



# ТРАНСПОРТ

## НА АЛЬТЕРНАТИВНОМ ТОПЛИВЕ

МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ  
ЖУРНАЛ № 3 (27) 2012

ЖУРНАЛ ВКЛЮЧЕН В ПЕРЕЧЕНЬ ВАК

НАЦИОНАЛЬНАЯ ГАЗОМОТОРНАЯ АССОЦИАЦИЯ



АФФИЛИРОВАНА  
С МЕЖДУНАРОДНЫМ ГАЗОВЫМ  
СОЮЗОМ



**FAS**  
Flüssiggas-Anlagen



Топливораздаточные колонки  
с кориолисовыми счетчиками (учет  
объема в л, массы в кг, плотности  
и температуры газа)

Электронные посты заправки  
бытовых газовых баллонов  
в шкафом исполнении  
с возможностью автоматизации

Современные комплексные решения  
по транспортировке, хранению, учету  
и продаже сжиженных газов

проектирование и строительство АГЗС, ГНС, систем автономного  
газоснабжения, поставки оборудования, монтажные и пусконаладочные  
работы, гарантийное и послегарантийное обслуживание

насосы • компрессоры • газораздаточные колонки • запорно-предохранительная  
арматура • счетные установки • газогенераторное оборудование • комплексы  
автоматизации • станции автономного газоснабжения

(495) 647 0577 • (812) 332 0527 • WWW.FAS.SU



**Водотопливные эмульсии для дизелей**

**Аэродромный топливозаправочный комплекс для АСКТ**

**Проблемы безопасной эксплуатации баллонов с СУГ**

**Международный научно-технический журнал  
«Транспорт на альтернативном топливе»  
№ 3 (27) / 2012 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. Игнатъева**  
заместитель главного редактора

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

**Т.В. Климова**  
начальник отдела по связям с общественностью и  
СМИ ООО «Газпром ВНИИГАЗ»

**С.И. Козлов**  
главный научный сотрудник Центра по использова-  
нию газа ООО «Газпром ВНИИГАЗ», 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**  
зам. начальника Управления ОАО «Газпром»,  
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. Луганская, д. 11, оф. 304.  
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 10.05.2012 г.  
Подписано в печать 25.05.2012 г.  
Формат 60х90 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 компании  
ООО «Химгазкомплект»**

## В НОМЕРЕ:

<b>А.А. Солнцев</b> Пять лет в строю автотранспортной отрасли .....	3
Новости отрасли .....	4
<b>Е.Н. Пронин</b> Московские газовые автобусы в Латвии.....	8
Польша: автобусы на СПГ .....	9
<b>С.А. Порожняков, Е.Н. Пронин</b> Развитие газомоторного рынка США .....	10
<b>Е.Н. Пронин</b> Газомоторный рынок Украины .....	11
<b>С.А. Порожняков</b> Армия США переходит на альтернативное топливо .....	13
<b>М.С. Недлин, Ю.Н. Вольнов, Р.П. Гордеева</b> Баллоны с СУГ: откуда исходит опасность?.....	15
<b>Н.В. Хренков</b> Перевод муниципального автотранспорта на ГМТ в Белгородской области .....	18
<b>М.А. Скворцова, С.А. Тихомиров</b> Оценка эффективности различных систем подачи газа автомобильных двигателей.....	20
<b>А.А. Барабанов</b> Безопасность технологических процессов на объектах, использующих СУГ .....	23
<b>И.М. Блякинштейн, Е.С. Воеводин, Д.А. Худяков</b> Система оперативного управления расходом топлива на предприятиях автомобильного транспорта .....	27
<b>А.И. Цаплин, С.В. Бочкарев, И.Г. Друзьякин</b> Управление устройством подачи криогенного топлива в энергоустановку .....	30
<b>Н.Г. Кириллов, А.Н. Лазарев</b> Расчет поражающих факторов при авариях на подземных хранилищах СПГ .....	33
<b>В.П. Зайцев, В.И. Маврицкий</b> Оценка затрат на создание аэродромного газового топливозаправочного комплекса .....	38
<b>Н.С. Бащенко, П.А. Пуртов, А.Ю. Аджиев, И.Е. Ковалев, В.И. Маврицкий, В.П. Зайцев</b> Возможности производства нового авиационного топлива АСКТ .....	43
<b>Ф.В. Пелевин, В.В. Лозовецкий, А.А. Мартиросян, В.М. Черкина, И.В. Статкевич</b> Моделирование смесеобразования в компланарных газожидкостных форсунках тепловых двигателей.....	47
<b>С.В. Черняк</b> Система комбинированной топливоподачи для дизельного двигателя .....	51
<b>И.К. Александров</b> Гибридное транспортное средство с накопителями энергии двух типов.....	53
<b>В.С. Янченко</b> Моделирование энергетической системы мобильной техники с топливными элементами .....	56
<b>М.Н. Гуров, В.В. Московкин</b> Формула топливного баланса автомобиля .....	58
<b>С.А. Григорьев, Д.Л. Астановский</b> Бифункциональные низкотемпературные электрохимические генераторы для водородного транспорта .....	62
<b>Л.А. Скрипко</b> Выбор параметров гибридного электромобиля.....	64
<b>В.А. Марков, С.Н. Деянин, В.А. Шумовский, С.А. Тарантин</b> Работа дизелей на водотопливных эмульсиях .....	67
<b>В.К. Азаров, В.Ф. Кутенев, А.С. Теренченко, С.В. Ягупов</b> Биотоплива и другие энергоносители для колесных транспортных средств.....	72
<b>В.А. Лиханов, А.И. Чупраков, А.В. Зонов, И.М. Шаромов</b> Влияние этанола на процесс сгорания в цилиндре дизеля 4Ч 11,0/12,5 .....	75
Авторы статей в журнале № 3 (27) 2012 г.....	78

**'Alternative Fuel Transport' international science and technology journal, No. 3 (27) 2012**

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.**

Deputy Director General for Research of Gazprom VNIIGAZ, 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.**

Deputy Head of Directorate, JSC Gazprom,

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 10.05.2012

Endorsed to be printed on 25.05.2012

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

<b>E.N. Pronin</b> Moscow built CNG buses in Latvia.....	8
LNG buses in Poland.....	9
<b>S.A. Porozhnyakov, E.N. Pronin</b> US NGV Market Development .....	10
<b>E.N. Pronin</b> NGV Market in Ukraine .....	11
<b>S.A. Porozhnyakov</b> Alternative Fuels for the US Army .....	13
<b>M.S. Nedlin, Yu.N. Volnov, R.P. Gordeyeva</b> Cylinders with LPG: where the danger comes from?.....	15
<b>N.V. Khrenkov</b> Conversion of municipal motor transport on gas in Belgorod region .....	18
<b>M.A. Skvortsova, S.A. Tikhomirov</b> Performance evaluation of various gas supplying systems for automobile engines.....	20
<b>A.A. Barabanov</b> Safety of technological processes on the objects using of liquefied petroleum gases .....	23
<b>I.M. Blyankinshteyn, E.S. Voevodin, D.A. Khudyakov</b> Operational management system fuel motor in transport companies.....	27
<b>A.I. Tsaplin, S.V. Bochkarev, I.G. Druzyakin</b> Control device for cryogenic fuel in power equipment .....	30
<b>N.G. Kirillov, A.N. Lazarev</b> Calculation of amazing factors at failures on underground storehouses of LNG.....	33
<b>V.P. Zajtsev, V.I. Mavritskiy</b> Estimation of possible costs of creating the airfield gas refueling complex.....	38
<b>N.S. Bashchenko, P.A. Purtov, A.Y. Adzhiev, I.E. Kovalev, V.I. Mavritskiy, V.P. Zaitsev</b> Possibilities of producing new aviation fuel ACKT .....	43
<b>F.V. Pelevin, V.V. Lozovetskiy, A.A. Martirosyan, V.M. Cherkina, I.V. Statkevych</b> Simulation of mixing processes in complanar gas-liquid injectors of heat engines .....	47
<b>S.V. Chernyak</b> The combined system of fuel injection for diesel engine .....	51
<b>I.K. Alexandrov</b> Hybrid vehicle with two types of energy storage.....	53
<b>V.S. Yanchenko</b> Modelling of a power system of mobile machines with fuel elements .....	56
<b>M.N. Gurov, V.V. Moskovkin</b> Formula of fuel balance of the car .....	58
<b>S.A. Grigoriev, D.L. Astanovskiy</b> Bifunctional low-temperature electrochemical generators for hydrogen transport.....	62
<b>L.A. Skripko</b> EV-minibus on the route Moscow .....	64
<b>V.A. Markov, S.N. Devyanin, V.A. Shumovskiy, S.A. Tarantin</b> Diesel Engines Running on Water-Fuel Emulsions.....	67
<b>V.K. Azarov, V.F. Kutenev, A.S. Terenchenko, S.V. Yagupov</b> Biofuels and other energy carriers for wheeled vehicles.....	72
<b>V.A. Likhonov, A.I. Chuprakov, A.V. Zonov, I.M. Sharomov</b> The influence of application on process of combustion of a diesel engine 4Ч 11,0/12,5.....	75
Contributors to journal issue No. 3 (27) 2012.....	79



# Пять лет в строю автотранспортной отрасли

**А.А. Солнцев,**

доцент, декан факультета «Автомобильный транспорт» МАДИ, к.т.н.

Прошел сравнительно короткий срок – 5 лет с момента основания журнала «Транспорт на альтернативном топливе». За это время группе единомышленников, объединенных общей задачей расширения использования различных альтернативных топлив (АТ) и в первую очередь газообразных, удалось очень многое.

**Р**ождение журнала было обусловлено потребностью специалистов различных отраслей оперативно получать, анализировать и публиковать информацию по вопросам применения альтернативных топлив и источников энергии на различных видах транспорта. На научно-технических советах, конференциях, заседаниях высказывались пожелания создания периодического печатного издания по этой тематике. Откликаясь на это, рабочая группа, возглавляемая руководящими работниками Национальной газомоторной ассоциации (НГА) Е.Н. Прониным и В.Л. Ставтивко, за короткий срок организовала выпуск первого номера журнала.



Сегодня журнал стал авторитетным, ведущим изданием, в котором публикуются статьи крупных ученых, руководителей и известных специалистов различных отраслей. Велика значимость журнала для кадрового роста научных работников. Включение его в перечень ВАК открыло дорогу для публикаций, необходимых при защите докторских и кандидатских диссертаций.

Сложившаяся тематическая рубрикация публикуемых материалов позволяет охватить разнообразные проблемы, возникающие при переводе транспорта на АТ. Опубликованы циклы статей постоянных авторов, последовательно раскрывающих читателям процесс разработки, испытания, внедрения различного оборудования, технологических процессов.

В статьях ФГУП НАМИ, МГТУ им. Н.Э. Баумана, ООО «Газпром ВНИИГАЗ», РУДН, МАДИ, МАМИ постоянно приводятся материалы по разработке и испытаниям различных газовых ДВС, их сравнительной оценке. В работах ВНИИ механизации сельского хозяйства ГНУ ВИМ представлены материалы по использованию различных видов АТ в сельскохозяйственной технике.

Заслуживают внимания публикации о применении газового топлива на различных видах автотранспорта, представляющие большой интерес для практических работников автотранспортных предприятий, эксплуатирующих газобаллонные автомобили или только делающих выбор в их пользу. По применению КПП на пассажирском транспорте опубликованы статьи представителей ДВС ЭКО, ГУП «Мосгортранс», МАДИ. В

цикле работ ООО «РариТЭК» последовательно излагаются результаты разработки, внедрения и обслуживания газовых КАМАЗов и двигателей для них.

В статьях СибАДИ представлены материалы о разработке и эксплуатации оборудования для СУГ с учетом суровых климатических условий Сибири. Интересный региональный опыт, накопленный при внедрения КПП и СУГ на автотранспорте, представлен в публикациях ООО «Газпром трансгаз Екатеринбург», ООО «Газпром трансгаз Ставрополь», ООО «Газпром трансгаз Томск» и др.

Также журнал знакомит читателей с географией и участниками ставших постоянными и традиционными автопробегов газобаллонных автомобилей на метане, которые организуют ОАО «Газпром», ООО «Газпром ВНИИГАЗ» и Национальная газомоторная ассоциация.

Заметна и международная составляющая материалов журнала. Постоянно на его страницах публикуются статьи специалистов Украины, Белоруссии, Польши, Чехии, Египта и Вьетнама. Публикуются отчеты, знакомящие читателей с крупными международными выставками, конференциями, связанными с АТ.

Сегодня материалы, опубликованные в журнале, представляют собой солидный информационный банк и приобретают энциклопедический характер. Для нас, автомобилистов, очень ценно, что материалы журнала позволяют оперативно ознакомиться с современными тенденциями применения альтернативных топлив на автотранспорте. Информация, представленная в статьях, широко используется студентами, магистрами, аспирантами при написании различных рефератов, дипломных и выпускных работ, диссертаций.

Отдельно хотелось также отметить прекрасное оформление журнала. Во многом это заслуга и бывшего зам. главного редактора О.Ю. Бриллиантова и небольшого творческого коллектива редакции, работающего с максимальной отдачей.

Журналу только 5 лет, многое еще предстоит сделать. Хотелось бы, чтобы на его страницах наряду с техническими шире обсуждались и вопросы, связанные с нормативно-правовым обеспечением, а также с экономическими аспектами внедрения различных видов АТ.

Руководству журнала, членам редакционной коллегии выражаем большую благодарность за работу по пропаганде внедрения АТ на транспорте. Желаем творческих успехов, увеличения тиража издания, расширения круга подписчиков!

## Газпром и НОВАТЭК развивают сотрудничество

ОАО «Газпром» и ОАО «НОВАТЭК» подписали Меморандум о сотрудничестве, в соответствии с которым обе компании рассматривают возможность создания совместных предприятий для увеличения комплекса мощностей по производству сжиженного природного газа (СПГ) на п-ве Ямал.

Для увеличения производства СПГ на Ямале стороны рассмотрят возможности создания совместного предприятия на основе ресурсной базы Тамбейской группы месторождений Газпрома с предварительным распределением долей между участниками: ОАО «Газпром» – 75 %, ОАО «НОВАТЭК» – 25 %.

К Тамбейской группе месторождений п-ва Ямал относятся Северо-Тамбейское, Западно-Тамбейское и Тасийское месторождения, которые находятся в непосредственной близости от создаваемой инфраструктуры Южно-Тамбейского месторождения и порта Сабетта. Запасы природного газа этих месторождений составляют более 1,5 трлн м<sup>3</sup> и способны обеспечить производство около 20 млн т СПГ в год.

Производство СПГ на Ямале находится за пределами сроков ввода Штокмановского СПГ-проекта.

## Расширение газомоторного бизнеса в ОАО «Газпром»

В конце апреля председатель правления ОАО «Газпром» А.Б. Миллер провел совещание о стимулировании развития использования газомоторного топлива.

В своем выступлении он отметил, что необходимо совершить прорыв на рынке газомоторного топлива России. Газпром – единственная компания в стране, которой это под силу. Была поставлена задача максимального расширения рынка сбыта этого топлива в интересах всего общества. Было отмечено, что Газпром в состоянии существенно расширить уже имеющуюся инфраструктуру, сделать ее более привлекательной для автомобилистов, поставить столько газа, сколько необходимо, и фактически создать новый масштабный рынок сбыта для природного газа компании.

Участники совещания обсудили ситуацию на мировом и отечественном рынках газомоторного топлива, а также уже имеющийся опыт Газпрома

в этом направлении. Было подчеркнуто, что развитие газомоторного рынка позволит существенно сократить вредные выбросы в атмосферу. Это особенно актуально для больших городов. Кроме того, газовое топливо заметно дешевле бензина, что повышает рентабельность автоперевозок.

Особое внимание на совещании было уделено новым подходам, которые могут применяться в газомоторном бизнесе Газпрома. В частности, будет изучена целесообразность создания компании-оператора, которая займется реализацией проекта под ключ.

По итогам совещания дано поручение в кратчайшие сроки представить предложения по разработке бизнес-схемы, которая позволит ОАО «Газпром» значительно повысить сбыт газомоторного топлива.

В 2011 г. через российские АГНКС было реализовано 361,6 млн м<sup>3</sup> КПП, что на 16,6 млн м<sup>3</sup> больше, чем в 2010 г.

Наиболее развитыми региональными рынками по итогам 2011 г. являются Ставропольский и Краснодарский края, Свердловская, Челябинская, Ростовская и Тульская области, Республика Башкортостан – на них пришлось свыше 52 % общего объема реализации КПП в России.

Газпромом подписаны договоры о сотрудничестве в сфере использования природного газа в качестве моторного топлива с Калужской, Орловской и Пензенской областями. Региональные законодательные акты, направленные на развитие локальных рынков КПП, приняты в Москве, Ставропольском крае, Свердловской, Тамбовской, Калужской и Саратовской областях, а также в Республике Татарстан.

В настоящее время ведется продвижение газозаправочных мощностей в регионы Восточной Сибири и Дальнего Востока. АГНКС уже построены в Братске. Ведется проектирование метановой заправочной станции в Петропавловске-Камчатском. В перспективе намечено строительство АГНКС в Хабаровске, Благовещенске, Владивостоке, Южно-Сахалинске.

По материалам управления информации ОАО «Газпром»

## Сотрудничество ОАО «Газпром» и Томской области

На состоявшейся рабочей встрече председателя правления А.Б. Миллера и губернатора Томской обл. С.А. Жвачкина были рассмотрены основные перспективы сотруд-

ничества. В частности, речь шла о возможности регистрации в Томске головного офиса ОАО «Газпром», объединяющего сеть АГНКС на территории Российской Федерации.

Были также обсуждены возможность регистрации в регионе создаваемого дочернего предприятия компании, вопросы газификации области и подготовки кадров для газовой отрасли на базе местных учебных заведений, а также реализация программы «Газпром – детям» в регионе.

По материалам сайта «Клуб регионов»

## Транспорт Сибири на природном газе

**К**омпаниями ООО «РариТЭК» и ООО «Газпром трансгаз Томск» проведена совместная работа по продвижению газобаллонной автотехники КАМАЗ в Сибирском регионе.

стола с потребителями, дал исчерпывающие ответы на все заданные вопросы.

Представители ООО АТП «Сибирь» положительно отозвались об опыте эксплуатации первой



Встреча с представителями ООО АТП «Сибирь»

### Новосибирск

Проведена встреча с первым заместителем мэра г. Новосибирска А.Е. Ксензовым, на которой обсуждались вопросы газификации муниципального транспорта, прежде всего коммунально-дорожного. Была поддержана идея газификации городского транспорта и сделаны необходимые поручения.

Состоялась рабочая встреча с начальником управления пассажирских перевозок мэрии г. Новосибирска В.И. Новоселовым. Темой встречи стало обсуждение возможности приобретения газовых автобусов НЕФАЗ для муниципальных перевозчиков. Была высказана готовность приобрести газобаллонные автомобили КАМАЗ.

Генеральный директор ООО «РариТЭК» Р.Р. Батыршин, принявший участие в работе круглого

партии ГБА КАМАЗ и подтвердили дальнейшую готовность приобретать газомоторную технику и в 2012 г.

### Кемерово

Состоялась встреча Р.Р. Батыршина с и.о. губернатора Кемеровской обл. В.П. Мазикиным, на которой обсуждались вопросы приобретения газобаллонной техники производства ОАО «КАМАЗ» для предприятий Кемеровской обл.

Было подписано соглашение, предусматривающее использование компримированного природного газа в качестве моторного топлива для автотранспорта области.

Проведена рабочая встреча с Н. Овчинниковым, директором ОСП «Автотранс» ОАО «Угольная компания «Кузбассразресуголь». Обсуждались результаты эксплуатации первого ГБА на предприятии, перспективы приобретения такой техники.

Также была организована рабочая встреча Р.Р. Батыршина с руководством предприятий г. Кемерово, определенных администрацией области к газификации автотранспорта.



Участники встречи с и.о. губернатора Кемеровской обл. В.П. Мазикиным (второй справа)

**Томск**

Проведены переговоры с генеральным директором ООО «Газпром трансгаз Томск» В. Михаленко о перспективах совместной деятельности по газификации транспорта.

Состоялся круглый стол с потенциальными покупателями ГБА г. Томска. Вовстрече приняли участие руководители томских промышленных, строительных, автотранспортных предприятий. Проведена презентация вакуумной машины К0-505АГ, которая вызвала большой интерес у специалистов. Многие выразили желание приобрести ГБА в самое ближайшее время.



Участники встречи возле вакуумной машины К0-505АГ на шасси КАМАЗ-65115-30 с газовым двигателем

## Очередная новинка – седельный тягач КАМАЗ-65116-34 с газовым двигателем

**КАМАЗ** на газе стал результатом плодотворной совместной работы специалистов компаний ОАО «КАМАЗ» и ООО «РариТЭК».

Новая модель газобаллонного автомобиля оснащена газовым двигателем КАМАЗ мощностью 220 кВт (300 л.с.), коробкой передач ZF производства совместного предприятия «ЦФ КАМА», рестайлинговой кабиной и встроенным диагностическим прибором «Аскан».

