82-04, р.т. (499) 977-23-77

Медведков Илья Сергеевич,

младший научный сотрудник
ООО «Газпром ВНИИГАЗ», а/я 130.
Москва, 115583, Россия, тел. (498) 657-4310,
e-mail: s_gorbachev@vniigaz.gazprom.ru

Николаенко Андрей Владимирович,

ректор Московского государственного
технического университета «МАМИ», к.э.н.,
адрес: 107023, г. Москва, ул. Большая
Семёновская, д. 38,
р.т. (495) 223-05-23, доб. 12-01

Перетряхина Вера Борисовна,

старший научный сотрудник
ООО «Газпром ВНИИГАЗ»,
р.т. (498) 657-40-51, м.т. 8 915 118-57-42

Соколов Сергей Владиславович,

младший научный сотрудник
лаборатории ресурсов
и технологий извлечения
угольного метана Института угля СО РАН,
р.т. (3842) 57-50-85

Тайлаков Виталий Олегович,

научный сотрудник лаборатории
ресурсов и технологий извлечения
угольного метана
Института угля СО РАН, к.т.н.,
р.т. (3842) 57-50-85

Тайлаков Олег Владимирович,

зав. лабораторией ресурсов
и технологий извлечения угля метана
Института угля СО РАН, д.т.н., проф.,
р.т. (3842) 57-50-85

Теремьякин Павел Геннадьевич,

заместитель главного конструктора
ООО «НПП «ИТЭЛМА»,
тел: (495) 775-07-48,
тел./факс: (495) 775-07-49,
e-mail: paul.teremyakin@itelma.su

Федотов Игорь Владимирович,

ведущий научный сотрудник
ООО «Газпром ВНИИГАЗ», к.т.н.,
р.т. (498) 657-45-91

Фомин Валерий Михайлович,

д.т.н., профессор кафедры
«автомобильные и тракторные двигатели»
МГМУ (МАМИ),
тел.: 8 915-211-44-15,
e-mail: mixalichDM@mail.ru

Хафизов Ринат Хурамышч,

заместитель главного конструктора
по исследованию двигателей
НТЦ ОАО «КАМАЗ»,
423827, Россия, Татарстан,
г. Набережные Челны,
пр. Автозаводский, 2,
р.т. (8552) 37-27-51,
e-mail: Rinat.Khafizov@kamaz.org

Хачиян Алексей Сергеевич,

профессор МАДИ, к.т.н.,
e-mail: khach@dvs.madi.ru

Хергеледжи Михаил Валерьевич,

аспирант кафедры «автомобильные и
тракторные двигатели» МГМУ (МАМИ),
тел.: 8 926-938-4764,
e-mail: hergheledji@mail.ru

Шишлов Иван Геннадьевич,

старший научный сотрудник МАДИ, к.т.н.,
р.т. (499) 155-08-80

Юша Владимир Леонидович,

д.т.н., профессор Омского Государственного
Технического Университета,
e-mail: yusha@omgtu.ru,
тел. 8-906-990-2703

Contributors to journal issue No. 2 (32) 2013

Balashov Michael,

Leading engineer of JSC «Gazprom VNIIGAZ», p/o 130, Moscow, Russia, 115583, phone: +7 (916) 785-0661, email: M_Balashov@vniigaz.gazprom.ru

Devyanin Sergey,

D. Sc. (Eng.), professor, head of «Tractors and Automobiles» department of the Moscow State University for Agriculture and Engineering n.a. V.P. Goryachkin, m.t. + 7 917 519-63-94

Erokhov Viktor,

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

Evstifeev Andrey,

JSC «Gazprom VNIIGAZ», p/o 130, Moscow, Russia, 115583, phone: +7 (910) 460-7886, e-mail: A_Evstifeev@vniigaz.gazprom.ru

Fedotov Igor,

Senior Research Associate of the Laboratory of Process Equipment of AGCFS of Gazprom VNIIGAZ, office phone: + 7 (498) 657-45-91

Fomin Valery,

Dr. Sci. Tech., Professor of Peoples' Friendship University of Russia (PFUR), office phone: + 7 (495) 369-90-48, m.t.: + 7 915 211-44-15

Gnedova Lyudmila,

Senior Research Associate of the Laboratory of Process Equipment of AGCFS of Gazprom VNIIGAZ, phone: +7 (498) 657-4051

Gorbachev Stanislav,

Chief Research Associate, Doctor of technical sciences, professor, e-mail: S_Gorbachev@vniigaz.gazprom.ru

Gritsenko Kirill,

Research Associate of the Laboratory of Process Equipment of AGCFS of Gazprom VNIIGAZ, phone: +7 (498) 657-4591, 916 681-99-61

Gumerov Irek,

«OJSC KAMAZ» Deputy General manager – director on development, candidate of science (engineering), phone: + 7 (8552) 37-27-76

Hergeledzhi Mikhail,

post graduate of the Moscow state technical university (MAMI), phone: +7 926-938-4764, e-mail: hergheledji@mail.ru

Kamenev Vladimir,

PhD, Engng, Head of the Division, NAMI, professor, phone: +7 916-622-0563, e-mail: kamovf@mail.ru

Karagusov Ivan,

master student of Omsk State pedagogic University, e-mail: mrcounter@mail.ru, тел. 8-983-622-4461

Karagusov Vladimir,

professor of Omsk State Technical University, PhD, Engng, e-mail: karvi@mail.ru, phone: +7 913 971-3715

Karpov Danila,

Postgraduate MADI, office phone: + 7 (499) 155-08-80

Kavtaradze Revaz,

Professor of N.E. Bauman's MGTU, Doctor of Engineering, mobile phone: 8 910 469-00-12, office phone: + 7 (499) 265-78-92, e-mail: kavtaradzer@mail.ru