По просьбам потребителей газовых автомобилей выхлопная труба выведена в межколесное пространство, что делает автомобиль визуально более привлекательным.

Эта модель тягача займет достойную нишу на рынке услуг по грузовым перевозкам. По-

купатель же получит технику, которая внесет значительный вклад в экономию денежных средств при закупке моторного топлива, а значит быстрее окупится и начнет приносить прибыль. Разница в стоимости

метана и дизельного топлива позволяет сэкономить до 600 тыс. руб. в год при эксплуатации одного тягача, работающего на метане.

Компания ООО «РариТЭК» в настоящее время предлагает 16 моделей газомоторных автомобилей КАМАЗ и автобусов НЕФАЗ, работающих на метане и соответствующих экологическому стандарту Евро-4.



Седельный тягач КАМАЗ-65116-34 с газовым двигателем

# Газовые автобусы по цене дизельных



ООО «Сторк» с 2003 г. является эксклюзивным дистрибьютором марки Yutong на территории Российской Федерации.

Компания Yutong (Ютонг) – крупнейший в мире производитель автобусов. По итогам 2011 г. объем продаж составил 46 688 автобусов. Компания Yutong выпускает автобусы, работающие на дизельном и газовом (природный газ) топливе, а также гибридные и электрические.

Доля компании Yutong на внутреннем рынке производства газовых автобусов КНР составляет около 50 % (порядка 15 тыс. ед. ежегодно).

Завод Yutong – флагман автобусостроения КНР, использующий самые современные технологии. Особое внимание уделяется качеству выпускаемой продукции.

В настоящее время ООО «Сторк» выводит на российский рынок автобусы, работающие на сжатом природном газе. В апреле 2012 г. получен сертификат «Одобрение типа транспортного средства» на автобус среднего класса Yutong ZK6852HG. Эта модель сконструирована для природно-климатических условий России, рассчитана на эксплуатацию при низких отрицательных температурах, оборудована газовым подогревателем двигателя Webasto.

*Yutong в отличие от большинства мировых и отечественных производителей предлагает газовые автобусы по цене дизельных.*



## ZK6852HG

8 800 333 2808 (звонок по РФ бесплатный)

Природный газ метан - КПГ (CNG)



от 2 995 000 руб



## Московские газовые автобусы в Латвии

**Е.Н. Пронин,**

зам. начальника Управления – начальник отдела ОАО «Газпром»,  
исполнительный директор НГА

## Moscow built CNG buses in Latvia

**E.N. Pronin**

23-24 апреля 2012 г. представители ОАО «Газпром» побывали в Латвии и провели консультации по вопросу развития газобаллонного парка муниципальной техники и газозаправочной инфраструктуры. В частности прошли встречи с мэром столицы Латвии Риги Нилом Ушаковым и мэром Елгавы Андрисом Равиньшем. Состоялся откровенный обмен мнениями, особую конструктивность которому придало участие в нем депутатов Сейма, руководителей автотранспортных предприятий, топ-менеджеров автомобильных заводов.



Елгава, AMO PLANT

Латвия имеет опыт применения компримированного природного газа в качестве моторного топлива еще со второй половины 80-х гг. XX века. Тогда были построены четыре АГНКС (две в Риге и по одной в Лиепае и Даугавпилсе), на метан переоборудовали автобусы, грузовики и легковые автомобили. В конце 90-х гг. была предпринята попытка восстановить эту деятельность. Единственная в Латвии компания по транспортировке, подземному хранению и распределению газа А/о «Латвияс Газе» (крупнейшие акционеры E.ON Ruhrgas International GmbH, ОАО «Газпром» и ООО «ИТЕРА Латвия») построила АГНКС нового поколения. Однако в работе остались только те, которые заправляют собственный автотранспорт компании. Фактически

можно говорить о том, что при достаточно развитом рынке автомобильного СУГ, рынка автомобильного метана в Латвии сегодня нет.



Автобусы завода AMO PLANT

Участники совещания выразили намерение совместно рассмотреть пути восстановления этого рынка в стране. Первый шаг в этом направлении могут сделать муниципальные автотранспортные предприятия. Латвия, являясь государством Евросоюза, связана с ним многими, и в том числе экологическими, обязательствами. Даже при очень непростой экономической ситуации руководство страны и муниципалитетов обязано принимать природоохранные меры. И в Риге, и в Елгаве участники консультаций увидели реальное намерение руководителей городов и транспортных предприятий начать работу по внедрению метана на транспорте.

Для этого сложились благоприятные предпосылки:

- экологическая стратегия Евросоюза подталкивает Латвию к освоению чистых энергетических технологий, включая применение метана на транспорте;

- ценовая конъюнктура на рынке моторных топлив для КПП и СПГ складывается благоприятно: 1 л бензина стоит примерно 57 руб., 1 л дизельного топлива – 52 руб., 1 л СУГ – 25 руб. и 1 м<sup>3</sup> метана – 18 руб.;

- в Латвии существует развитая система транспортировки и распределения природного газа;

- в стране возрождается национальное производство автомобилей.

Кстати, история латвийского автомобилестроения уходит корнями в 1899 г. – первыми были сборочные мастерские Лейтнера, потом Руссо-Балт, потом РАФ. Теперь AMO PLANT.

Правительство Москвы (92,6 %), ОАО «АМО Зил» (4,4 %), мэрия Елгавы (2,7 %) и АО Ferrus (0,3 %) создали компанию AMO PLANT и построили современный автомобильный завод, который уже начал сборку пассажирских городских/пригородных полунизкопольных автобусов Ambassador большой вместимости. Естественно, что на таком предприятии не мог не возникнуть вопрос о создании их газовой версии. Тем более что все европейские поставщики двигателей готовы продавать в Елгаву агрегаты, работающие на метане.

Складывается интересная возможность для кооперации в стране Евросоюза: правительство Москвы фактически является полным хозяином автомобильного завода AMO PLANT, который может поставлять в Европу, Россию и страны СНГ более дешевую (стоимость труда в Латвии пока существенно ниже) технику, соответствующую европейским нормам. Эти автобусы Москва может закупать и для своих нужд.

С другой стороны московская компания AMO PLANT может стать площадкой для подготовки российских автомобилей (например, газовых

грузовиков КАМАЗ и автобусов НЕ-ФА3) в соответствии с европейскими требованиями.

Завершились консультации договоренностью о том, что участники подготовят совместные предложения по формированию парка газовых автобусов в Риге, Елгаве и Даугавпилсе (на встрече присутствовал руководитель Даугавпилского автобусного парка), их производству на AMO PLANT и развитию сети заправок автотранспорта компримированным и сжиженным природным газом. Эту задачу может взять на себя ОАО «Газпром».

## Польша: автобусы на СПГ

### LNG buses in Poland

Компания GAZPROM Germania (100%-ное дочернее предприятие ООО «Газпром экспорт»; объединяет 40 компаний более чем в 20 странах; общий штат более 780 чел.) и польский производитель автобусов Solbus (семейное предприятие в г. Солец-Куявски; штат около 150 чел.; производственные площади 8 тыс. м<sup>2</sup>) начали программу демонстрации в польских городах Торунь, Гдыня, Ольштын, Варшава и Катовице двух городских пассажирских автобусов на газовом топливе в режиме повседневной эксплуатации.

Проект призван наглядно продемонстрировать экологические и экономические преимущества сжиженного природного газа, используемого в качестве моторного топли-



Заправка автобуса Solbus СПГ

ва, а также готовность европейской промышленности к поставкам полного набора технологического криогенного оборудования для заправочной инфраструктуры пассажирского транспорта.

Предварительные итоги демонстрационного проекта позволяют сделать вывод: муниципальные автотранспортные предприятия имеют возможность минимум на 25 % сократить затраты на топливо. Дизельное топливо при расходе около 50 т/год на один автобус обходится муниципалитету (налогоплательщикам) примерно в 110 тыс. евро, а на эквивалентный объем природного



Газовый автобус Solbus

газа (КПГ или СПГ) потребуется около 76 тыс. евро. При эксплуатации 100 автобусов годовая экономия муниципалитета превысит 3 млн евро.

Экологические дивиденды метанизации транспортных средств



Криозаправщик СПГ

подсчитать сложнее. Однако они нагляднее. Качество атмосферного воздуха во многих европейских городах, где 80 % выбросов загрязняющих веществ приходится на мобильные источники, не всегда соответствует современным требованиям.

Отработавшие газы двигателей, использующих в качестве топлива метан, уже сегодня соответствуют требованиям Евро-6.

ОАО «Газпром» является активным проводником политики широкого внедрения экологически безопасного и экономически привлекательного моторного топлива – природного газа – и создания соответствующей газозаправочной инфраструктуры.

МЕТАИнфо, фото GPG

## Развитие газомоторного рынка США

**С.А. Порожняков,**

зам. начальника лаборатории ООО «Газпром ВНИИГАЗ»,

**Е.Н. Пронин,**

зам. начальника Управления – начальник отдела ОАО «Газпром»,  
исполнительный директор НГА

## US NGV Market Development

S.A. Porozhnyakov, E.N. Pronin

В течение многих лет североамериканский рынок компримированного и сжиженного природного газа для транспорта находился в достаточно пассивном состоянии. Общий парк автомобилей на КПП и СПГ в США и Канаде насчитывал примерно 100 тыс. Америка традиционно делала ставку на электромобили, гибриды, машины на топливных элементах. Но несколько лет тому назад выход на энергетический рынок США сланцевого газа, сопровождавшийся дальнейшим ростом цен на нефтя-

ное моторное топливо, вывел метан в лидеры рынка. Сейчас по дорогам США бегают уже 120 тыс. машин на природном газе.

Крупнейшие автомобильные грузоперевозчики США (Premier Transportation, Transplace and Glacier Transportation & Logistics, Dillon Transportation LLC, C.R. England, Ryder Dedicated Logistics, CEVA Logistics и Werner Enterprises) переходят на компримированный и сжиженный природный газ. Расход дизельного топлива на один автомобиль/тягач

составляет от 30 до 70 т/год. Число коммерческих машин в компании доходит до 7 тыс.

Главный мотив собственников автотранспортных средств – возможность сэкономить по 0,40 долл./л топлива (в ценах апреля 2012 г.). Играть свою роль и экологические свойства метана. Это на уровне владельцев магистральных тягачей. А на уровне правительства США есть еще и геополитический императив – сокращение зависимости американской экономики от импортной нефти и замещение ее собственным природным газом. По данным корпорации Clean Energy Corp., уровень самообеспеченности США природным газом составляет 98 %.

Clean Energy Corp. является крупнейшим в Северной Америке игроком розничного рынка КПП и СПГ для автомобильного транспорта. У компании есть интересы в области производства и реализации биометана. Сеть заправок машин сжатым и сжиженным метаном насчитывает 273 станции. Clean Energy сотрудничает примерно с 530 автотранспортными компаниями,



АГНКС и криозаправки компании Clean Energy



Тягач Kenworth на СПГ (фото Kenworth Truck Co)

располагающими совокупным парком в более чем 25 тыс. АТС. Два завода компании в Техасе и Калифорнии обеспечивают получение более 60 млн галлонов СПГ в год (109 тыс. т в бензиновом эквиваленте).

Дочерняя компания корпорации BAF (приобретена в 2009 г.) активно работает на рынке переоборудования автомобилей для работы на природном газе и их технического обслуживания. Кроме того, в 2010 г. корпорация приобрела компанию IMW, выпускающую газозаправочное оборудование.

Еще одной сферой деятельности компании является кредитно-финансовая. Clean Energy Finance обеспечивает комфортные условия кредитования частных и муниципальных автотранспортных компаний, переоборудующих свои машины на газ или закупающих новые в газовом исполнении. В частности Clean Energy способствовала предоставлению налоговых кредитов автоперевозчикам из расчета от 4 до 32 тыс. долл. на каждый газовый автомобиль.

Таким образом, компания занимается несколькими взаимозависимыми нишами: производство КПГ и СПГ, производство оборудования АГНКС, строительство газовых заправок, переоборудование техники, кредитование потребителей газового топлива. Это напоминает подходы отраслевого строительства в СССР – корпорация полного производственно-сервисного цикла, закрывающая весь сегмент рынка.

Естественно, что имея такую гамму продукции и услуг, корпорация Clean Energy продвигает и крупные инфраструктурные проекты. Наиболее амбициозным является проект America's Natural Gas Highway (Американский хайвей на природном газе). Суть проекта заключается в масштабном развитии сети метановых заправок в США. Замысел предусматривает строительство на первом этапе, в ближайшие 2-3 года, 150 новых станций. Сеть должна обеспечить свободное движение газовых автомобилей в направлениях север – юг и запад – восток. Создание газового хайвея по времени синхронизировано с началом производства тяжелых грузовиков (8-й класс по американской классификации) с газовыми двигателями Cummins-Westport, Kenworth, Peterbilt, Navistar, Freightliner и Caterpillar.

## Газомоторный рынок Украины

**Е.Н. Пронин,**

зам. начальника Управления – начальник отдела ОАО «Газпром»,  
исполнительный директор НГА

## NGV Market in Ukraine

**E.N. Pronin**

**11** -12 апреля 2012 г. в Киеве (Украина) в выставочном центре «КиевЭкспоПлаза» прошли выставка «Мир сжиженных и сжатых газов» и 11-й Международный бизнес-форум «Применение газовых и альтернативных видов моторного топлива в транспортном комплексе Украины»,

организаторами которых стали Газовая ассоциация Украины, Украинская ассоциация производителей технических газов «УА-Сигма» и выставочная компания «Мэдвин».

Мероприятия поддержаны Киевской городской администрацией, министерствами энергетики и

угольной промышленности, транспорта, экологии и природных ресурсов Украины. На выставке продемонстрированы новые образцы газовых автомобилей, топливной аппаратуры, газовых баллонов, заправочной техники. Свои услуги рекламировали компании-установщики газобаллонного оборудования. А таких по Украине зарегистрировано 58!

Сравнительные данные газомоторных рынков России и Украины на апрель 2012 г. приведены в таблице.

Ситуация на рынке газовых моторных топлив Украины неоднозначная. Среди стран ближнего зарубежья Украина вышла на первое место по числу автомобилей, работающих на природном газе. Стоимость природного газа для

Параметры	Россия	Украина
Парк автомобилей общий	40 000 000	8 500 000
на КПГ	86 000	388 000
на СУГ	1 400 000	1 000 000
Спрос на КПГ в 2011 г., млн м <sup>3</sup>	365	625
Спрос на СУГ, млн т	2,8	Нет данных
Число АГНКС	242	324

автотранспорта составляет 61 % от стоимости бензина Аи-92 и 64 % от стоимости дизельного топлива. Однако для украинского газомоторного рынка такая ценовая разница – малопривлекательна. Сегодня, по оценке Газовой ассоциации Украины, рынок автомобильного метана не развивается. Интересно, что по данным НТЦ «Психея» (Киев) цены на АГНКС Украины вовсе не имеют жесткой привязки к экспортным ценам России на газ.

Украина – весьма продвинутый пользователь альтернативного моторного топлива. 4,6 % машин в стране используют метан и 11,8 % – СУГ. Однако после 2007 г. произошло значительное сокращение спроса на КПГ. Тогда, по словам представителей минтранса Украины, стоимость КПГ составляла менее 60 % стоимости бензина марки Аи-92. А суммарный спрос на метан в автомобильном сегменте газового рынка составил почти 1 млрд м<sup>3</sup>.

Сложившаяся ценовая разница не позволяет владельцам машин

окупить вложенные в переоборудование средства в приемлемые сроки. А поскольку основу владельцев украинского парка метановых автомобилей составляют частники, то приемлемыми считаются сроки в 1-2 года. Для государственных (муниципальные) предприятий срок возврата инвестиций составляет от 4 до 6 лет. Но этот сектор рынка для метана только начинает открываться.

Второй неприятностью для украинских владельцев газобаллонных автомобилей является то, что сегодня стоимость СУГ для автотранспорта равна или даже на 10-15 % ниже стоимости КПГ. Это ведет к тому, что некоторые владельцы, ранее использовавшие КПГ, сегодня переоборудуют технику на СУГ. При этом стоимость переоборудования машины на СУГ составляет в среднем 300, а на КПГ – 1000 долл. США.

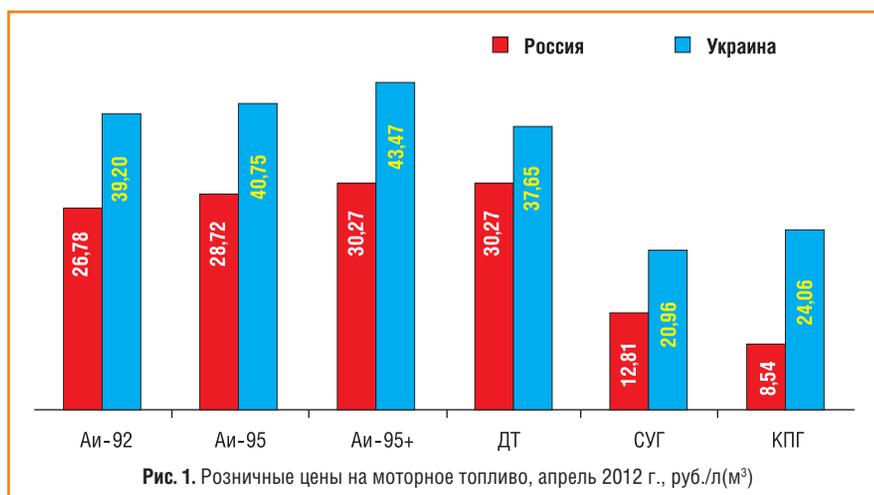
Первой ласточкой газового автомобилестроения на Украине станет автобус малого класса «Эталон» Бориспольского автомобильного



завода. Этот автобус был показан на киевской выставке. В настоящее время машина, оборудованная конвертированным дизельным двигателем Mercedes и шестью баллонами для КПГ (установлены под полом автобуса), проходит эксплуатационные испытания.

Первые отклики, по словам разработчиков, весьма положительные. Автобус оборудован сборными агрегатами: шасси компании Tata, двигатель, коробка передач, трансмиссия – компании Mercedes, система распределенного впрыска – украинской разработки.

Расход метана составляет от 15 до 20 м<sup>3</sup> на 100 км в зависимости от режима работы. По уровню выбросов автобус соответствует нормам Евро-3.



## Армия США переходит на альтернативное топливо

**С.А. Порожняков,**  
зам. начальника лаборатории ООО «Газпром ВНИИГАЗ»

### Alternative Fuels for the US Army

**S.A. Porozhnyakov**

Ведущие страны мира целенаправленно осуществляют переход на возобновляемые источники энергии. Вооруженные силы (ВС) ряда иностранных государств не остаются в стороне от данного «тренда». Лидером по плановому переходу на «зеленые технологии» являются вооруженные силы США. Причина – стройная система перевода национальной армии на источники возобновляемой энергии, созданная в этой стране. Правовой базой такого перевода служит ряд основополагающих документов, определяющих цели, задачи, а также пути достижения энергетической безопасности американской военной машины. К этим документам относятся: «Энергетическая стратегия сухопутных войск США для объектов инфраструктуры» (The U.S. Army Energy Strategy for Installations, июль 2005 г.); «Оперативный план по энерго- и водоснабжению объектов инфраструктуры сухопутных войск США» (The U.S. Army Energy and Water Campaign Plan for Installations, декабрь 2007 г.); Стратегия обеспечения энергетической безопасности сухопутных войск США (The Army Energy Security Implementation Strategy, январь 2009 г.); Указ президента США № 13514 (Executive Order 13514, октябрь 2009 г.) и ряд других.

**В** сфере интересов американских военных находятся и активно осуществляются проекты в области практически всех видов источников возобновляемой и альтернативной энергии: солнечной, геотермальной, гидрокинетической, ветровой, а также синтетического и биотоплива, водородных топливных элементов и др. Цель внедрения данных технологий в армии – сократить ее зависимость от нефтяных топлив, обеспечить максимальную автономность объектов военной инфраструктуры, повысить их безопасность в целом и каждого военнослужащего в частности.

В США с 1990 г. работает специализированный научный центр – Институт политики вооруженных

сил в области охраны окружающей среды. Основная задача института – оказывать содействие военным в разрешении политических и стратегических вопросов в области охраны окружающей среды, способных оказывать значительное влияние на объекты военной инфраструктуры и ведение боевых действий. Таким образом, американская армия в течение более чем 20 лет с нарастающими темпами осваивает альтернативные источники энергии.

Для ускорения реализации данных планов во всех основных видах вооруженных сил (сухопутные, военно-воздушные и военно-морские) создан новый специализированный орган – Оперативное формирование по энергетическим

инициативам (Energy Initiatives Task Force, сентябрь 2011 г.). В его состав входят группы экспертов, которые организуют и направляют работу по переходу армии на возобновляемые источники энергии.