Khachiyan Alexey,

cand. sc., professor MADI, e-mail: khach@dvs.madi.ru

Khafizov Rinat,

«JSC KAMAZ», R&D center, Deputy Principal design engineer, engine researches dpt., phone: + 7 (8552) 37-27-51, e-mail: Rinat.Khafizov@kamaz.org

Klimova Yevgeniya,

graduate student of Bauman Moscow State Technical University, phone: + 7 929 6065407

Krasnov Vladimir,

graduate student of Bauman Moscow State Technical University, phone: + 7 963 9792553, e-mail: vikrasnov@gmail.com

Lapushkin Nikolay,

Head of the Laboratory of Process Equipment of AGCFS, Gazprom VNIIGAZ, phone: + 7 (498) 657-40-51, 916 854-40-57

Latypov Artur,

Senior Test Engineer, NPP ITELMA, tel.: +7 916-105-71-74

Markov Vladimir,

PhD, Engng, professor of «Heat Physics» department of the Bauman Moscow State Technical University, phone: + 7 917 584-49-54

Markova Vera,

Post-graduate of «Tractors and Automobiles» department of the Moscow State University for Agriculture and Engineering n.a. V.P. Goryachkin, phone: + (499) 977-23-77

Ilya Medvedkov,

junior researcher, Gazprom VNIIGAZ LLC, 115583, Moscow, Russia, phone: + 7 (498) 657-4310, e-mail: s_gorbachev@vniigaz.gazprom.ru

Nikolaenko Andrey,

Rector of the Moscow State Technical University «MAMI», PhD, office phone: + 7 (495) 223-05-23 (12-01)

Peretryakhina Vera,

Senior Research Associate of the Laboratory of Process Equipment of AGCFS, of Gazprom VNIIGAZ, phone: + 7 (498) 657-40-51, + 7 915 118-57-42

Shishlov Ivan,

Senior Researcher of MADI, office phone: + 7 (499) 155-08-80

Sokolov Sergey,

the scientific employee of laboratory, Institute of Coal of the Siberian Branch of the RAS (IC SB RAS), phone: +7 (3842) 57-50-85

Taylakov Oleg,

doctor of technical Sciences, Prof., laboratory head of Institute of Coal of the Siberian Branch of the RAS (IC SB RAS), phone: +7 (3842) 57-50-85

Taylakov Vitaly,

PhD, the scientific employee of laboratory, Institute of Coal of the Siberian Branch of the RAS (IC SB RAS), phone: +7 (3842) 57-50-85

Teremyakin Pavel,

Deputy of Chief Designer, NPP ITELMA, tel.: +7 (495) 775-07-48 tel./fax: +7 (495) 775-07-49, e-mail: paul.teremyakin@itelma.ru

Yusha Vladimir,

professor of Omsk State Technical University, PhD, Engng, e-mail: yusha@omgtu.ru, тел. 8-906-990-2703

Zajtsev Vjacheslav,

General Director of «Interaviagaz», phone: + 7 8 (903) 700-61-21

Zastrelov Denis,

PhD, the scientific employee of laboratory, Institute of Coal of the Siberian Branch of the RAS (IC SB RAS), phone: +7 (3842) 57-50-85

Zelentsov Andrey,

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

Подписка – 2013

Международный научно-технический журнал «Транспорт на альтернативном топливе»

Россия, 115304, Москва, ул. Луганская, д. 11.

Тел.: 321-50-44, 321-6281, e-mail: transport.1@ngvrus.ru, transport.2@ngvrus.ru • www.ngvrus.ru

Уважаемые читатели!
Продолжается подписка на 2013 г.

Подписчики	Годовая, 6 номеров	I полугодие, 3 номера
Россия	3630 руб. (включая 10 % НДС)	1815 руб. (включая 10 % НДС)
Страны СНГ	3630 руб. (включая 10 % НДС)	1815 руб. (включая 10 % НДС)
Страны дальнего зарубежья	190 евро / 250 долл.	120 евро / 170 долл.

Отдельные экземпляры журнала (550 руб. + 10% НДС = 605 руб.) можно приобрести в редакции.

Электронная версия журнала (формат PDF, 6 номеров):

– для РФ и стран СНГ – 1700 руб., включая НДС 18 %.

– для стран дальнего зарубежья – 100 евро / 140 долл. США.

Подписку на 2013 г. можно оформить по факсу, электронной почте или непосредственно в редакции; также через агентства «Роспечать» (подписной индекс **72149**), «Межрегиональное агентство подписки» (Каталог Российская пресса – Почта России, подписной индекс **12718**).

Стоимость размещения рекламных полноцветных материалов в журнале:

В текстовом блоке	В рублях	В долларах США	В евро
1 страница (210×290 мм)	20 тыс. + 18 % НДС	850	625
½ страницы (125×176 мм)	12 тыс. + 18 % НДС	500	350
¼ страницы (70×176 мм)	7 тыс. + 18 % НДС	290	200
Презентация (1 стр.)	10 тыс. + 18 % НДС	300	170
Юбилейный раздел (1 стр.)	1,5 тыс. + 18 % НДС	–	–
На обложке			
1-я страница (150×210 мм)	20 тыс. + 18 % НДС	850	625
2-я или 3-я страницы (290×210 мм)	25 тыс. + 18 % НДС	1350	1000
4-я страница (290×210 мм)	30 тыс. + 18 % НДС	1450	1100

Технические требования к рекламным модулям:

Макет должен быть представлен в электронном виде: форматы eps, tiff, jpeg, pdf.

Требуемые разрешения: полноцветные и монохромные материалы не менее 300 dpi.