Министерство обороны США, представляющее собой крупнейшего в мире корпоративного потребителя энергоносителей (до 15 млн т/год), получает 11,3 % энергии из возобновляемых источников. К 2025 г. их доля должна возрасти до 25 % от общего энергобаланса Пентагона. Усилия военных направлены на повышение энергоэффективности боевой техники, вооружения и объектов инфраструктуры (до 70 % для вновь возводимых, до 50 % для уже функционирующих). Предполагается повышение объемов использования перспективных видов биотоплива. В настоящее время Пентагон из своего 15-миллиардного энергобюджета вынужден тратить на нефтяные топлива 11 млрд долл.

Министерство обороны планирует к 2015 г. ежегодно направлять не менее 2,25 млрд долл. на замещение нефтяных топлив альтернативными. Сухопутные войска к 2020 г. должны сократить потребление ископаемых видов топлива на 30 %, а ВМС и ВВС – на 50 %.

Лидером по освоению перспективных альтернативных видов топлива являются военно-воздушные силы. Так, еще в 2011 г. ВВС должны были обеспечить сертификацию всех летательных аппаратов на возможность использования 50 % альтернативного топлива, а к 2016 г. довести долю потребляемого биотоплива для летательных аппаратов, базирующихся на континентальной части США, до тех же 50 %. ВМС и Корпус морской пехоты планируют достичь аналогичного результата в 2020 г. Сухопутные войска до настоящего времени не ставят перед собой каких-либо временных или цифровых показателей, тесно сотрудничая при этом в деле

освоения альтернативных видов топлива с ВВС.

Столь целенаправленное и усердное внедрения возобновляемых и альтернативных источников энергии в вооруженных силах США обусловлено высокими ценами на нефть, на долю которой в настоящее время приходится около 80 % энергоносителей, используемых в американской армии. Так, увеличение цены 1 брл нефти на мировом рынке на 1 долл. автоматически ведет к росту военных расходов только в ВМС США на 30 млн долл./год. По сведениям одного отставного высокопоставленного функционера Пентагона, затраты на энергоносители в группировках ВС США в Афганистане и Ираке, используемые на кондиционирование воздуха и создание других комфортных условий для американских солдат, могут достигать 20 млрд долл./год! Абсолютно ошеломляющая цифра, которая, впрочем, не подтверждается официальными источниками.

На определенном этапе Пентагон принял решение выступить в качестве своеобразного «локомотива» в разработке, тестировании и внедрении новых «зеленых» технологий в масштабе всей страны, как он уже неоднократно поступал, например, в области авиастроения, электроники и внедрения Интернета. Затраты на внедрение данных технологий возросли в США в период с 2006 по 2009 г. на 300 %, то есть с 400 млн до 1,2 млрд долл./год. Планируется, что данные затраты должны до 2030 г. составить не менее 10 млрд долл./год. Министерство обороны намерено добиться по всем видам ВС к 2025 г. замещения 25 % энергоносителей на альтернативные.

В то же время необходимо отметить, что в США существует также менее оптимистичное мнение о перспективах внедрения альтернативных источников энергии в национальных вооруженных силах.

Так, НИИ по вопросам национальной обороны (подразделение корпорации RAND) по заказу Пентагона провел специальное исследование и в 2011 г. по его результатам опубликовал доклад «Альтернативные виды топлива для использования в ВС» (Alternative Fuels for Military Applications). Согласно докладу, Пентагон не получит прямых выгод от использования альтернативных видов топлива вместо их нефтяных аналогов.

Наоборот, не исключено, что использование альтернативного топлива усложнит тыловое обеспечение частей и подразделений. Нет уверенности в том, что производители альтернативного топлива будут продавать его по меньшим по сравнению с нефтяным ценам.

В течение ближайших 10 лет внедрение альтернативного топлива будет сдерживаться фактором отсутствия системы его широкомасштабного производства. Если же разработки Пентагона по внедрению возобновляемых и альтернативных источников энергии окажутся успешными, они будут полезны скорее для Америки в целом, чем для ее вооруженных сил.

Совершенно очевидно, что в силу необходимой унификации США, являясь ведущим государством-членом Североатлантического союза (НАТО), окажут в деле внедрения альтернативных источников энергии сильное влияние на своих европейских союзников по блоку, которые уже в рамках Евросоюза реализуют свою программу перехода на «зеленые» технологии, в том числе и на транспорте.

Таким образом, в США, а в ближайшей перспективе и в других странах-членах НАТО, продолжатся активные процессы освоения альтернативных источников энергии, направленные на снижение нефтяной зависимости, повышение уровня безопасности и автономности, а также сохранение окружающей среды.

### КОММЕНТАРИЙ НГА

Для силовых структур России постепенный перевод части транспорта общего назначения на газовое топливо также мог бы принести существенные экономические и операционные преимущества. Речь идет не о технике, предназначенной для выполнения боевых задач. На газовые виды моторного топлива можно переводить армейские автомобили, выполняющие задачи тылового обеспечения: машины для перевозки личного состава, продуктов, различного оборудования, хозяйственных грузов, то есть те, которые на языке военного приказа осуществляют «автотранспортное обеспечение жизнедеятельности органов военного управления и воинских формирований». Таких машин в Вооруженных Силах и других силовых структурах России (ФСБ, МВД, ГО МЧС, Спецстрой) – десятки тысяч!

Ссылки на якобы неминуемую потерю качества автомобиля несостоятельны. Переоборудуемые машины сохраняют полноразмерную штатную топливную систему, что удовлетворяет требованиям их эксплуатации в чрезвычайных условиях и позволяет существенно (минимум в три раза) сокращать затраты на горюче-смазочные материалы.

В качестве примера успешной газификации автомобилей специального назначения можно привести Муниципальное бюджетное учреждение здравоохранения «Санитарный автотранспорт» г. Стерлитамак (Республика Башкортостан). Там из 152 автомобилей уже 12 лет на метане работают 62 машины скорой и неотложной помощи, а также легковые автомобили (те же УАЗы, «Газели», «Волги», что и в армии). Годовая экономия затрат на топливо на этих автомобилях составляет 30-38 %. Особенно значительную экономию предприятие получает в зимний период, когда большую часть времени автомобиль находится на линии вне теплых помещений. Затраты на переоборудование автомобиля скорой помощи окупаются за 5-7 мес.

Едва ли задачи, которые стоят перед стерлитамакскими машинами скорой помощи, менее важны, чем те, которые стоят перед армейскими машинами, везущими белье в стирку или бетон на стройку.

## Баллоны с СУГ: откуда исходит опасность?

**М.С. Недлин,**  
зам. генерального директора ОАО «Гипрониигаз», к.э.н.,  
**Ю.Н. Вольнов,**  
начальник технического отдела ОАО «Гипрониигаз»,  
**Р.П. Гордеева,**  
технический директор ООО «Еврогалс»

В статье приводятся сведения о достоинствах сжиженных углеводородных газов (СУГ), применяемых в качестве моторного топлива для автомобилей, указан рост потребления СУГ как моторного топлива. Приведены сведения об изготовителях автомобильных баллонов, о разных методах наполнения баллонов: бытовых – весовым методом, автомобильных – по уровню.

Приведена статистика взрывов бытовых баллонов. Проанализированы факторы аварийных ситуаций, основными из которых является человеческий фактор (недостаточная обученность персонала АГЗС и потребителей, пренебрежение правилами техники безопасности, несоблюдение требований пожарной безопасности).

Сделан вывод о возможности снижения риска аварий и взрывов при эксплуатации баллонов за счет повышения исполнительской дисциплины персонала, обучения потребителей правилам эксплуатации баллонов и ужесточения контроля со стороны надзорных органов.

**Ключевые слова:** СУГ, баллоны, наполнение, заправка, взрыв, техническое освидетельствование.

## Cylinders with LPG: where the danger comes from?

**M.S. Nedlin, Yu.N. Volnov, R.P. Gordeyeva**

Data on advantages of the LPG used as motor fuel for automobiles are given, growth of LPG consumption as motor fuel is specified. Data of automobile cylinder manufacturers and different methods of cylinder filling are adduced for domestic cylinders by weight method and automobile ones by level.

Statistics for domestic cylinder explosions is given. Factors of emergencies are analyzed, basic of which is the human factor, namely, insufficient training of Car fuelling station staff and the consumers, neglect of safety precaution regulations, non-observance of fire safety requirements.

The conclusion of risk reduction opportunity for failures and explosions is made at operation of cylinders on increase of executive discipline of the personnel, training of consumers in service regulations of cylinders and toughening of control over supervising bodies.

**Keywords:** LPG, cylinders, filling, refueling, explosion, technical examination.

Сжиженными углеводородными газами в России и странах СНГ традиционно со времен СССР называют смеси углеводородов (пропан, бутан, пропилен, бутилен) с избыточным давлением насыщенных паров не более 1,6 МПа при температуре 45 °С и не менее 0,07 МПа при температуре –30 °С.

СУГ в качестве топлива используется для коммунально-бытовых и производственных нужд, в качестве моторного топлива для заправки автотранспорта, для технологических нужд в промышленности. Особенно широко в последние годы СУГ используется в качестве моторного топлива для автотранспорта из-за его экологических и теплотехнических характеристик, которые лучше по сравнению с дизельным топливом и значительно лучше по сравнению с бензином.

Этот сегмент рынка СУГ пока еще не очень велик (5...7 % от общего производства СУГ), на СУГ в настоящее время переведено примерно 10 % автомобилей. Однако автогазозаправочные станции строятся (правда, не такими темпами, как 10 лет назад), автомобили переводятся на СУГ, и по данным фирмы «КОРТЕС» в период с 2007 по 2011 г. наблюдался рост на 6,7 % потребления СУГ, используемых в качестве моторного топлива.

СУГ, используемые в качестве моторного топлива, дешевле в 1,5...1,7 раза бензина и дизтоплива, что играет решающую роль при переводе автомобилей на газ. Однако при эксплуатации автомобильных и бытовых баллонов возникают следующие проблемы:

- несанкционированное наполнение бытовых баллонов на АГЗС;
- отсутствие технической возможности проведения освидетельствования автомобильных баллонов, что сказывается на безопасности их эксплуатации;
- отсутствие грамотного обучения потребителей правилам эксплуатации баллонов;
- наполнение автомобильных баллонов на 90 % в соответствии с ПБ 12-609-03 и ПБ 12-527-03 вместо 80 % в соответствии с ОСТ 37.001.553-99.

В настоящее время применяются автомобильные баллоны производства нескольких предприятий России и стран СНГ: ОАО «Центрсвар» (г. Тверь),

ОАО «Рузхиммаш» (г. Рузаевка), Новогрудского завода газовой аппаратуры (Белоруссия), фирмы СТАКО (Польша) и др. Автомобильные баллоны выпускаются объемом от 40 до 230 л, тороидальные – от 40 до 95 л.

Автомобильные баллоны отличаются при наполнении от бытовых тем, что последние наполняются по массе (кг) с использованием весовых установок, а автомобильные – по уровню (л) на газораздаточных колонках при отпуске СУГ. Для заправки по уровню баллоны оснащены указателем уровня с запорным клапаном, который срабатывает и прекращает заправку при наполнении баллона на 90 % в соответствии с п. 11.7 ПБ 12-527-03 «Правила безопасности при эксплуатации автомобильных заправочных станций сжиженного газа» и п. 6.7 ПБ 12-609-03 «Правила безопасности для объектов, использующих сжиженные углеводородные газы». Это вступает в противоречие с п. 4.1 ОСТ 37.001.Б53-99 «Газобаллонное оборудование для транспортных средств, использующих газ в качестве моторного топлива», в соответствии с которым баллоны СУГ должны наполняться на 80 %.

При разработке и согласовании ГОСТ Р «Системы газораспределительные. Объекты сжиженных углеводородных газов. Общие требования к эксплуатации. Эксплуатационная документация» с ВНИИПО МЧС этот вопрос был поднят специалистами ВНИИПО МЧС, и при обращении разработчиков ГОСТ Р (ОАО «Гипрониогаз») в Ростехнадзор было согласовано заполнение баллона на 80 %. Данный ГОСТ находится на рассмотрении в Росстандарте, и после ввода его в действие необходимо будет заправлять автомобильные баллоны на 80 %.

Конечно, в нормативных документах можно указать любые цифры, но как заставить работать по правилам заправщиков баллонов на АГЗС?

Не секрет, что заправщику нужно продать как можно больше СУГ, поэтому если клиент просит «налить побольше» – ему и наливают, тем более что зачастую владельцы газобаллонных автомобилей вынимают уровнемер из баллона. И что немаловажно, водителей этих автомобилей никто не обучает правилам эксплуатации баллонов и в целом газобаллонного оборудования.

Конечно, далеко не каждый переполненный автомобильный баллон взорвется, так как он в любом случае эксплуатируется на улице при той же температуре, при которой и наполняется. Однако любой переполненный баллон, как бытовой, так и автомобильный, – это источник повышенной опасности.

Перевод на СУГ автотранспорта в последнее время несколько замедлился из-за вытеснения с городских улиц «Газелей», которые были основными потребителями СУГ, и замены их автобусами зарубежного производства с дизельными двигателями. В этой замене немаловажную роль сыграл фактор опасности газового оборудования, установленного практически на всех «Газелях».

Кроме автомобильных баллонов, в эксплуатации находятся миллионы бытовых баллонов.

По данным Технического паспорта газового хозяйства Российской Федерации по состоянию на 01.01.2007 г., уровень газификации жилого фонда СУГ составлял 17,77 %, из них в восьми регионах России СУГ – единственный вид топлива, а в 13 регионах – преобладающий.

Около 50 млн чел. в 2010 г. в 78 регионах России использовали СУГ для бытовых нужд, при этом на базе СУГ газифицировано около 13 млн квартир (45 % в городах и поселках городского типа, 55 % в сельской местности).

Автономное газоснабжение в России осуществляется от резервуарных с естественным и искусственным

испарением и от индивидуальных и групповых баллонных установок, выбор которых определяется требуемым расходом паровой фазы СУГ и, соответственно, испарительной способностью баллонной установки. Всего в России находятся в эксплуатации около 20 тыс. резервуарных и групповых баллонных установок, а число индивидуальных точно не определялось.

Для газоснабжения жилых домов используются газобаллонные установки трех типов. Самой простой из них является индивидуальная установка с одним баллоном вместимостью 50 л, устанавливаемым непосредственно на кухне. Индивидуальные установки второго типа с двумя баллонами объемом 50 л каждый устанавливаются вне здания в специальном металлическом шкафу. Групповые установки третьего типа с баллонами вместимостью 50 л – также вне здания в специальном металлическом шкафу. Максимальная вместимость баллонов в групповой установке, располагаемой у стены жилого здания, не должна превышать 600 л, а устанавливаемой на расстоянии от стены здания – 1000 л.

Баллонные установки предназначены, в основном, для газоснабжения отдельных квартир, при этом СУГ используются только на приготовление пищи.

Во времена СССР наполнение баллонов проводилось на ГНС или ГНП, далее они доставлялись на пункты обмена баллонов или непосредственно потребителям. При этом каждая баллонная установка была на учете, на нее



Взрыв автомобиля, оснащенного газобаллонным оборудованием для СУГ

оформлялся паспорт, осуществлялось техническое обслуживание и централизованная замена баллонов, проводился инструктаж жителей по правилам пользования газом в быту. Поэтому взрыв баллонов в прошлом веке был из ряда вон выходящим случаем.

В настоящее время баллоны наполняются не только на ГНС весовым методом, но и на АГЗС, на которых отсутствуют специальные весовые установки для наполнения баллонов и контрольные весы, а баллоны наполняют на тех же топливораздаточных колонках (ТРК), что и автомобильные баллоны. При этом велик риск переполнения бытовых баллонов, так как на ТРК баллоны наполняют по объему, а не по массе, как указано в ПБ 03-576-03, в которых приведены нормы наполнения баллонов СУГ в кг/л геометрического объема баллона.

Статистика взрывов показывает, что основное количество взрывов происходит в зимнее время, когда переполненный баллон вносят в отапливаемое помещение, а СУГ, имеющие значительный коэффициент расширения, в помещении нагреваются и расширяются, давление в баллоне увеличивается, достигая

максимально разрешенного (1,6 МПа). Газ начинает выходить через вентиль и его резьбовое соединение с баллоном. При достижении нижнего концентрационного предела распространения газа в воздухе помещения достаточно искры, чтобы произошел взрыв.

В последние годы баллоны с СУГ широко используются при установке натяжных потолков, для освещения уличных кафе, приготовления фастфуда. Эти баллоны не поднадзорны Ростехнадзору, на них не разрабатываются проекты, пользователей этих баллонов никто не обучает безопасным методам эксплуатации. Из-за бесконтрольности рынка баллонов, их неправильной установки и эксплуатации резко возросло число взрывов: так, в 2011 г. было зафиксировано 13 взрывов баллонов, а за 3 мес. 2012 г. – уже 15 (по данным интернета).

Кроме вопросов несанкционированного наполнения бытовых баллонов, на АГЗС остро стоит вопрос их технического освидетельствования. В соответствии с ПБ 03-576-03 «Правила устройства и безопасной эксплуатации баллонов, работающих под давлением» бытовые баллоны необходимо подвергать

техническому освидетельствованию 1 раз в 5 лет, автомобильные в соответствии с ПБ 12-527-03 – 1 раз в 2 года. Когда баллоны наполнялись на ГНС, там же проходило техническое освидетельствование бытовых и автомобильных баллонов.

В настоящее время многие ГНС перешли в частную собственность, и инвесторы стараются освободиться от не приносящих прибыли работ, не говоря уже о том, чтобы строить новые пункты по освидетельствованию баллонов. Однако и владельцы газобаллонного оборудования не спешат на освидетельствование баллонов даже там, где такие пункты имеются.

Таким образом, сейчас в России отсутствует единая политика, направленная на безопасную эксплуатацию баллонов с СУГ, сломана система распределения СУГ, индивидуальные баллонные установки и автомобильное газобаллонное оборудование бесконтрольны, потребители не обучены правилам эксплуатации баллонов. И если не ужесточить правила продажи, установки, заправки и эксплуатации баллонов, то взрывы будут продолжаться, а люди – гибнуть.

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](mailto:balcity@balcity.ru)  
[sales@balcity.ru](mailto: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.

## Перевод муниципального автотранспорта на ГМТ в Белгородской области

**Н.В. Хренков,**

заместитель директора Института национальной энергетики

## Conversion of municipal motor transport on gas in Belgorod region

**N.V. Khrenkov**

**В** Ракитянском р-не Белгородской обл. дышится легче, чем у соседей, поскольку раkitянцы лучше умеют считать деньги. В этом утверждении нет никакого парадокса. «Дышится легче» – выражение, конечно, фигуральное, но небезосновательное при этом.

Все началось 10 лет назад, когда администрация Белгородской обл. 22 февраля 2002 г. приняла постановление № 106 «О переводе автотранспорта областной бюджетной сферы на газообразное топливо», которое предусматривало постепенный переход регионального и муниципального транспорта на метан и сжиженный углеводородный газ (СУГ). Ракитянские власти принялись выполнять это постановление, тем более что, по расчетам специалистов, районному бюджету переход на СУГ в перспективе сулил неплохую экономию.

В рамках собственной районной программы с 2002 по 2006 г. на газ было переведено 51 транспортное средство из 84, обслуживающих бюджетную сферу. К началу 2012 г. это соотношение составило 78 из 96.

Спектр газифицированной техники самый разнообразный. Это и вазовские модели (всего 26 ед., из которых половина – «семерки» и примерно треть – «Нивы»), и «Газели», и «уазики», а также 15 школьных автобусов производства Курганского и Павловского автомобильных заводов. Любопытно, что газобаллонное оборудование (ГБО) было установлено и на иномарки (три «Киа Спектра» и одна «Тойота Камри»). Их перевод

на газ стоил значительно дороже, однако, эти расходы себя оправдали.

Детальный анализ эффективности установки ГБО администрация района провела в прошлом году и убедилась, что силы и средства были потрачены не зря. Как показали расчеты, общая экономия (за счет разницы цен на бензин и пропан-бутановую смесь) за 2008-2010 гг. с учетом стоимости газового оборудования составила 5,2 млн руб. или 24,6%. В 2011 г. этот показатель составил около 2,4 млн руб. или 25,7%. Словом, когда казенные автомобили перестали жечь бензин, топливные затраты в бюджетной сфере района снизились на четверть. Впрочем, не только жечь, но и сливать, чем грешат, как известно, многие водители.

Анализ также включал и расчеты по конкретным маркам транспортных средств. Выяснилось, что для отечественного ГБО срок окупаемости составил от 2 мес. до одного года, для иностранного – от 15 до 23 мес.

### Говорящие цифры и немного математики

Подсчеты проводились следующим образом. В качестве исходных данных брались годовые суммы затрат при работе автомобиля на бензине и на газовом топливе с учетом среднегодового пробега автомобиля, расхода ГСМ на 100 км и стоимости бензина или газа. Экономией соответственно считалась разница между годовыми суммами затрат при эксплуатации на бензине и пропан-бутане. Срок окупаемости рассчитывался

следующим образом: общая сумма затрат по переводу автомобиля на ГБО умножалась на 36 мес. и делилась на сумму экономии за три года.

Результаты расчетов настроили администрацию района практически на 100%-ю газификацию своего транспорта. Из оставшихся в бюджетной сфере 18 автомобилей десять – с большим сроком эксплуатации, поэтому через 2-3 года они будут просто списаны. Другие восемь – новые транспортные средства, которые пока находятся на гарантии, но к 2014 г. все они будут оснащены ГБО: это пять вазовских моделей и три иномарки. Общая сумма затрат составит около 200 тыс. руб. В итоге через пару лет Ракитянский р-н станет первым в области, а, возможно, и в России, где весь автотранспорт бюджетной сферы будет ездить на экологически чистом топливе.

Таким образом, раkitянские районные власти полностью и с опережением графика выполняют одну из статей принятого в 2009 г. Федерального закона № 261 «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности», которая предписывает местным властям увеличить долю транспорта, работающего на газомоторном топливе.

Таких успехов район смог добиться лишь в тесном сотрудничестве с поставщиками топлива. Партнером администрации выступила компания «Газэнергосеть Белгород» – дочернее общество ОАО «Газпром газэнергосеть» (оператор ОАО «Газпром» по реализации СУГ, нефтепродуктов и серы). Газовики предложили свои услуги по оснащению автотранспорта ГБО и обеспечили поставки газомоторного топлива.

– С заправками у нас проблем нет, – говорит глава администрации Ракитянского р-на В.Перцев. – Раньше была одна передвижная АГЗС, теперь «Газпром газэнергосеть» строит в районе стационарную заправку. Это обусловлено тем, что к бюджетной сфере стали подтягиваться и частники.

### Вслед за бюджетниками на газ переходят сельхозпроизводители

Насчет частников – совершенно справедливо. Ракитянцы оказались весьма восприимчивы к новациям

в сфере экологичного и экономически эффективного топлива. Речь идет не только о владельцах машин, но и о коммерческих компаниях. Агропромышленный холдинг «БЭЗРК-Белгранкорм» – одна из крупнейших многоотраслевых, вертикально интегрированных компаний российского сельскохозяйственного сектора. Головной офис и большая часть производственной базы холдинга расположены в Ракитянском р-не. На этом предприятии решили отдать предпочтение пропан-бутану. Инициатором перехода на газ выступил председатель совета директоров холдинга А.Орлов, по указанию которого с 2006 г. начался перевод транспортных средств компании на СУГ. За последние 5 лет были газифицированы 140 машин или около 90 % всего автопарка, расположенного в Ракитянском р-не Белгородской обл. и Крестецком р-не Новгородской обл., где работает подразделение холдинга. В их числе 37 «Жигулей» разных модификаций, 35 «Газелей», 19 «уазиков» и 27 автобусов ПАЗ. Дешевле всего обходилась установка ГБО на вазовские машины (в среднем 18,2 тыс. руб./автомобиль). Самая высокая цена – оснащение газовым оборудованием автобусов (в среднем 26,7 тыс. руб./автобус). Но все расходы оказались оправданными, что любопытно, затраты на ПАЗы окупались гораздо быстрее, чем на «Жигули» – всего за 2 мес. против одиннадцати. Связано это с тем, что среднемесячный пробег автобусов примерно вдвое превосходит этот же показатель у легковушек на фоне более высокого расхода топлива.



В агрохолдинге «БЭЗРК-Белгранкорм» 27 таких автобусов работают на ГМТ

Переход на СУГ позволяет холдингу экономить ежемесячно 671 тыс. руб., ежегодно – более 8 млн руб. Кроме того, удалось изжить одно неприятное явление, о котором рассказывает генеральный директор ООО «Белгранкорм» (ключевое производственное подразделение холдинга). «Мы с вами понимаем, что у русского человека всегда имеется интерес к тому, что в баке, а там – голубое топливо, его не продашь, – поясняет И.Решетняк. – Некоторые водители при устройстве к нам на работу как узнают, что придется ездить на газе, сразу же отказываются от места».

Гендиректор также обращает внимание на экологический аспект перехода на СУГ: «Мы меньше будем засорять атмосферу вредными выбросами от использования топлива, что тоже очень важно». Кстати, этот факт отметили и эксперты Евросоюза, проводившие в 2011 г. аудит компании, которые проверяли не только условия производства и перевозки продукции, но и какой вид топлива для этого используется.

#### Эстафету принимает Нижегородская область

Массовый перевод своих транспортных средств на СУГ позволил администрации Ракитянского р-на и «БЭЗРК-Белгранкорм» опытным путем опровергнуть утверждение некоторых автолюбителей о том, что газомоторное топливо плохо влияет на работу двигателя. «Сколько мы работаем, абсолютно никаких проблем, – говорит первый заместитель главы администрации Ракитянского р-на по стратегическому развитию В.Воробьев. – При правильной эксплуатации автомобиля и соблюдении всех рекомендаций завода-производителя ГБО



Одна из АГЗС в г. Белгород после ребрендинга. Проходимость такой АГЗС – 200-300 ед. транспорта ежедневно

износ двигателя такой же как и при использовании бензина». Ему вторит И.Решетняк: «Если машина обслуживается несвоевременно, то не надо на топливо грешить».

Они далеко не единственные в Белгородской обл., кто видит многочисленные преимущества газомоторного топлива. Уже упоминавшееся постановление областного правительства, подписанное в 2002 г., позволило к 2012 г. довести число автотранспорта на газомоторном топливе, находящегося в ведении областных и районных властей, а также их структурных подразделений, до 1,5 тыс. Достигнутый эффект высоко оценили в правительстве Белгородской обл., принято решение в 2012 г. перевести на газ еще около 1 тыс. автомобилей бюджетной сферы.

С оглядкой на Белгородский опыт и при поддержке федеральной власти служебный транспорт стали переводить на газ и в других регионах. В рамках подписанного 29 марта этого года соглашения между правительством Нижегородской обл., ЗАО «СИБУР Холдинг» и ОАО «Газпром газэнергосеть» в области реализуется пилотный проект по переводу общественного транспорта на СУГ. В начале апреля здесь закончили установку ГБО на 100 муниципальных автобусах ПАЗ в 10 автотранспортных предприятиях Нижегородской обл. В результате ожидаемая экономия бюджета должна составить более 8 млн руб./год. Ракитянский опыт показывает, что такие ожидания и расчеты вполне оправданны.

## Оценка эффективности различных систем подачи газа автомобильных двигателей

**М.А. Скворцова,**

аспирант Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева,

**С.А. Тихомиров,**

аспирант Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева

В статье представлены результаты анализа эффективности перевода на газовое топливо автомобильных двигателей с распределенным впрыском бензина. Рассмотрены потери, свойственные различным поколениям газовых систем. Приводятся результаты экспериментальных исследований двигателя, дооборудованного разными системами питания СУГ на различных режимах.

**Ключевые слова:** перевод на газовое топливо, нагрузочная характеристика, системы газоподдачи.

## Performance evaluation of various gas supplying systems for automobile engines

**M.A. Skvortsova, S.A. Tikhomirov**

The paper presents the analysis of gaseous fuel conversion efficiency for automobile gasoline engines with multiport gasoline injection. The losses inherent in the different generations of gas systems are considered. The results of experimental research of engine retrofitted with different LPG systems in different modes are presented.

**Keywords:** transfer to gas fuel, load characteristic, gas supply system.

При конвертации серийных бензиновых двигателей на газ возникают дополнительные потери эффективности по сравнению с монотопливными двигателями, спроектированными под конкретное газовое топливо.

Для определения способа более эффективного использования газового топлива был проведен ряд экспериментов на двигателе ВАЗ 21114 со штатной системой распределенного

впрыска бензина и блоком управления «Январь 7.2». Двигатель был установлен на тормозном стенде в лаборатории ДВС Нижегородского государственного технического университета.

Первоначально был проведен анализ эксплуатационной экономичности наиболее распространенных легковых автомобилей, переоборудованных для работы на сжиженном углеводородном газе (СУГ). Статистика показала, что в день каждый автомобиль совершал две поездки дальностью около 7 км с промежуточным охлаждением автомобиля. Задаваясь средними эксплуатационными расходами топлива, можно приблизительно рассчитать затраты на топливо за год. Расход бензина при эксплуатации прогретого двигателя примем 10 л/100 км, непрогретого – 15 л/100 км. Расходы на СУГ соответственно 13 и 14 л/100 км. Стоимость бензина 27 руб./л, газа – 17 руб./л.

Рассмотрим три режима движения, отличающихся наличием или отсутствием прогрева двигателя.

1. «Лето» без прогрева: автомобиль запускается на бензине и сразу начинает движение. Примерно через 500 м двигатель прогревается и переходит на газ. Автомобиль движется на газе 6,5 км.

2. «Зима» без прогрева: после пуска автомобиль на бензине едет около 2 км, затем переключается на газ и оставшиеся 5 км движется на этом топливе.

3. «Зима» с прогревом: после пуска автомобиль на месте прогревается до 40 °С, затем движется на газе 7 км.

В течение года три очень холодных месяца автомобиль эксплуатируется по варианту 3, три холодных месяца – по варианту 2 и шесть теплых – по варианту 1. Общие затраты на топливо для газобаллонного автомобиля (таблица) рассчитаны ориентировочно, поскольку очень зависят от цен на топливо.

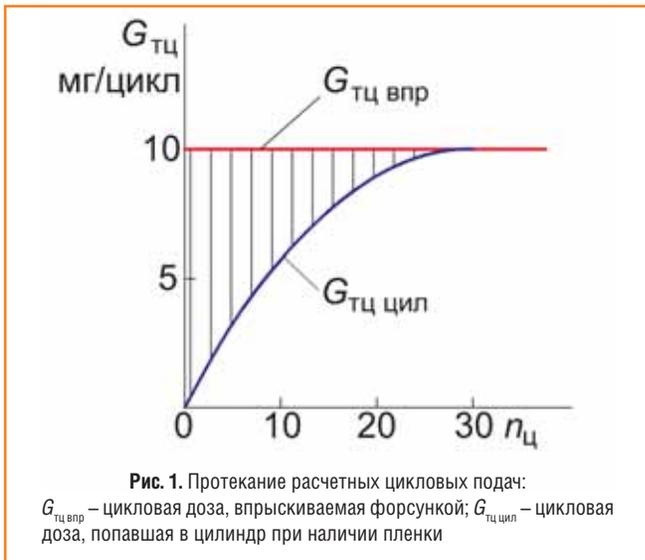
Видно, что типичный газобаллонный автомобиль (двухтопливный) является газовым только на 80 %. 136 л бензина в год не только снижают его экономическую привлекательность, но и сгорают в неблагоприятных условиях. Работа бензинового двигателя при низких температурах окружающего воздуха всегда проходит на обогащенных смесях с большим выбросом несгоревших углеводородов.

Наиболее привлекательны системы подачи газа, способные работать во всем диапазоне режимов, включая холодный пуск. Газ не требует дополнительного обогащения на непрогретом двигателе, и его расход, а значит и выбросы несгоревших углеводородов практически не увеличиваются.

Известны четыре поколения газоподающих систем, отличающихся степенью электронного управления и местом ввода газа во впускную трубу [1]. В нашем случае использовались центральный смеситель в паре с газовым редуктором Vialle или система распределенного впрыска газа с электромагнитными форсунками (ЭМФ) «Фаворит» и двухступенчатым газовым редуктором (четвертое поколение). Работа смесителя осуществлялась с помощью ручного дозатора (первое поколение) или

**Усредненная годовая потребность в топливе для легкового автомобиля**

Топливо	Затраты бензина, л	Затраты газа, л	Стоимость, руб.
Бензин	576	–	15552
Бензин + газ	136,8	585	13638
Газ	–	709,2	12056

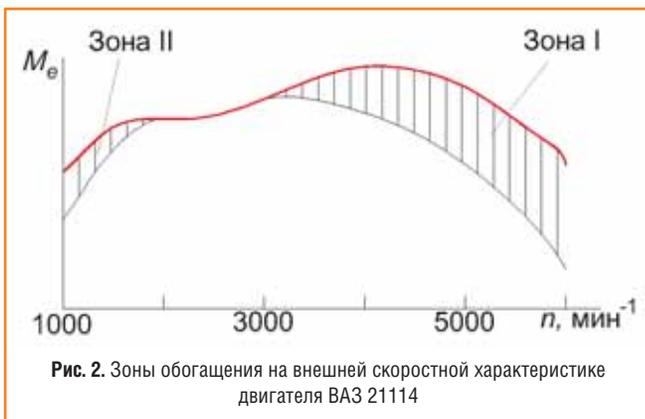


электронноуправляемого с обратной связью по кислородному датчику (второе поколение).

В варианте с ЭМФ переход на газ осуществляется только после прогрева двигателя до температуры охлаждающей жидкости не менее 40 °С. Пуск холодного двигателя на газе здесь исключен. Блок управления газом перехватывает импульсы с бензиновых форсунок и подает на газовые ЭМФ, увеличивая их длительность на величину соответствующих поправочных коэффициентов. Пуск на бензине на 20 % снижает степень использования альтернативного топлива, увеличивая при этом токсичные выбросы. Количество углеводородов, выброшенных за один из четырех циклов городского движения (198 с), по Правилам ЕЭК ООН № 83 составляет на бензине 22,6, а на газе 0,56 г, то есть в 40 раз меньше.

Копирование импульсов бензиновых форсунок автоматически вынуждает копировать и накладываемые на них корректирующие воздействия. Например, известно, что бензин не полностью испаряется во впускной трубе. Часть его при подаче из форсунки оседает на стенках впускной системы в виде пленки. На статических режимах наступает некое равновесие между топливом, ушедшим в пленку, и вышедшим из нее. В динамике (открытие или закрытие дросселя) баланс нарушается. По исследованиям [2] и собственным экспериментам восстановление происходит после 20...30 циклов работы (рис. 1).

В программе управления бензоподачей в течение всех циклов с нарушенным балансом обязательно заложена



компенсация осевшего в виде пленки бензина, выражающаяся в подаче дополнительного топлива. В нашем случае линия перехода экспоненциальная, а длительность перехода к статической подаче соответствует  $N=30$  циклам работы двигателя.

$$G_{тц\ цили} = G_{тц\ впр} (1 - e^{-n_{ц}/10}).$$

Количество дополнительного топлива, которое будет подано для компенсации баланса за счет пленки, определится как площадь между соответствующими кривыми (заштрихованный участок, см. рис. 1).

$$G_{доп} = \int_0^N (G_{тц\ впр} - G_{тц\ цили}) dn_{ц};$$

$$G_{доп} = \int_0^N (G_{тц\ впр} - G_{тц\ впр} (1 - e^{-n_{ц}/10})) dn_{ц} =$$

$$= G_{тц\ впр} \int_0^{30} e^{-n_{ц}/10} dn_{ц}.$$

При подаче  $G_{тц\ впр} = 10$  мг/цикл дополнительная доза составит 95 мг бензина.

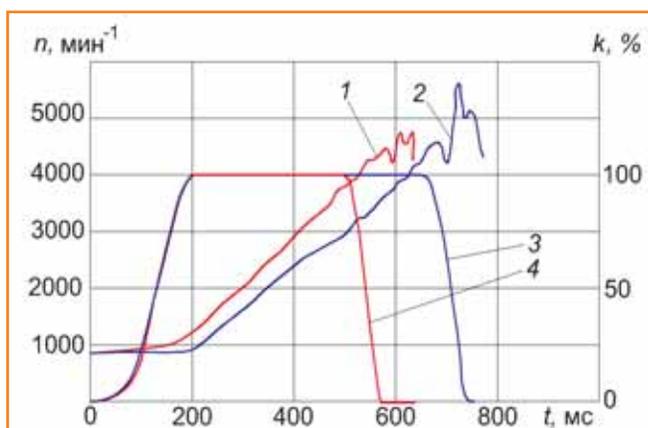
$$G_{доп} = 100 (1 - e^{-3}) = 95 \text{ мг.}$$

Например, для автомобиля VAZ 2110 при движении по городу со средней скоростью 30 км/ч совершается 10 набросов нагрузки за 1 мин, а за 1 ч теряется 60 г бензина. Если общий расход 7 кг/100 км (или 2 кг/ч), то экономичность автомобиля в целом снижается на 3 %. При работе на газе все алгоритмы увеличения цикловых доз сохраняются, хотя и становятся совершенно неоправданными. Прирост расхода газа составит те же 3 %.

Аналогичное увеличение расхода можно обнаружить и на режимах полных нагрузок. Здесь обратная связь игнорируется блоком управления, и продолжительность бензиновых импульсов существенно увеличивается. На внешней скоростной характеристике двигателя выявлены две характерные зоны высокого обогащения, то есть существенно больше того, что необходимо для обеспечения мощностной смеси (рис. 2).

В зоне высоких частот вращения (зона I) обогащение вызвано стремлением снизить температуру свежего заряда за счет затрат теплоты на испарение бензина, в зоне малых частот (зона II) – снизить склонность к возникновению детонации. Видно, что оба подхода неактуальны для газообразного топлива, но при копировании импульсов бензиновых форсунок соответственно реализуются и на газе.

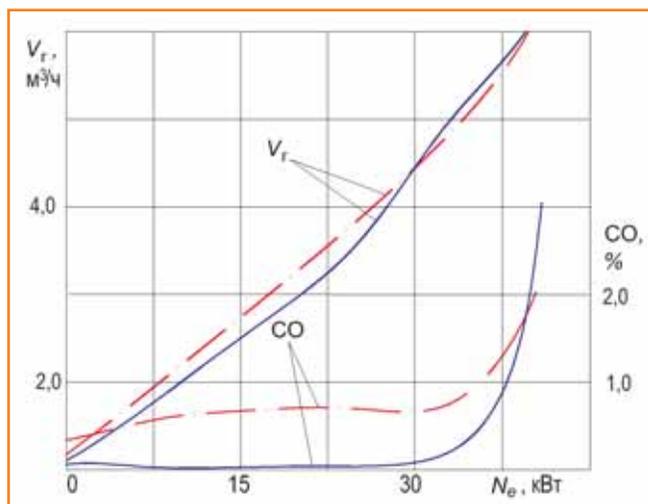
Возможность запуска холодного двигателя на газе продемонстрировали традиционные эжекционные смесители. Их применение сегодня ограничено из-за распространенного мнения об их опасности. Большой объем готовой газозооной смеси способен при случайном воспламенении разрушить всю впускную систему. Однако воспламенения такого рода происходят только от переобеднения смеси, то есть неправильного проектирования самого смесителя. Возникает это чаще при динамическом набросе нагрузки или разгоне двигателя на холостом ходу. В этих же условиях должна наблюдаться якобы меньшая динамичность газовых двигателей.



**Рис. 3.** Процесс разгона двигателя ВАЗ 21114 при резком открытии дросселя на бензине (блок управления «Январь 7.2») и сжиженном газе со смесителем:  
 1 – изменение частоты вращения  $n$  на газе; 2 – изменение частоты вращения  $n$  на бензине; 3 – изменение степени открытия дросселя  $k$  на бензине; 4 – изменение степени открытия дросселя  $k$  на газе

На том же двигателе ВАЗ 21114 было проведено сравнение динамичности системы впрыска бензина и центрального газового смесителя. Прогретый двигатель из режима самостоятельного холостого хода резким открытием дросселя разогнался до частоты примерно  $4000 \text{ мин}^{-1}$ , параметры двигателя фиксировались пишущим осциллографом, который был подключен к датчикам кислорода, положения коленчатого вала и дросселя. Система газоподдачи не имела электронных корректоров и была настроена по классическим принципам характеристики идеального карбюратора: на полных нагрузках состав смеси – обогащенный, на частичных – обедненный, на режиме холостого хода – максимально близкий к стехиометрии.

На рис. 3 представлены осциллограммы изменения частоты вращения и степени открытия дросселя. Последний в обоих случаях открывался примерно за  $0,2 \text{ с}$ . От момента его открытия до начала отрыва линии частот вращения на газе проходит примерно на  $0,1 \text{ с}$  меньше, а первые  $0,2 \text{ с}$  частота вращения на бензине совсем не изменяется. Скорость



**Рис. 4.** Нагрузочные характеристики двигателя ВАЗ 21114 со смесителем на сжиженном газе:  
 - - - без обратной связи с дозатором постоянного сечения;  
 — с обратной связью по  $\lambda$ -зонду и электронным регулированием

изменения частоты вращения (установившаяся) на бензине –  $6,9$ , а на газе –  $8,3 \text{ мин}^{-1}/\text{мс}$ .

Система с центральным смесителем была дополнена электронным корректором смеси по сигналу кислородного датчика. Были сняты две нагрузочные характеристики на частоте  $n=3000 \text{ мин}^{-1}$  (рис. 4).

Видно, что характеристики смесителя с электронным поддержанием стехиометрического состава смеси идут намного ровнее, переход на обогащенные смеси осуществляется только в зоне полных нагрузок. Смеситель без обратной связи также переходит на обогащенные смеси только при полных нагрузках, а в зоне средних нагрузок работает на обедненных смесях, близких к экономичным. Разница в расходах газа при одной и той же мощности здесь доходит до  $10 \%$ .

При эксплуатации автомобилей с системами газоподдачи разных поколений водитель не в состоянии самостоятельно выявить какие-либо различия, поскольку плавность работы, динамика разгона, максимальная скорость остаются примерно на одном уровне.

Таким образом, принцип работы систем газоподдачи четвертого поколения с ЭМФ позволяет заместить бензин газом только на  $80 \%$ , что обусловлено обязательным пуском на бензине. Это примерно в  $40$  раз повышает токсичность автомобилей в холодной фазе ездового цикла. Дополнительные потери (примерно  $3 \%$  расхода топлива в городском режиме эксплуатации) происходят в результате копирования бензинового алгоритма работы на переходных режимах. Еще столько же теряется на полных нагрузках, где в программах управления подачей бензина заложена работа на очень богатых смесях, неоправданных для газа.

Вопреки распространенному мнению в динамике разгона двигатель со смесителем не уступает или даже выигрывает у двигателя на бензине. Опасность так называемых «хлопков» существует только в системах с неоптимальной характеристикой. При правильной подготовке смеси смеситель, настроенный по традиционным канонам характеристики идеального карбюратора, показывает повышение экономичности до  $10 \%$  по сравнению с системами с тем же смесителем, но с обратной связью по кислородному датчику и стехиометрической смеси.

В то же время использование смесителей с обратной связью обеспечило высокую степень очистки отработавших газов в нейтрализаторе. Токсичность отработавших газов автомобиля как на бензине, так и на газе легко укладывается в нормы действующего технического регламента.

Возможность пуска на газе гарантирует многократное снижение выбросов токсичных веществ в холодной фазе. В условиях российского климата это должно перекрывать потери, получаемые из-за меньшей гибкости электронного управления таких систем.

## Литература

1. Певнев Н., Левашов М. Опыт эксплуатации газобаллонных автомобилей с двигателями, оснащенными системой впрыска бензина // АГЗК+АТ. – 2010. – № 5 (53). – С. 3.
2. Смирнов А.Б. Совершенствование управления бензинового двигателя с использованием искусственных нейронных сетей: дисс. ... канд. техн. наук. – М., 2006. – 146 с.

## Безопасность технологических процессов на объектах, использующих СУГ

**А.А. Барабанов,**

директор производства оборудования для СУГ ОАО «Промприбор»

Приводится краткий анализ способов обеспечения безопасности технологических процессов на объектах, использующих сжиженные углеводородные газы (СУГ). Рассматриваются перспективы развития оборудования нефтегазового комплекса. Даются описание технологических процессов при операциях слива и налива СУГ, особенности и основные преимущества использования электрозапорной арматуры, ее значимость для обеспечения безопасности.

**Ключевые слова:** технологические процессы перегрузки СУГ, шарнирные трубопроводы для СУГ, технологические трубопроводы.

## Safety of technological processes on the objects using of liquefied petroleum gases

**A.A. Barabanov**

In given article the short analysis of maintenance of safety of technological processes on the objects using of liquefied hydrocarbon gases is resulted. Prospects of development of the equipment of an oil and gas complex are considered. The description of technological processes is given at operations of unloading and loading hydrocarbon gases, features and the basic advantages of use of electrooperated valves, its importance for safety maintenance.

**Keywords:** technological processes of overload LPG, technological pipelines of independent gas supply.

Применение альтернативных видов топлива, таких как природный и сжиженный углеводородный газ, стало так же привычно, как и применение традиционных бензина и дизтоплива. На фоне увеличения объемов экспорта нефти, расширения парка автомобилей, ухудшения экологической ситуации применение компримированного природного (КПГ) и сжиженных углеводородных (СУГ) газов является наиболее актуальной и приоритетной задачей для многих промышленных предприятий во всем мире. Наша страна за сравнительно короткое время прошла доста-

точно трудный путь по организации учета сжиженных газов, выработке ясного понимания процессов, происходящих при их перекачке, измерении, хранении и транспортировке.

В целом на данный момент складывается ясная картина рынка СУГ и необходимого для его развития оборудования. Выделим основные группы его использования и применения.

1. Объекты добычи, переработки и хранения СУГ.
2. Коммерческая торговля СУГ.
3. Предприятия, использующие сжиженные газы в качестве сырья.
4. Автономное газоснабжение.

На этих объектах принимается, хранится и реализуется львиная доля сжиженных углеводородных газов, производящихся в России. Очевидно, что пристальное внимание со стороны контролирующих государственных органов по обеспечению безопасности должно уделяться наиболее интенсивно эксплуатирующимся объектам. Помимо этого, работа с веществами, находящимися под высоким давлением, должна вызывать у персонала таких объектов постоянное чувство ответственности и опасения. Самое страшное, когда эти опасения пропадают, что встречается довольно часто. Небольшая разгерметизация или шаровой кран, предназначенный для водоснабжения, купленный в обычном бытовом магазине и установленный в технологическую систему СУГ взамен вышедшего из строя, явление обычное и опасения у персонала не вызывает. Конечно, в случае аварийной ситуации ответственность ложится на владельца объекта или руководство. Это справедливо, если бы каждый опасный объект находился в пустынном месте, и вокруг него не было жилых и производственных зданий в радиусе километра. Тем не менее, нормы и правила безопасности не запрещают размещать опасные объекты на селитебных территориях, а значит, обеспечение мер безопасности должно быть максимальным.

В целом, объекты, использующие сжиженные углеводородные газы, имеют схожие технологические операции. Разница заключается лишь в объемах хранения, приема, реализации и производительности оборудования.

Анализируя рынок нефтегазового оборудования за 2011 г., можно выделить наиболее приоритетные направления развития оборудования для сжиженных газов. К ним относятся:

- обеспечение безопасности технологических процессов;
- создание и внедрение автоматизированных систем управления технологическими процессами с многоуровневой системой автоматики и безопасности;
- всесторонний учет и уменьшение потерь продукта;

- защита экологии и уменьшение влияния на окружающую среду.

Необходимо отметить, что развитие двух рынков – оборудования для нефтепродуктов и оборудования для СУГ – происходит неравномерно. Объекты, предназначенные для хранения и реализации нефтепродуктов, на сегодняшний день оснащены системами автоматизации и безопасности почти на 100 %, хотя степень опасности и рисков на них не превосходит эти показатели для объектов, использующих сжиженные газы. Кроме того, всевозможные нефтебазы и склады ЛВЖ гораздо чаще подвергаются реконструкции и техническому перевооружению.

Техническая организация производственного цикла на газонаполнительных станциях (ГНС), построенных и пущенных в эксплуатацию в конце 70-90-х гг. прошлого века, осталась на том же уровне, что была заложена в год постройки. Аварии на опасных объектах, использующих СУГ, произошедшие за последние годы, свидетельствуют о необходимости технического перевооружения, которое позволило бы сделать технологические процессы безопасными, исключить влияние человеческого фактора и пренебрежение правилами безопасности со стороны владельцев АГЗС и перевозчиков СУГ.

На сегодняшний день техническое совершенство оборудования для учета и перегрузки, уровень автоматизации и управления позволяют организовать технологические процессы приема, хранения и реализации СУГ на ГНС при минимальных человеческих ресурсах с высокой производительностью работ.

Рассмотрим типичную ГНС и попробуем подобрать оборудование в соответствии с последними техническими достижениями.

Начнем с **железнодорожной эстакады приема СУГ**. Без сомнения, это должна быть хорошо оборудованная сертифицированная конструкция, выполненная из огнестойких материалов с широкими площадками, легкими и хорошо управляемыми перекидными трапами, укомплектованная датчиками загазованности, пожарной сигнализации, телефонной связью.

Технологическое оборудование должно иметь устройства, контролирующие расход продукта, его давление в системе и емкости. Это оборудование должно быть связано с центральным пультом управления.

Далее рассмотрим **комплектацию насосно-компрессорного отделения**. Применяемые насосы должны быть экономичны и производительны с обязательным контролем давления, вибрации, температуры, наличия жидкости или масла во всасывающих и подающих трубопроводах. Насосы должны быть с двойным торцовым уплотнением и подачей охлаждающей жидкости. Все параметры должны контролироваться системой управления с обязательным дублированием и самодиагностикой приборов и датчиков.

Слив из железнодорожных цистерн осуществляется в резервуары хранения. Их контрольно-измерительное оборудование, в первую очередь, включает предохранительные устройства для контроля за превышением давления и его предотвращением, во-вторых, надежную и точную систему измерения уровня, позволяющую также выдавать данные на пульт управления о плотности жидкой и паровой фаз СУГ, его количестве, находящемся в емкости. В-третьих, целесообразно оснащение емкостей управляемыми клапанами или задвижками, регулирующими эксплуатацию именно того резервуара, наполнение которого или отбор из него происходят в данный момент. Причем система должна это делать автоматически, сверяясь с показаниями уровнемеров.

СУГ для отпуска потребителям подается на посты заправки автоцистерн, а также в отделение наполнения бытовых баллонов. **Отделение для наполнения бытовых баллонов** необходимо оснастить оборудованием для слива тяжелых остатков из баллонов, участком их мойки, установками для наполнения баллонов объемом от 5 до 50 л, а также оборудованием для выявления утечек и пломбировки вентилей.

На **постах заправки автоцистерн**, несомненно, применение электронных весов при учетных

операциях вполне оправданно, так как подаваемые под погрузку газозовы, в большинстве случаев, имеют остаток газа в емкости. С другой стороны, наполнение цистерны контролируется по указателю уровня на емкости. С учетом того, что точность наливного оборудования достаточно высока, можно без сомнения утверждать, что установки, оснащенные функцией измерения массы и



а



б



в

**Рис. 1.** Слив СУГ на ГНС:  
а – разделение сливно-наливного коллектора; б – подключение сливно-наливного рукава к железнодорожной цистерне; в – сливно-наливной рукав на железнодорожной цистерне

плотности, являются альтернативой электронным весовым устройствам.

Следует заметить, что при всем многообразии перечисленного оборудования управление технологическими процессами на каждом этапе перегрузки и отпуска, а также их контроль должны осуществляться единой диспетчерской службой, включая контроль систем безопасности.

Множество аварий и инцидентов на опасных объектах, использующих СУГ, происходит по вине наливных шлангов. Резинотканевые рукава абсолютно не гарантируют безопасного налива и слива даже при правильной эксплуатации и своевременных осмотрах. Более того, Правила промышленной безопасности нефтебаз и складов нефтепродуктов **ПБ 09-560-03** строго регламентируют конструкцию сливно-наливных систем и устройств в части бесшлангового слива и налива продукта, а также алгоритмы работы оборудования. В то же время нормативная база для объектов, использующих СУГ, – **ПБ 12-609-03**, **ПБ 12-527-03**, **СНИП 42-01-2002**, **СП 62.13330-2011** – только допускает более безопасный и технологичный бесшланговый налив, делая упор на применение резиновых шлангов.

Сравним два гибких трубопровода – резинотканевый и стальной шарнирный, устанавливаемые на железнодорожной эстакаде. Конструкция сливного устройства, оснащенного резиновыми шлангами, подразумевает два стальных жестких трубопровода, идущих от коллектора по обе стороны перекидного мостика. Один из них раздваивается, и на нем закрепляются два резиновых шланга с шарнирно-винтовыми прижимами (рис. 1). Длина каждого из них может

достигать 4 м. При наружном диаметре 50 мм внутренний составляет 38 мм. Объем газа, заполняющего этот объем, будет составлять 4,5 л.

Правилами предусмотрена сброс газа на участке от вентиля цистерны до первого отключающего устройства на наливном оборудовании. Таким образом, при каждом наливе железнодорожную цистерну выбрасывается на свечу порядка 10 л газа.

При этом безопасность обеспечена не в полной мере. Во-первых, диаметр условного прохода не соответствует значению, при котором скорость течения газа будет составлять 3 м/с. Трубопроводы, проходящие внутри цистерны, тоже имеют условный проход 38 мм. Конструкцию цистерны оставим на совести разработчиков, а вот оборудование для налива должно соответствовать требованиям, исключающим накопление статического электричества, которое может происходить вследствие высокой скорости течения газа даже при том, что рукава имеют заземление в виде медной проволоки. Во-вторых, срок службы резинотканевых рукавов не превышает 3 мес. Несмотря на то, что они должны испытываться каждые 3 мес., а осматриваться ежедневно, остается опасность возникновения скрытых дефектов или вовремя не обнаруженных трещин. Все это может



Рис. 3. Устройство для налива автоцистерн с быстроразъемными механизмами

привести к разрыву шланга, что в свою очередь опасно для жизни обслуживающего персонала.

Шарнирные стальные трубопроводы (рис. 2, 3) не имеют ни одного из тех недостатков резинотканевых рукавов, которые были перечислены. Подключение к вентилям цистерны осуществляется простым подведением сразу двух трубопроводов к ее крышке, которые имеют диаметр условного прохода 100 мм, благодаря чему скорость течения газа соответствует требованиям правил, не превышая 3 м/с. Эти трубопроводы оснащены запорной арматурой, находящейся в непосредственной близости от вентилей цистерны, и потери газа при сбросах на свечу составляют не более 150 мл. Они являются подвижной стальной неразборной конструкцией, которую можно приравнять к стационарному технологическому трубопроводу, не требующему периодического освидетельствования. Шарнирный трубопровод представляет собой непрерывную электрическую цепь и не требует обвития медной проволокой.

Все проблемы и недостатки, характерные для резинотканевых рукавов, возникающие при использовании устройства для перегрузки газа из железнодорожных цистерн, присущи и устройствам наполнения автоцистерн. Кроме этого, следует добавить, что при наполнении автомобильных газовых цистерн и контейнер-цистерн, а также при сливе было бы гораздо удобнее пользоваться



Рис. 2. Устройство для слива и налива железнодорожных цистерн:  
а – общий вид; б – устройство в рабочем состоянии



Рис. 4. Механизм герметичного присоединения и расстыковки наливных устройств

устройствами быстрой расстыковки (рис. 4) по аналогии с головками API на бензовозах. Тогда потери при отсоединении шлангов исключаются совсем. Экономические условия, выход на мировой рынок, требования европейских стандартов так или иначе приведут к необходимости оборудования цистерн и емкостей более совершенной и безопасной заправочной арматурой.

Российские предприятия, добившиеся за последние десятилетия немалых успехов в производстве оборудования и систем обеспечения безопасности для объектов, использующих СУГ, могли бы внести огромный вклад в перевооружение

и развитие отрасли. Принятие таких мер как замена резиновых шлангов на стальные шарнирные трубопроводы, пересмотр системы стыковки к автоцистернам, введение автоматических систем поэтапного контроля технологических процессов было бы огромным шагом к формированию высокотехнологичных и безопасных объектов.

Конечно, оснащение или переоснащение объектов, использующих сжиженные углеводородные газы, – это затратный процесс и в настоящих экономических условиях не всегда осуществимый, но, тем не менее, цена безопасности намного выше цены нового оборудования, а экономичес-

кая целесообразность очевидна. Мы не скрываем, что заинтересованы в поставке нашей продукции на такие объекты. С другой стороны, если мы это можем сделать и внедрить новые технологии и оборудование, которые на порядок повысят производительность и безопасность технологических операций, то мы не можем оставаться безучастными и мириться с тем, что большинство объектов, использующих СУГ, до сих пор работают по технологиям прошлого века.

Несомненно, для решения данного вопроса необходимо вмешательство органов Ростехнадзора и постепенная и планомерная реконструкция старых и строительство новых ГНС в соответствии с повышенными требованиями безопасности на участках перегрузки. Без кардинального изменения нормативной базы применение современных систем налива и учета СУГ носит лишь рекомендательный характер.

Мы будем рады поделиться с вами знаниями и опытом, мы всегда готовы сотрудничать и выполнять неординарные и сложные проекты.

### Наливные рукава

ГРУППА КОМПАНИЙ ПО ПРОИЗВОДСТВУ ОБОРУДОВАНИЯ  
ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ, УЧЕТА И ПЕРЕВАЛКИ НЕФТЕПРОДУКТОВ И СУГ  
Информация о продукции на сайте  
[www.avtozagruzka.com](http://www.avtozagruzka.com)

Столк налива СУГ

Стрелка АСН-140КД

Автоматизация

Установки нижнего слива УСН

Модуль измерительный

## Технологии безопасного налива

**Высокое качество и надежность!**

Россия, Орловская обл., г. Ливны, ул. Мира, 40  
E-mail: [opns@prompribor.ru](mailto:opns@prompribor.ru)  
Консультации можете получить по т. +7(48677) 315 07

**Наши знания и опыт для вашего успеха!**

- Установки объемного и массового учета для ГНС
- Насосы и насосные агрегаты
- Сливно-наливные комплексы
- Проектирование и монтаж

РЕКЛАМА

## Система оперативного управления расходом топлива на предприятиях автомобильного транспорта

**И.М. Блянкинштейн,**

доцент Сибирского федерального университета, к.т.н.,

**Е.С. Воеводин,**

доцент Сибирского федерального университета, к.т.н.,

**Д.А. Худяков,**

магистрант Сибирского федерального университета

Рассмотрены недостатки действующей в РФ системы нормирования расхода топлива. Сделан обзор представленных на рынке спутниковых систем мониторинга транспорта, основанных на снятии показаний с датчиков, в том числе расхода топлива, установленных на автомобиле. Представлены данные о среднем эксплуатационном расходе топлива автобусом MAZ-103 на маршруте г. Красноярск за январь 2012 г., полученные с использованием спутниковой системы мониторинга, а также произведен их анализ. Предложена система оперативного управления расходом топлива на предприятиях автомобильного транспорта, основанная на совместном рассмотрении расчетных оценок расхода топлива, получаемых с использованием программного комплекса MBK, а также с использованием систем FMS.

**Ключевые слова:** расход топлива, базовые нормы, системы мониторинга FMS, оперативное управление.

## Operational management system fuel motor in transport companies

**I.M. Blyankinshteyn, E.S. Voevodin, D.A. Khudyakov**

The shortcomings in the current Russian system of rationing fuel. A review of the market of satellite monitoring of transport, based on a reading of the sensors, including fuel consumption, installed on the car. The data on the average operating cost of fuel bus MAZ-103 on the route Krasnoyarsk in January 2012, obtained with the use of satellite monitoring system, and made their analysis. The system of operational control to the fuel consumption of road transport enterprises based on joint consideration of fuel consumption estimates obtained using the software system and the fuel consumption estimates obtained using systems FMS.

**Keywords:** fuel consumption, legal framework, monitoring system FMS, operations control.

**В** последние годы во всем мире моторное топливо приобрело статус стратегического ресурса. Поэтому разработка мероприятий по снижению его потребления на автомобильном транспорте является актуальнейшей задачей.

Действующая в РФ система нормирования расхода топлива автомобилями опирается на базовые нормы его расхода [1], которые представляют собой расход топлива на перемещение порожнего автомобиля в типизированных условиях

движения, и на эксплуатационные нормы расхода топлива [2], в которых усредненно учитываются все эксплуатационные факторы – транспортная работа, природно-климатическая зона, время года, условия движения, возраст автомобиля и пр. Известно применение маршрутных норм, однако для конкретного автомобиля на конкретном маршруте эксплуатационная норма расхода топлива нормативными документами не устанавливается, что может приводить к эксплуатационным издержкам. Несовершенство существующей методики нормирования и расчеты по ней приводят к двум ситуациям: либо топливо остается в баках машин и у водителей появляются его излишки, либо происходит перерасход топлива.

Базовая и эксплуатационная нормы расхода топлива автомобилем на конкретном маршруте могут быть с высокой точностью рассчитаны с помощью специальных моделирующих программ, например, MBK<sup>1</sup>. Но для точного расчета нужна информация о фактическом маршруте и режиме движения автомобиля, которая, к сожалению, может быть получена только после возвращения автомобиля с маршрута.

Также в последнее время в мире появились и активно распространяются системы спутникового мониторинга транспорта (СМТ). СМТ построены на основе систем спутниковой навигации, оборудования и технологий сотовой и/или радиосвязи, вычислительной техники и цифровых карт.

СМТ – это технология, применяемая в диспетчерских службах на транспорте, для решения задач транспортной логистики в системах управления перевозками (ТМС – Transportation management system) и системах мониторинга расхода топлива (FMS – Fuel Monitoring System) для получения информации о фактическом расходе топлива, режиме движения и пробеге автомобиля, а также комплексного анализа работы техники в условиях эксплуатации с использованием спутников GPS.

Подобные системы основаны на снятии показаний с датчиков, установленных на автомобиле, в том числе и датчиков

<sup>1</sup> MBK – программа комплексного исследования автомобилей, разработана под руководством д.т.н., проф. В.М. Москвичкина (ФГУП «НАМИ», МГПУ, г. Москва) и официально рекомендована нормативным документом [1] в качестве программного обеспечения (ПО) для обоснования базовых норм расхода топлива.

расхода топлива. В этом случае формируются данные о количестве топлива в баке, его расходе (снижение уровня в процессе эксплуатации), а также резком его увеличении и снижении (заправки и сливы). Данные в режиме реального времени по каналу GSM передаются в диспетчерский центр, что позволяет контролировать и оперативно влиять на внештатные ситуации.

Применяется несколько подходов к измерению израсходованного топлива.

- Использование расходомеров и датчиков мгновенного расхода топлива, которые устанавливаются в топливную магистраль автомобиля и измеряют с очень высокой точностью количество топлива, проходящего через нее. Интегрированный с системой мониторинга расходомер является эффективным инструментом контроля расхода топлива. Но и у расходомеров имеется ряд недостатков: высокая цена, сложность установки и невозможность контроля заправок и сливов топлива.

- Подключение измерительного оборудования к штатному датчику уровня топлива, установленному в баке автомобиля, что минимизирует дополнительные затраты. Необходимы лишь подключение оборудования и его тарировка, но при этом погрешность измерений очень высока.

- Установка дополнительного датчика уровня топлива. Такие датчики обладают гораздо более высокой точностью и надежностью.

- Считывание данных с CAN-шины автомобиля.

CAN – это международная стандартизированная последовательная шина системы (ISO 11898), обеспечивающая функциональные возможности уровня канала данных и физического канала согласно модели соединения открытых систем (ISO/OSI 7498). CAN-шина автомобиля используется для обмена информацией между всевозможными датчиками, контроллерами и т.д. Данные о расходе топлива поступают от блока управления двигателя (на основе характеристик впрыскивания топлива) по информационной шине.

Данный протокол поддерживают такие производители как Toyota, Volkswagen, Audi, Ford, Hyundai, Mazda, Opel, Volvo, Subaru, Mercedes, Scania, DAF, MAN, Iveco, последние модели MAZ и КАМАЗ, а также большинство автомобилей других крупных производителей мира.

На сегодняшний день системы GPS-мониторинга являются инструментом контроля и оптимизации передвижения транспорта, а также средством обеспечения безопасности. Объединяя технологии определения местоположения, беспроводной связи, средства обработки и визуализации, системы GPS-мониторинга находят широкое применение в различных сферах бизнеса и государственной деятельности. Они позволяют получать объективную информацию о местонахождении, маршруте, пробеге транспортного средства, расходе топлива и времени работы двигателя. С

получением этих данных в режиме реального времени у предприятий появляются возможности принимать на их основе эффективные управленческие решения, координировать деятельность автомобильного парка на более высоком уровне и осуществлять мониторинг работы транспорта.

Например, по данным о расходе топлива автобусом MA3-103 городского маршрута г. Красноярска за январь 2012 г., полученным с системы GPS-мониторинга (таблица), видно, что расход топлива автобусом значительно меняется в течение

**Средний расход топлива по дням автобусом MA3-103 городского маршрута г. Красноярска за январь 2012 г.**

Дата	Расход топлива, л	Суточный пробег, км	Средний расход топлива, л/100 км
02.01	70,7	186,5	37,9
03.01	51,4	186,9	27,5
04.01	62,2	184,4	33,7
06.01	76,8	187,0	41,1
07.01	67,3	186,5	36,1
08.01	50,9	132,0	38,6
09.01	73	186,4	39,2
10.01	83,3	235,3	35,4
11.01	77,1	213,0	36,2
12.01	81,9	194,4	42,1
13.01	105,6	312,7	33,8
14.01	123,1	371,7	33,1
16.01	109,9	306,0	35,9
17.01	71,6	185,8	38,5
18.01	77,1	187,3	41,2
20.01	110,8	175,9	63,0
21.01	73,3	248,8	29,5
22.01	41,7	128,1	32,6
23.01	50	118,3	42,3
24.01	98,5	232,7	42,3
25.01	126,9	314,7	40,3
26.01	127,9	308,7	41,4
27.01	118,1	308,3	38,3
28.01	71,4	153,4	46,5
29.01	81,9	179,0	45,8
30.01	132,5	314,8	42,1
31.01	71,6	155,9	45,9
Min – max	41,7 – 132,5	118,3 – 371,7	27,5 – 63,0
Среднее значение	84,7	218,3	39,3
Среднеквадратическое отклонение	25,6	67,3	6,6
Коэффициент вариации, %	30,3	30,8	16,8

Примечание. 1, 5, 15 и 19 января автобус не эксплуатировался.

всего месяца. Это вызвано различными условиями эксплуатации автобуса, изменяющимися режимами движения. Так, со 2 по 4 января автобус работал на одном и том же маршруте, и среднесуточные пробеги практически были одинаковы. При этом разница между максимальным и минимальным расходами топлива составляет 10,4 л/100 км (27 %).

Мониторинговые системы позволяют зафиксировать и отобразить фактические параметры режима движения и расход топлива, но не позволяют определить резерв, то есть теоретически достижимый минимальный расход для заданных условий и сложившихся режимов движения.

Решение проблемы видится в объединении двух выше рассмотренных подходов, при котором недостатки, присущие каждому в отдельности, могут быть компенсированы их совокупностью.

Предлагаемая концепция системы управления расходом топлива объединяет положительные черты расчетного определения базовых и эксплуатационных норм расхода топлива с использованием программы MBK и достоинства системы мониторинга транспорта. Первая позволяет с достаточно высокой точностью рассчитать расход топлива в заданном цикле движения транспортного средства, вторая – получить необходимые данные о фактическом режиме движения и количестве израсходованного топлива.

Рассмотрим структурную схему предлагаемой системы (рисунок).

В специально организованном центре анализа и оперативного управления расходом топлива с сервера управления снимается информация о фактических режиме движения и расходе топлива автомобилем, оснащенным системой FMS, на конкретном маршруте движения. С помощью промежуточного программного модуля определяются параметры режима движения: длина маршрута, число остановок, скорость на перегонах, продолжительность движения на перегонах, координаты точек маршрута с заданным шагом. Координаты маршрута накладываются на цифровую карту ГИС, и уточняется маршрут движения. Далее рассчитывается расход топлива этого автомобиля на этом же маршруте движения с помощью специальной программы моделирования движения MBK.

Рассчитанный расход топлива на конкретном маршруте с конкретным режимом



движения сравнивается с фактическим. На основании сравнения расхода топлива, получаемого с системы мониторинга  $Q_{\phi}$ , и расчетного расхода топлива  $Q_p$  в этом цикле движения, полученного при помощи ПО MBK, можно сделать определенные выводы. Если  $Q_{\phi} \sim Q_p$  в пределах научно обоснованного допуска, то расход топлива можно считать достоверным. Если же  $Q_{\phi} > Q_p$ , то в транспортном средстве имеется неисправность, которая приводит к перерасходу топлива, либо причина кроется в каких-то неучтенных факторах (плохие условия движения, неэкономичный стиль вождения, неисправность системы мониторинга и пр.). Если  $Q_{\phi} < Q_p$ , то возможна корректировка эксплуатационной нормы расхода топлива.

Практическая реализация системы оперативного управления расходом топлива на АТП в настоящее время сдерживается двумя основными факторами:

- отсутствием ПО, которое позволит автоматизированным путем с минимальным участием человека преобразовать информацию, получаемую с системы мониторинга, для ПО MBK;
- неизученностью данной темы, а именно, отсутствием требований к характеристикам системы – степени ее оперативности, частоте получения и обработки информации о параметрах режима движения, отсутствием алгоритмов обработки и фильтрации информации о режимах движения и пр.; неизученными остаются статистические аспекты формирования

и анализа показателей расхода топлива в условиях эксплуатации на основе систем мониторинга и их корреляция с фактическими и нормативными значениями, а также экономическая эффективность системы оперативного управления.

Решение указанных задач обеспечит возможность реализации системы оперативного управления расходом топлива на предприятиях автомобильного транспорта, что в свою очередь позволит:

- оптимизировать режим эксплуатации техники;
- снизить вероятность хищения топлива;
- повысить производительность работы автопарка;
- снизить затраты на ГСМ и себестоимость перевозок;
- увеличить сроки службы подвижного состава;
- снизить выбросы вредных веществ с отработавшими газами и улучшить экологическую обстановку в регионе.

## Литература

1. Р 03112134-0367-97. Методика определения базовых норм расхода топлива на автомобильном транспорте. – М.: НИИАТ, 1996. – 20 с.
2. ОАО «НИИАТ». Методические рекомендации «Нормы расхода топлив и смазочных материалов на автомобильном транспорте». – М.: Компания «Автополис», 2008. – 104 с.

## Управление устройством подачи криогенного топлива в энергоустановку

**А.И. Цаплин,**  
профессор, декан факультета Пермского НИПУ, д.т.н.,  
**С.В. Бочкарев,**  
профессор Пермского НИПУ, д.т.н.,  
**И.Г. Друзьякин,**  
доцент Пермского НИПУ, к.т.н

Предложена схема автоматизированной системы управления подачей криогенного топлива в двигатель, контролирующей и ограничивающей рост давления. Описана структурная схема системы управления и регулирования расхода.

**Ключевые слова:** криогенные топлива, газификация, рост давления, автоматизированная система управления.

## Control device for cryogenic fuel in power equipment

**A.I. Tsaplin, S.V. Bochkarev, I.G. Druzyakin**

A diagram of an automatic control system for cryogenic fuel supply to the engine, controlling and limiting the increase in pressure. Describes the structural scheme of the system of governance and regulation of the flow.

**Keywords:** cryogenic fuel, gasification, increasing pressure, automated control system.

**К**риогенные топлива (КТ) – сжиженный природный газ (СПГ) и жидкий водород – являются эффективными топливами для энергетических установок. Однако применение КТ порождает новые проблемы, связанные со значительными перепадами температур, вызывающими теплоприток извне при подаче топлива в энергетическую установку (двигатель). Это приводит к тому, что в режиме ожидания при остановке подачи питания СПГ в двигатель избыточное давление в трубопроводе системы питания быстро нарастает и уже через 3 мин может увеличиться в два раза [1]. Такое

быстрое нарастание давления объясняется парообразованием в ограниченном объеме. Конечно, топливо, подаваемое в двигатель, должно быть полностью газифицировано. Интенсификация этого процесса достигается применением теплообменников с регулируемым подводом теплоты [2]. Но рост давления в магистрали перед теплообменником по-прежнему остается неконтролируемым и может привести к разрыву трубопровода, имеющего ограниченный ресурс прочности, и выбросу СПГ в окружающую среду.

Наличие неконтролируемого двухфазного потока ухудшает

технико-экономические характеристики двигателя. В работе [3] показано, что мощность, необходимая для перекачивания такого двухфазного потока, может возрасти на 23 % по сравнению с мощностью перекачивания жидкого СПГ. Принудительное охлаждение топлива с помощью специальной холодильной машины нецелесообразно по технико-экономическим соображениям. Эффективность работы двигателя на СПГ может быть повышена за счет применения сепаратора [2], разделяющего двухфазный поток на жидкую и паровую фазы. После сепарации жидкая фаза возвращается в топливный бак, а паровая подается в двигатель.

Указанные меры повышения эффективности работы двигателя на СПГ не снимают проблему неконтролируемого роста давления и вероятности разрыва топливной магистрали, в результате которого метан, являющийся основным элементом СПГ (до 95 % и более), выбрасывается в атмосферу. В этом случае, помимо ухудшения экологической обстановки, создаются условия для детонации при достижении объемного содержания метана в воздухе более 6,3 %. В работе [4] на основе неравновесной математической модели описан сценарий выброса метана из источника повышенного давления и образования воздушно-метанового вихря, сохраняющего детонационную способность в открытой атмосфере длительное время. Такой выброс может вызвать техногенную аварию и пожар.

Таким образом, при вынужденном простое транспортно-го средства в заправленном

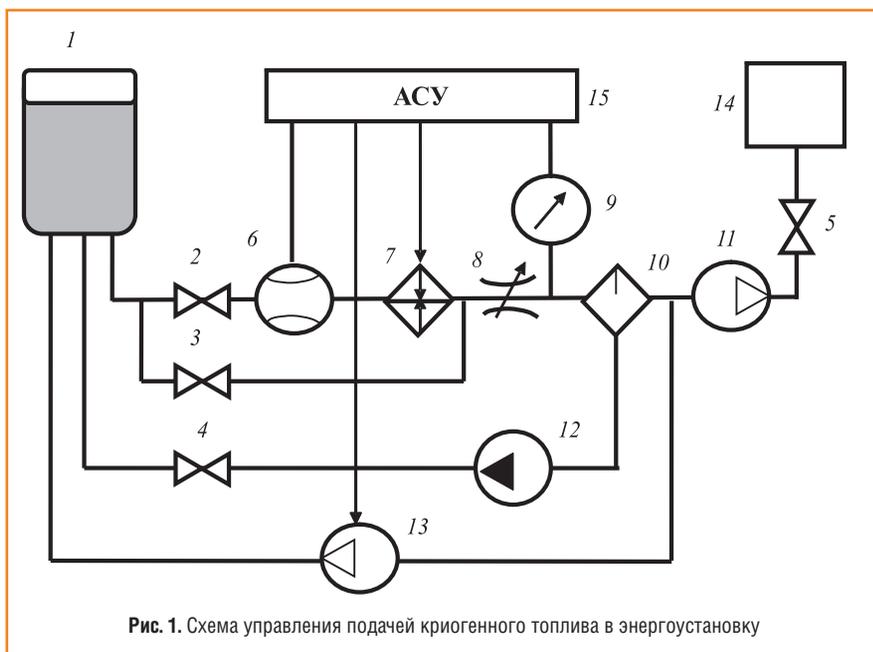


Рис. 1. Схема управления подачей криогенного топлива в энергоустановку

состоянии неконтролируемый рост давления в топливной системе является источником повышенной опасности. Возникает задача разработки автоматизированной системы управления подачей криогенного топлива в двигатель, контролирующей и ограничивающей рост давления.

### Система управления подачей криогенного топлива в двигатель

Сложность регулирования неустойчивого агрегатного состояния КТ состоит в том, что резкое изменение расхода приводит к изменению двух параметров состояния – давления и температуры, при этом кипение жидкого метана при температуре насыщения приводит к росту давления в магистрали. В небольшом диапазоне давления, характерном для двигателей, температура кипения изменяется незначительно [5], поэтому управление подачей топлива будет эффективно по одному параметру состояния – давлению.

Структурная схема управления (рис. 1) подачей криогенного топлива в двигатель [2] включает теплоизолированную емкость 1 с криогенным топливом, теплообменник 7 для подогрева СПГ при повышенном расходе, дроссельное устройство 8 для адиабатного расширения СПГ, сепаратор 10, разделяющий жидкую и газообразную части двухфазного топлива, компрессор 11 подачи газообразного топлива в энергоустановку 14. После сепаратора жидкая фаза топлива возвращается компрессором в емкость. Схема включает также необходимые запорные и регулирующие вентили 2-5.

В предлагаемой схеме управления добавлены измерительные устройства: датчик давления 9 и расходомер 6, а также исполнительный орган – компрессор 13 для возврата избыточного газообразного топлива в емкость. Исполнительным органом в системе управления является теплообменник 7. Предложенное устройство включает также блок автоматизированной системы управления (АСУ) 15.

Устройство управления работает следующим образом. Криогенное топливо транспортируется по трубопроводу из теплоизолированной емкости 1 в энергоустановку 14. Расход регулируется вентилями 2, 3, 5 и измеряется расходомером 6. В дроссельном устройстве 8 жидкий метан адиабатно расширяется, частично испаряясь, в сепараторе 10 происходит разделение жидкой и газообразной фаз. Газообразная фаза подается в энергоустановку компрессором 11, а жидкая фаза насосом 12 возвращается в емкость. На трубопроводе установлен датчик давления 9. При превышении предельного значения давления  $p_{max}$  для гидрогазовой системы часть газа компрессором 13 возвращается в емкость. Сигналы от

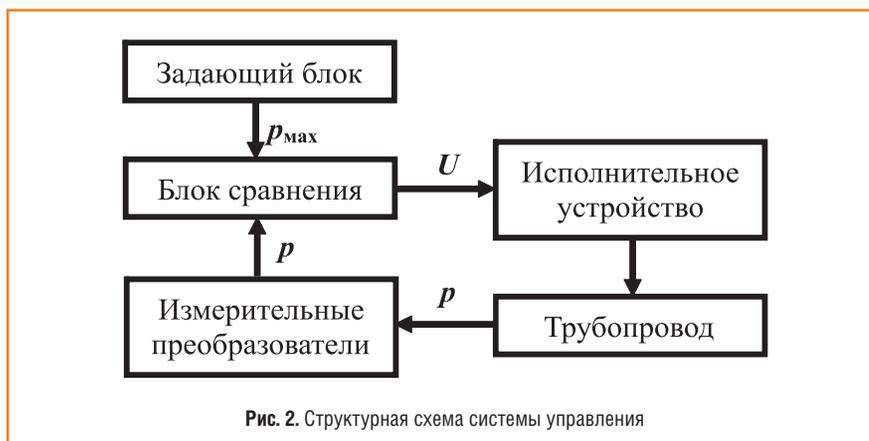


Рис. 2. Структурная схема системы управления

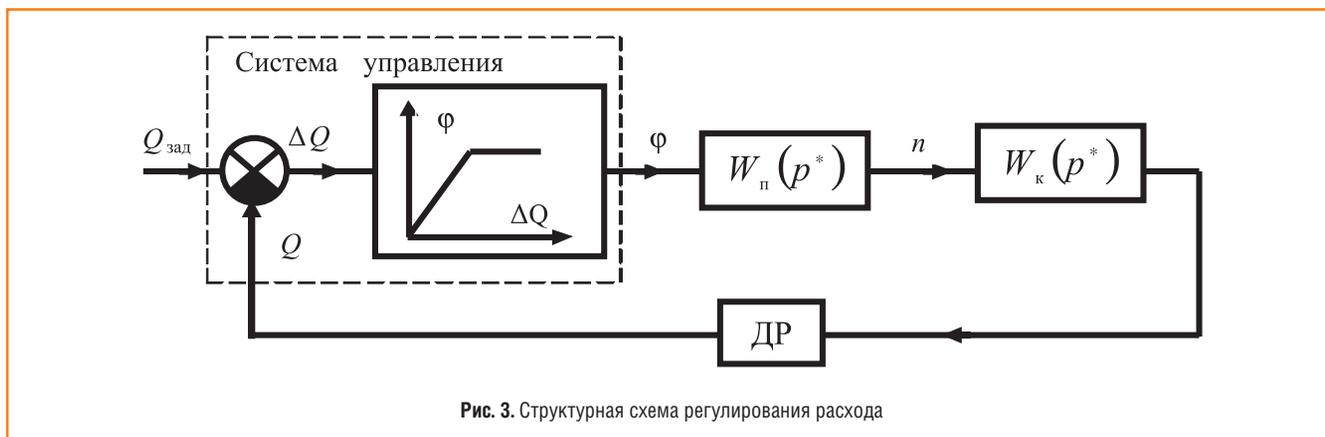


Рис. 3. Структурная схема регулирования расхода

расходомера и датчика давления поступают в автоматизированную систему управления 15, которая подает команды на компрессор 13 и теплообменник 7.

Управление давлением в трубопроводе позволяет поддерживать его в допустимых пределах при любом режиме работы двигателя, включая остановку.

Алгоритм работы системы ограничения давления (рис. 2) заключается в следующем. Текущее давление непрерывно измеряется и сравнивается с максимальным значением. При поступлении сигнала  $U$  о превышении допустимого давления исполнительное устройство отключает теплообменник и увеличивает обороты компрессора 13 (см. рис. 1), что позволяет стабилизировать давление на допустимом уровне.

Расход газа регулируется изменением частоты вращения  $n$  привода компрессора (рис. 3). В систему управления поступают сигналы заданного расхода  $Q_{\text{зад}}$  и текущего расхода  $Q$ , определяемого датчиком расхода ДР. Формируется сигнал  $\Delta Q = Q_{\text{зад}} - Q$ , который преобразуется в сигнал  $\varphi$ , пропорциональный  $\Delta Q$ . Привод компрессора преобразует управляющий сигнал в соответствующее число оборотов  $n$  согласно

передаточной функции  $W_{\text{п}}(p^*)$ . Динамические свойства самого компрессора определяются передаточной функцией  $W_{\text{к}}(p^*)$ .

Таким образом, система позволяет поддерживать давление в заданных пределах и снизить вероятность аварийных состояний.

В качестве технических средств реализации АСУ могут быть использованы программируемые логические контроллеры и сенсорная панель для визуализации и управления. Датчик давления должен быть во взрывоза-

щищенном исполнении. Этому требованию удовлетворяет малогабаритный оптоволоконный датчик давления, предложенный в работе [6].

Предлагаемая система автоматического управления подачей криогенного топлива в энергоустановку позволяет контролировать изменение давления в топливопроводе при разных режимах работы, включая полную остановку. Использование системы обеспечивает экологичность и безопасность работы энергоустановки.

## Литература

1. Цаплин А.И., Бочкарев С.В. Моделирование теплообмена при подаче СПГ в двигатель // Транспорт на альтернативном топливе. – 2011. – № 3 (21). – С. 66-69.
2. Тонконог В.Г. Система подачи криогенного топлива в энергоустановку и его газификация // Транспорт на альтернативном топливе. – 2011. – № 6 (24). – С. 34-38.
3. Цаплин А.И., Бочкарев С.В. Оценка энергозатрат при подаче СПГ в двигатель // Транспорт на альтернативном топливе. – 2011. – № 6 (24). – С. 68-70.
4. Цаплин А.И., Бояршинов М.Г. Моделирование переноса метана в атмосфере и оценка возможности его детонации при аварийном сбросе давления в газопроводе // Научно-технические ведомости СПб-ГПУ. Физико-математические науки. – 2010. – № 2 (98). – С. 45-52.
5. Загорученко В.А., Журавлев А.М. Теплофизические свойства газообразного и жидкого метана. – М.: Изд-во Госстандарта СССР, 1969. – 236 с.
6. Патент № 2269755 РФ, Волоконно-оптический датчик давления. / А.И. Цаплин, В.Н. Репин, М.В. Репин. – Заявлен 07.07.2004; опублик. 10.02.2006, Б.И. № 4.

## Расчет поражающих факторов при авариях на подземных хранилищах СПГ

**Н.Г. Кириллов,**  
профессор Военного инженерно-технического института, д.т.н.,  
**А.Н. Лазарев,**  
доцент, начальник Военного инженерно-технического института, к.т.н.

В статье рассмотрены проблемы, возникающие в результате аварийных ситуаций на хранилищах СПГ. Отмечено, что в России раньше такие объекты не строились, и опыта их безопасной эксплуатации в нашей стране не существует. Обоснованы актуальность и необходимость исследований при оценке безопасности эксплуатации этих объектов, прогнозирования возможных аварийных ситуаций и определения последствий их воздействия на окружающую инфраструктуру.

**Ключевые слова:** сжиженный природный газ (СПГ), подземные криогенные хранилища, аварийные ситуации, поражающие факторы взрывов метановоздушных смесей.

## Calculation of amazing factors at failures on underground storehouses of LNG

**N.G. Kirillov, A.N. Lazarev**

Problems of the analysis of emergencies on underground storehouses of SPG are considered in the article. It is marked, that such objects were not under construction in Russia earlier also experience of their safe operation in our country does not exist. The authors proves an urgency and necessity of researches on safety of operation of these objects, forecasting of possible emergencies and definitions of consequences of their consequence on surrounding infrastructure.

**Keywords:** liquefied natural gas (LNG), underground cryogenic storehouses, the emergencies amazing factors of explosions of methan-air mixes.

### Подземные хранилища СПГ

В настоящее время сжиженный природный газ (СПГ), став неотъемлемой составляющей мировой торговли газом, переходит в разряд одного из ключевых факторов формирования мирового энергетического рынка. Так, по мнению многих

экспертов, СПГ способен оказать серьезное влияние на развитие топливной энергетики. Как и сетевой природный газ, он используется для тех же целей: получения электричества, тепловой энергии и промышленного холода, газификации населенных пунктов и промышленных объектов,

применения в качестве моторного топлива на транспорте и сырья для химической промышленности [1, 2].

В последние годы все большее распространение получает направление по созданию резерва топлива для компенсации пиковых нагрузок (пик-шейвинг) на основе криогенных технологий. Анализ мировой практики показывает, что наиболее эффективным способом является хранение природного газа в виде криогенной жидкости под давлением, близким к атмосферному, что выгодно отличается от способа его хранения в резервуарах высокого давления при температуре окружающей среды, поскольку криогенное состояние природного газа позволяет уменьшить объем хранилища практически в 3 раза по сравнению с его хранением при высоком давлении [3].

Однако столь большая концентрация СПГ, вещества с повышенной взрывопожароопасностью, на относительно небольших площадях хранилищ обуславливает серьезную проблему обеспечения пожарной безопасности наземных объектов такого рода. Так, одной из наиболее известных аварий на объектах хранения СПГ является авария в г. Кливленде (США), где в результате охрупчивания металла разрушились стальные оболочки изотермического двухстенного хранилища, и произошел внезапный пролив СПГ с температурой  $-156^{\circ}\text{C}$ . При этом погибло 128 человек и около 400 получили травмы. Были полностью уничтожены газовый завод, 10 административных зданий, 80 домов, расположенных в 400 м от места выброса. Сумма нанесенного ущерба составила 6,8 млн долл.

Все это вызывает необходимость обеспечения пожарной безопасности хранилищ СПГ при аварийных разливах и разгерметизации, вызванных внешними воздействиями (стихийные бедствия, диверсии и т.п.). В связи

с этим в последнее время становится актуальным создание подземных хранилищ СПГ [4], которые исключают крупномасштабный разлив продукта при всех предусмотренных технологией режимах эксплуатации и с точки зрения безопасности являются оптимальными.

Безусловно, подземные хранилища СПГ также относятся к взрывопожароопасным объектам. Раньше в России такие объекты не строились, и опыта их безопасной эксплуатации в нашей стране не существует. В связи с этим возникает необходимость исследований и оценки безопасности их эксплуатации, прогнозирования возможных аварийных ситуаций и определения последствий их воздействия на окружающую инфраструктуру.

Авторами были сформулированы следующие направления исследований:

- детальный анализ технологии подземного хранения СПГ в изотермических резервуарах и выявление наиболее типичных сценариев протекания пожароопасных аварий;
- анализ физико-химических процессов, протекающих при авариях в подземном изотермическом хранилище СПГ, и выбор детерминированных параметров оценки пожарной опасности объекта;
- выбор наиболее подходящих для рассматриваемых объектов методов оценки поражающих факторов аварий с пожарами и взрывами;
- расчеты поражающих факторов аварий с пожарами и взрывами

для типовых сценариев протекания аварий;

- выявление технологических и конструктивных элементов подземного хранилища СПГ, определяющих уровень его пожарной опасности;
- разработка комплекса научно обоснованных мероприятий по противопожарной защите подземных хранилищ СПГ.

Аварийные ситуации на подземных хранилищах СПГ могут быть вызваны:

- нарушением наземного оборудования подземных хранилищ вследствие старения материалов и естественного снижения надежности оборудования – технологических колодцев, трубопроводов и других конструктивных узлов, обеспечивающих процесс слива–налива СПГ, и т.д.;
- разгерметизацией самих подземных резервуаров в результате чрезвычайных событий (землетрясения, направленные взрывы боеприпасов, диверсии и т.д.);
- нарушениями правил противопожарной безопасности обслуживающим персоналом.

Необходимо учитывать, что при разгерметизации наземного оборудования или резервуара СПГ в окружающей среде вследствие высокой скорости испарения могут образовываться метановоздушные облака больших размеров, зависящие от количества мгновенно вышедшего газа, скорости истечения, а также климатических условий (скорость ветра, температура воздуха и др.).

При рассмотрении поражающих факторов аварий в хранилищах СПГ

Таблица 1

### Условия возникновения пожаров и их последствия

Условия	Последствия
Существование источника воспламенения	Пожар или факельное горение
Возникновение источника воспламенения при содержании метана 8...12 %	Дефлаграционный или детонационный взрывы
Отсутствие источника воспламенения	Рассеяние метановоздушного облака с токсическим действием на прилегающие территории

необходимо выделить два основных случая – пожар без взрыва метановоздушной смеси и пожар со взрывом метановоздушной смеси.

Воспламенение облака газовой смеси (ГВС) происходит при наличии источника зажигания. Первоначально скорость распространения пламени относительно невелика и составляет для большинства углеводородных газов 0,32...0,40 м/с. При столь малых скоростях горения образования взрывной ударной волны (ВУВ) не происходит. Однако в реальных условиях на горение оказывает влияние множество факторов, вызывающих турбулизацию фронта пламени и ускорение его распространения.

Переходу к детонации способствуют различные препятствия на пути распространения пламени (строения, предметы, пересеченная местность). При больших объемах горючих газовых смесей, наличии источников турбулизации фронта пламени и отражении детонационной волны от препятствий давление за очень короткий промежуток времени (~1 мс) достигает высоких значений (~1,5 МПа).

Детонация ГВС может произойти и без стадии дефлаграционного горения, однако в этом случае необходим соответствующий источник энергетического воздействия (достаточный электрический разряд, взрыв детонатора и др.).

Особенности развития пожаров и взрывов хранилищ СПГ, в основном, определяются свойствами природного газа, источниками энергии и предпосылками для аварийных ситуаций (табл. 1).

### Анализ методик расчета основных поражающих факторов воздушной ударной волны при взрывах ГВС

Анализ статистических данных об авариях показывает, что наиболее

Таблица 2

## Степень разрушения зданий от избыточного давления при взрывах горючих смесей

Типы зданий	Избыточное давление, кПа, при различных степенях тяжести разрушений			
	Слабые	Средние	Сильные	Полные
Кирпичные и каменные малозэтажные многоэтажные	8 - 20 8 - 15	20 - 35 15 - 30	35 - 50 30 - 45	50 - 70 45 - 60
Железобетонные крупнопанельные малозэтажные многоэтажные	10 - 30 8 - 25	30 - 45 25 - 40	45 - 70 40 - 60	70 - 90 60 - 80
Железобетонные монолитные многоэтажные повышенной этажности	25 - 50 25 - 45	50 - 115 45 - 105	115 - 180 105 - 170	180 - 250 170 - 215
Железобетонные крупнопанельные, с железобетонным и металлическим каркасом и крановым оборудованием грузоподъемностью, т до 50 от 50 до 100	5 - 30 15 - 45	30 - 45 45 - 60	45 - 75 60 - 90	75 - 120 90 - 135
Здания со стенами типа «Сэндвич» и крановым оборудованием грузоподъемностью до 20 т	10 - 30	30 - 50	50 - 65	65 - 105
Складские помещения с металлическим каркасом и стенами из листового металла	5 - 10	10 - 20	20 - 35	35 - 45

опасными (тяжелые последствия) являются взрывы ГВС в открытом пространстве и замкнутом объеме (внутри оборудования, помещения). При подобных взрывах, в отличие от других видов аварии, на окружающую среду (люди, здания и оборудование) одновременно могут действовать сразу несколько поражающих факторов – ударная волна, осколки, тепловое воздействие и продукты взрыва. При этом масштабы аварийных взрывов обычно намного превосходят масштабы других видов аварий при одинаковом количестве горючего вещества, участвующего в аварии.

Особенность таких взрывов заключается в том, что скорость распространения ВУВ и осколков при их образовании настолько велика, что человек, попадающий в зону действия поражающих факторов, не успевает покинуть ее или воспользоваться какими-либо средствами защиты в отличие от аварий, связанных с пожарами или выбросом токсичных веществ. Наибольшую опасность для

людей и сооружений представляет механическое действие воздушной ударной волны детонационного взрыва облака ГВС.

Ударная волна – это область резкого сжатия среды, распространяющаяся во все стороны от места взрыва с одинаковой скоростью. Передняя граница сжатого воздуха – фронт волны. Поражающее действие взрывной ударной волны характеризуется избыточным давлением – разностью между максимальным давлением во фронте волны и нормальным атмосферным давлением.

Общую оценку разрушений, вызванных ВУВ, принято давать по их степени тяжести (табл. 2). Как правило, рассматривают четыре степени тяжести разрушений: слабое, среднее, сильное и полное.

**Слабое разрушение.** Объект не выходит из строя, его можно эксплуатировать немедленно или после незначительного текущего ремонта (окна, двери, легкие перегородки).

**Среднее разрушение.** Разрушение второстепенных элементов объекта, которые восстанавливаются при среднем или капитальном ремонте (окна, двери, крыша, трещины в стенах, обрушение стен верхних этажей).

**Сильное разрушение.** Разрушение несущих конструкций и перекрытий верхних этажей, образование трещин в стенах и деформация нижних этажей. Использование помещений невозможно, а ремонт нецелесообразен.

Наиболее характерным поражающим фактором действия аварий с участием газоздушных смесей является избыточное давление:

- при сгорании ГВС в открытом пространстве;
- при сгорании ГВС в замкнутом пространстве – в резервуаре или производственном помещении;
- при разрыве оборудования (физический взрыв), в том числе в результате воздействия очага пожара.

Расчет зон действия поражающих факторов при сгорании ГВС в открытом пространстве является достаточно сложным этапом количественной оценки техногенного риска. Следует отметить, что к настоящему времени в отечественной и зарубежной литературе существует ряд методик по определению избыточного давления при сгорании газовой смеси на открытом и в закрытом пространствах, существенно различающихся по точности, сложности и глубине проработки процессов формирования полей поражающих факторов объемных взрывов.

Разнообразие существующих методик показывает, что возникает необходимость их сравнения и всестороннего анализа, в том числе связанного с оценкой взрывоустойчивости зданий с постоянным нахождением в них людей. Решение данной задачи позволит снизить неопределенность получаемой информации и повысить эффективность применения различных методик. Особенно это необходимо на стадии проектирования новых хранилищ

СПГ, в ходе которой требуется провести:

- выбор места и общей планировки зданий в зависимости от месторасположения хранилищ СПГ;
- расчет выбранных конструкций зданий на динамические нагрузки от действия внешних и внутренних взрывов газопаровоздушных смесей;
- расчет площади поверхностей предохранительных легкосбрасываемых конструкций и выявление их оптимальных конструктивных решений в случае взрыва внутри здания и т.п.

В табл. 3 представлены существующие методики расчета поражающих факторов газопаровоздушных смесей на опасных производственных объектах и их недостатки.

Анализ показал, что в большинстве существующих методик в основу определения избыточного давления ВУВ заложен расчет энергии взрыва через тротиловый эквивалент, при этом принято, что взрывы газопаровоздушных смесей аналогичны взрывам конденсированных взрывчатых веществ (ВВ). Для оценки повреждений, вызванных взрывной волной,

используют понятие тритилового эквивалента. Воздействие ВУВ от газового взрыва в этом случае приравнивается к тому, которое вызывает взрыв некоторой эквивалентной массы тринитротолуола (ТНТ). Однако этот способ не совсем корректен. Во-первых, ослабление взрывной волны с расстоянием для этих двух процессов носит различный характер в области больших и умеренных давлений. Во-вторых, наблюдаются различия с тритиловым эквивалентом по импульсу и давлению вследствие различной длительности этих процессов. В-третьих, такой подход лишь приближенно верен при больших массах газопаровоздушных смесей и на значительных расстояниях от эпицентра взрыва, что приводит к существенным погрешностям в ближней зоне, так как в отличие от взрыва твердого ВВ, который относится к точечным взрывам, взрыв газопаровоздушной смеси является объемным.

Также в данных методиках не учитываются свойства горючих паров, содержащихся в облаке, агрегатное

Таблица 3

**Методики оценки последствий взрывов газопаровоздушных смесей на опасных производственных объектах**

Исходящий документ	Дата принятия	Недостатки
ПБ 09-540-03 «Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств»	Утверждены Постановлением Госгортехнадзора России от 5.05.2003 г. № 29	Определение поражающих факторов основано на параметрах взрывов концентрированных взрывчатых веществ; завышают результаты расчетов в эпицентре взрыва облака ГВС
ГОСТ Р 12.3.047-98 «Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля»	Введен Постановлением Госстандарта России от 3.08.1998 г. № 304	Определение поражающих факторов основано на параметрах детонации газовых облаков водорода; низкая точность расчетов
СП 12.13130.2009. Свод правил. Определение категорий зданий, сооружений и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности	Утвержден Приказом МЧС России от 25.03.2009 г. № 182	Определение поражающих факторов основано на параметрах детонации газовых облаков водорода; завышает результаты расчетов в эпицентре взрыва облака ГВС
РБ Г-05-039-96 Руководство по анализу опасности аварийных взрывов и определению параметров их механического действия	Утверждено Постановлением Госатомнадзора России от 31.12.1996 г. № 100	Определение поражающих факторов основано на применении графоаналитических зависимостей; низкая точность
РД 03-409-01 «Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей»	Введена в действие Постановлением Госгортехнадзора России от 26.06.2001 г. № 25	Определение поражающих факторов основано на параметрах взрывов пропановоздушных смесей; завышает результаты расчетов на малых расстояниях от облака

Математический аппарат расчета параметров ВУВ

Документ	Режим	Применяемый методологический аппарат
ПБ 09-540-03	Детонация	$\Delta p = K/m_T^{0,33} [1 + (3180/m_T)^2]^{0,166}$ $m_T = 0,1 (0,4/0,9) m (q/q_T)$
ГОСТ Р 12.3.047-98 СП 12.13130.2009	Детонация	$\Delta p = p_0 (0,8 m_{np}^{0,33}/R + 3 m_{np}^{0,66}/R^2 + 5 m_{np}/R^3)$ $m_{np} = 0,1 m(q/q_T)$
РД 03-409-01 РБ Г-05-039-96	Детонация	$\Delta p = \exp[-1,124 - 1,66 \ln R_x + 0,26 (\ln R_x)^2]$ $R_x = R/(E/p_0)^{1/3}$
Методика ВНИИГОЧС	Детонация Дефлаграция	Номограммы: масса – расстояние – режим – степень разрушения
Методика TNO (Голландия)	Дефлаграция	Номограмма для углеводородовоздушных смесей: масса – расстояние – давление

**Примечание.**  $\Delta p$  – избыточное давление взрыва в окружающей среде, кПа;  $p_0$  – атмосферное давление, кПа;  $K$  – константа соответствующей степени тяжести разрушения;  $m_T$ ,  $m_{np}$  – общая приведенная масса горючего вещества во взрывоопасной парогазовой смеси (масса взрыва парогазовоздушных смесей, выраженная в тротиловом эквиваленте), кг;  $m$  – масса горючего вещества во взрывоопасной парогазовой смеси (масса взрыва парогазовоздушных смесей), кг;  $q$ ,  $q_T$  – удельная теплота сгорания паровоздушной среды и взрыва тротила соответственно, кДж/кг;  $R$  – расстояние от места взрыва (источник) до объекта, м;  $R_x$  – условный радиус полного разрушения, м;  $E$  – полная энергия взрыва, кДж.

состояние ГВС, режим взрывного превращения, вид окружающей территории, скорость распространения пламени. В некоторых методиках отсутствуют расчеты импульса волны давления, из-за отсутствия аналитических зависимостей имеет низкую точность определение параметров ударной воздушной волны и др.

В целом, существующие методики не учитывают различия схем формирования и эволюции ударных волн при детонации конденсированных ВВ и горючих газопаровоздушных смесей. К этим различиям относятся:

- продолжительность положительной фазы сжатия газовых взрывов в 8 раз больше фазы сжатия продуктов взрыва конденсированных ВВ;
- ударная волна при взрыве конденсированного ВВ распространяется в воздушной среде с резким падением избыточного давления по мере удаления от точечного заряда, а при взрыве газозвушных смесей – внутри облака с определенной (постоянной) скоростью и избыточным давлением во фронте; на больших

расстояниях от центра взрыва различие параметров ВУВ конденсированных взрывчатых веществ и газопаровоздушных смесей нивелируется.

Параметры волн давления в зависимости от центра облака рассчитываются исходя из ожидаемого режима сгорания (детонация, дефлаграция) облака по различным методикам, упрощенный математический аппарат которых представлены в табл. 4.

Так как в существующих источниках отсутствуют данные о значениях давления внутри детонирующего ме-

тановоздушного облака и законе убывания давления от края облака, возникает необходимость в разработке нового методологического аппарата применительно к СПГ. Предполагается определять избыточное давление на фронте ВУВ при взрыве газопаровоздушных облаков не за счет использования эквивалентного заряда ТНТ, а за счет эквивалентной массы метана в стехиометрической смеси с воздухом в ограниченном объеме при режиме взрывного превращения – детонации.

## Литература

1. Кириллов Н.Г. Рынок сжиженного газа: российские перспективы // Энергетика и промышленность России. – 2009. – № 1. – С. 31.
2. Кириллов Н.Г., Лазарев А.Н. Сжиженный природный газ: анализ мирового рынка и перспективы отечественного производства // Газохимия. – 2011. – № 6. – С. 23-29.
3. Lundh P.E., Dixon S.B. ExxonMobil – Technology innovations extending LNG'S commercial reach. VNIIGAZ LNG and GTL Conference, LNG-D9, 26 – 27 May 2004.
4. Кириллов Н.Г., Лазарев А.Н. Патентные исследования в области создания стационарных хранилищ СПГ для транспортных средств России // Транспорт на альтернативном топливе. – 2011. – № 4 (22). – С. 74-79

## Оценка затрат на создание аэродромного газового топливозаправочного комплекса

**В.П. Зайцев,**  
генеральный директор ОАО «Интеравиагаз»,  
**В.И. Маврицкий,**  
начальник НИО-10 ФГУП «ЦАГИ», к.т.н.

Основной проблемой, сдерживающей внедрение альтернативной газотопливной технологии в авиационную технику, как считают многие, являются сложности в организации и высокая стоимость комплексов производства авиационного сконденсированного пропан-бутанового топлива (АСКТ), его хранения, транспортировки, заправки и т.д. В статье рассмотрены особенности формирования типового аэродромного топливозаправочного комплекса для АСКТ, а также проведена оценка возможных затрат на его создание.

**Ключевые слова:** аэродромный топливозаправочный комплекс, ТЗК, авиационное пропан-бутановое топливо, АСКТ, газолет, Ми-8ТГ, затраты.

## Estimation of possible costs of creating the airfield gas refueling complex

**V.P. Zajtsev, V.I. Mavritskiy**

It is considered that the main problems of introducing the alternative gas fuel technology in aviation are connected with difficulties in organization of gas refueling complexes, high cost of producing by them the aviation condensed propane-butane fuel-ASKT, its storage, transportation, refueling, etc. The article deals with peculiar features of creating a standard airfield TZK (refueling complex) intended for ASKT (TZK-ASKT). The estimation of possible costs of creating the gas refueling complex is also given.

**Keywords:** airfield refueling complex, TZK, aviation propane-butane fuel, ASKT, gazolet, Mi-8TG, costs.

Одной из главных причин высокой стоимости летного часа являются постоянно растущие цены на авиатопливо. В районах Крайнего Севера и приравненных к нему местностях этот фактор дополнительно усугубляется таким же постоянным ростом цен на транспортировку и хранение топлива с учетом сезонного завоза. В результате стоимость 1 т

авиакеросина в аэропортах Крайнего Севера превышает в настоящее время 1 тыс. долл. США. При этом на воздушных судах некоторых типов стоимость топлива в общих затратах может достигать 50 %.

Снизить летный тариф, повысить интенсивность эксплуатации вертолетного и самолетного парков, а также более рационально

использовать топливно-энергетические ресурсы позволит внедрение в авиационную технику газотопливной технологии и в первую очередь использование авиационного сконденсированного пропан-бутанового топлива (АСКТ) [1]. Его относительно несложно получать из попутного нефтяного или природного газов с высоким содержанием тяжелых углеводородов [2]. Особенно эффективно его внедрение в северных, сибирских, дальневосточных и арктических регионах – главных сырьевых кладовых России, в которых газ имеется в избытке, а авиатопливо приходится завозить из промышленно развитых районов страны.

АСКТ по ряду эксплуатационных показателей превосходит авиакеросин. Это топливо также дешевле, экологически чище и менее агрессивно по отношению к конструкционным и уплотнительным материалам. В частности, его стоимость в 1,5-2 раза, а в районах Крайнего Севера в 3-5 раз будет ниже, чем авиакеросина, так как технология производства АСКТ проще, а исходное сырье дешевле. Кроме того, на Севере в цене газового топлива, вырабатываемого из местного сырья, будет значительно меньше и транспортная составляющая.

Основными проблемами, сдерживающими внедрение альтернативной газотопливной технологии в авиационную технику, как считают многие, являются сложности в организации наземных комплексов производства АСКТ, его хранения, транспортировке, заправке и т.д., а также сомнения в наличии сырьевых ресурсов в необходимых объемах для его производства и использования в авиации. Теплофизические и эксплуатационные свойства АСКТ имеют характерные отличия от традиционных топлив, и



Рис. 1. Мобильная блочная установка высокой заводской готовности – МГБУ

указанные проблемы требуют соответствующего анализа.

Ресурсные вопросы, а также особенности организации производства АСКТ должны быть рассмотрены отдельно соответствующими специалистами. Однако, по данным ООО «СИБУР», в настоящее время в стране имеется и прогнозируется в будущем профицит сырья для производства АСКТ, превышающий возможные его потребности гражданской авиацией России. Для производства АСКТ не потребуется строить новых заводов. Оно может быть организовано практически на любом из существующих газо- и нефтеперерабатывающих предприятий: ГПЗ, НПЗ, на установках комплексной подготовки газа (УКПГ), на заводах по стабилизации (ЗСК) и переработке (ЗПК) газового конденсата и т.д. после их небольшого дооборудования (главным образом – создание емкостей для хранения АСКТ) и переналадки, что не вызовет больших проблем и позволит резко сократить начальные затраты. Кроме того, АСКТ можно также получать непосредственно на нефтепромыслах или в специально

оборудованных точках вдоль продуктопроводов ШФЛУ, используя в необходимых случаях малогабаритные блочные установки высокой заводской готовности (рис. 1), проектирование, производство и сдачу «под ключ» которых высокопрофессионально могут обеспечить краснодарский ОАО «НИПИгазпереработка» и другие организации [2].

Рассмотрим особенности формирования типового аэродромного топливозаправочного комплекса для АСКТ (ТЗК-АСКТ), а также оценим возможные затраты на его создание. Следует заметить, что в авиации проблемы заправки носят не столь острый характер, как в автомобильном хозяйстве, так как места базирования авиатехники и ТЗК, как правило, территориально тесно связаны между собой, а разовые заправки доходят до десятков тонн.

Произведенное на газоперерабатывающих заводах или других аналогичных установках АСКТ транспортируется в железнодорожных или автомобильных цистернах на аэродромные склады горючесмазочных материалов (ГСМ) и на вертолетные площадки. На них должны быть созданы приемные фильтрационные системы со степенью очистки 20 мкм, резервуары для хранения АСКТ и устройства для заправки летательных аппаратов АСКТ или авиакеросином с фильтром 5 мкм, а также средства



Рис. 2. Двухтопливный заправочный модуль

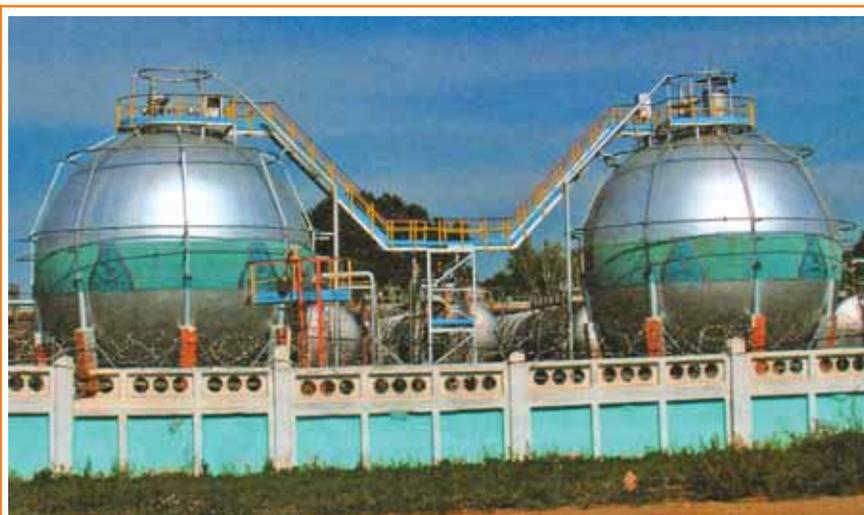


Рис. 3. Шаровые резервуары большой емкости

контроля кондиционности АСКТ, противопожарные средства и т.п. Основные задачи аэродромного ТЗК-АСКТ аналогичны ТЗК для штатных топлив.

Физические свойства АСКТ более близки свойствам пропан-бутана [1] и несколько отличаются от штатного авиационного топлива – авиакеросина. Благодаря этому для хранения, транспортировки и т.п. АСКТ можно использовать практически все виды оборудования, предназначенного для пропана и бутана. Таким образом, создание ТЗК-АСКТ значительно упрощается и удешевляется вследствие того, что его большая часть может состоять из устройств и установок, уже давно применяющихся в автомобильной и нефтехимической промышленности. Это обусловлено использованием одного и того же сырьевого материала, а условия хранения и транспортировки АСКТ за счет более низкого давления насыщенных паров даже более приемлемы для эксплуатации, чем у пропана, и близки к бутану.

Для эксплуатации летательных аппаратов, двигатели которых могут работать как на сжиженном газовом топливе, так и на авиакеросине, необходимо высокоскоростное

заправочное устройство – модуль заправки (МЗ), который обеспечит бы перекачку сжиженного газа или авиакеросина в топливные баки, а также другие технологические операции за требуемое по нормативам гражданской авиации время.

В России и в мире подобные установки не производятся. Опытно-промышленный образец такого устройства был создан в ФГУП «ЛИИ им. М.М. Громова» по техническому заданию ОАО «Интеравиагаз», согласованному с ОАО «МВЗ им. М.Л. Миля». Модуль представляет собой параллелепипед длиной 2,3 м,

шириной около 1 м и высотой около 1,5 м (рис. 2). Масса модуля около 1,2 т.

Модуль прошел первый этап испытаний на топливном стенде ФГУП «ЦИАМ» (г. Лыткарино), в ходе которых была проверена его работоспособность и подтверждены его технические и эксплуатационные характеристики при работе как на авиакеросине, так и на сжиженном газе – имитаторе АСКТ – в летних и зимних условиях. В программу испытаний входила тарировка модуля, анализ его технических характеристик, проверка герметичности и прочности модуля, проверка на гидроудар, имитация заправки летательного аппарата при разных противодавлениях, откачка топлива из топливных баков и т.п. Испытания показали, что по всем контролируемым параметрам модуль заправки керосином и сжиженным газом пропан-бутанового ряда функционирует нормально и может быть допущен к дальнейшим испытаниям.

Модуль может эксплуатироваться на открытых площадках как в стационарном положении, так и в передвижном (в кузове транспортного средства). Он предназначен для

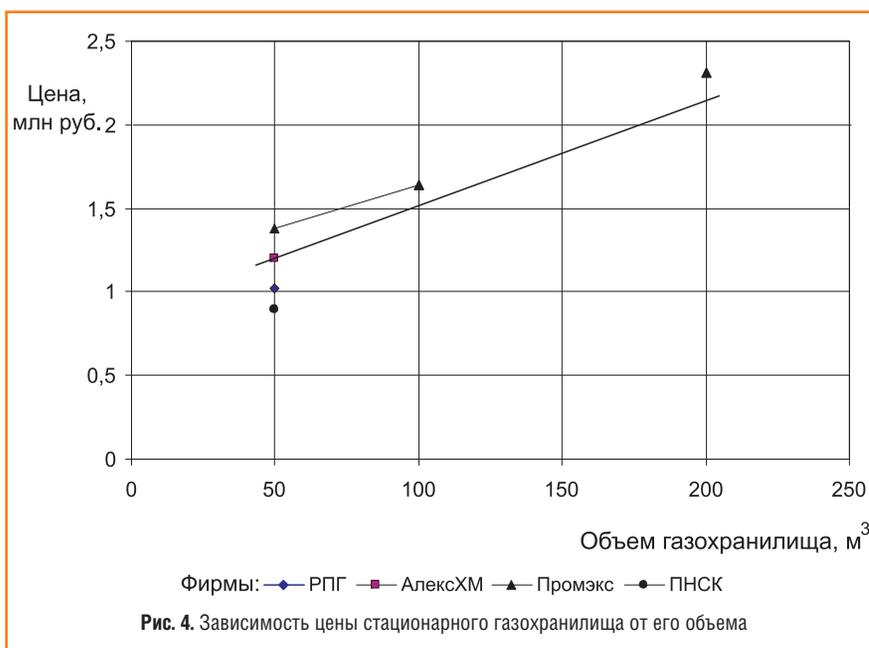


Рис. 4. Зависимость цены стационарного газохранилища от его объема



Рис. 5. Полуприцеп-цистерна большой емкости

выполнения следующих технологических операций:

- заправки баков летательного аппарата авиакеросином, АСКТ или их смесью из штатной топливной цистерны или автоцистерны-газовоза;
- слива заправленного топлива из баков летательного аппарата в топливную цистерну или автоцистерну-газовоз;
- откачивания топлива из заправочного и сливного рукавов в сливной бак;
- перекачки топлива из транспортной емкости в стационарную и наоборот;
- отбора проб заправляемого, откачиваемого и перекачиваемого топлива с помощью специального пробоотборника и т.д.

Заправочный модуль должен обеспечивать работоспособность при следующих условиях:  
 диапазон атмосферного давления, мм рт. ст. ....525-800  
 диапазон рабочих температур, °С ..... От - 45 до 50  
 максимальная влажность воздуха при  $t = 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ , % ..... 98  
 максимальная интенсивность выпадения осадков, мм/мин ..... 15

Создание универсального высокоскоростного модуля заправки вертолета газовым топливом или авиакеросином не представляет технических трудностей. Стоимость

МЗ на начальном этапе разработки определить трудно. Однако, исходя из существующих аналогов, можно предположить, что в серийном производстве она составит 1,5...2,0 млн руб.

Оценка возможных затрат на создание наземной инфраструктуры топливообеспечения ТЗК-АСКТ проведена применительно к вертолетному авиаотряду, имеющему в своем составе 25 вертолетов семейства Ми-8, переоборудованных для эксплуатации на газовом топливе. При годовом налете одного среднесписочного вертолета 500 ч

и среднем (с учетом технологических потерь и т.п.) расходе топлива 700 кг/ч вертолеты авиаотряда будут расходовать около 10 тыс. т/год АСКТ. С учетом четырехдневного нормативного запаса топлива его объем составит 100...110 т, а при 15%-й газовой «подушке» – приблизительно 200...220 м<sup>3</sup>. Кроме того, необходимость определенного аварийного резерва увеличит запас топлива на ТЗК-АСКТ до 150 т АСКТ.

Таким образом, геометрический объем резервуарного парка АСКТ рассматриваемого авиаотряда должен составлять приблизительно 300 м<sup>3</sup> и состоять из двух шаровых резервуаров (рис. 3) объемом по 150 м<sup>3</sup> общей стоимостью 3,6 млн руб. (рис. 4). Кроме того, для перевозки АСКТ с баз и промежуточных складов на ТЗК-АСКТ должны использоваться несколько транспортных газовозов, например, полуприцепы-цистерны ППЦТ-31 с полезной вместимостью 27,1 м<sup>3</sup> или 15,5 т (рис. 5) и стоимостью около 2,4 млн руб. (рис. 6) с тягачом КамАЗ 54112, стоимостью примерно 1,6 млн руб.

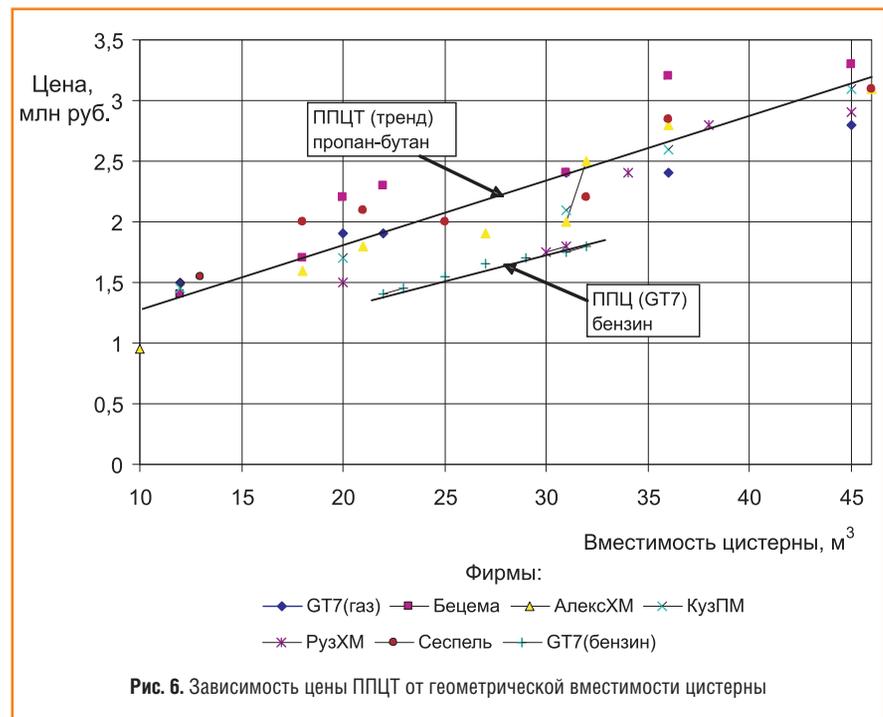


Рис. 6. Зависимость цены ППЦТ от геометрической вместимости цистерны

## Затраты на основное оборудование аэродромного комплекса ТЗК-АСКТ

Статьи затрат	Стоимость, тыс. руб.		
	1 экз.	Комплект	%
<b>Средства наземного обслуживания</b>		17434	44,2
<b>В том числе:</b>			
Модуль заправки, 3 шт.	1750	5250	13,31
Полуприцеп-цистерна ППЦТ-31 для АСКТ, 3 шт.	2400	7200	18,25
Седельный тягач, 3 шт.	1600	4800	12,17
Свеча дожигания*	22	22	0,06
Эксплуатационный инвентарь*	47	47	0,12
Пробоотборник АСКТ*	9	9	0,02
Ручной прибор для выявления утечек АСКТ*	15	15	0,04
Насосная установка*	91	91	0,23
<b>Средства оборудования аэродрома</b>		3739	9,5
<b>В том числе:</b>			
Резервуары хранения АСКТ, 2 шт.	1800	3600	9,13
Молниезащита*	22	22	0,06
Сигнализаторы загазованности*	117	117	0,31
<b>Транспортные и строительно-монтажные работы*</b>		18250	46,3
<b>Итого затрат</b>		<b>39423</b>	<b>100</b>

Примечание. \* С поправкой на 10%-ю среднегодовую инфляцию.

Для контроля чистоты АСКТ могут быть использованы стандартные автоматизированные средства типа ФС-151 и средства сигнализации о засорении фильтров. Для определения состава АСКТ в условиях базового аэродрома может быть применен хроматограф «Газохром 3101»

с регистратором КСП-У-909 производства завода «Хроматограф» (г. Москва).

При сооружении наземного комплекса АСКТ в действующих аэропортах отпадает необходимость строительства специального производственного здания. Размещение

персонала и оборудования контроля качества топлива также возможно в помещениях, имеющихся в составе службы ГСМ аэропорта. Поэтому в структуре затрат они не учитывались.

Из приведенных наиболее значимых в финансовом отношении элементов такого ТЗК-АСКТ (таблица) видно, что транспортировка комплектующих агрегатов к месту размещения ТЗК и строительно-монтажные работы составляют почти половину затрат. Остальные приходятся на транспортно-заправочное оборудование и резервуары для хранения АСКТ. В общей сложности затраты на создание аэродромного комплекса ТЗК-АСКТ для авиаотряда из 25 вертолетов семейства Ми-8 могут составить 35...45 млн руб. или в среднем 1,4...1,8 млн руб. на один вертолет.

На начальном этапе при введении в эксплуатацию опытной партии двухтопливных вертолетов ввиду относительной незначительности расхода АСКТ затраты на аэродромный комплекс можно уменьшить почти вдвое, не сооружая стационарных хранилищ, а организовав заправку вертолетов следующими способами: непосредственно из транспортной автоцистерны; используя транспортируемые контейнеры-цистерны (рис. 7); по продуктопроводу (при расположении аэродрома недалеко от завода-изготовителя АСКТ).

## Литература

1. Ковалев И.Е., Маврицкий В.И., Зайцев В.П. Внедрение газотопливной технологии в авиацию // Транспорт на альтернативном топливе. – 2011. – № 1 (19). – С. 69-75.
2. Бащенко Н.С., Пуртов П.А., Аджиев А.Ю., Зайцев В.П. Получение нового авиационного топлива АСКТ на газоперерабатывающих заводах // Недропользование – XXI век. – 2011. – № 6 (31). – С. 34-38.



Рис. 7. Транспортируемые контейнеры-цистерны – КЦГ

## Возможности производства нового авиационного топлива АСКТ

**Н.С. Бащенко,**

заведующая группой технологического отдела ОАО «НИПИГазпереработка»,

**П.А. Пуртов,**

генеральный директор ОАО «НИПИГазпереработка»,

**А.Ю. Аджиев,**

советник генерального директора ОАО НИПИГазпереработка»,

главный научный сотрудник,

**И.Е. Ковалев,**

заместитель генерального директора ФГУП «ЦАГИ»,

**В.И. Маврицкий,**

начальник НИО-10 ФГУП «ЦАГИ»,

**В.П. Зайцев,**

генеральный директор ОАО «Интеравиагаз»

Постоянное увеличение стоимости авиакеросина приводит к росту стоимости и значительному снижению авиаперевозок (грузовых и пассажирских), особенно в северных и приравненных к ним регионах. Возможным решением этой проблемы может стать использование альтернативного топлива, которое можно получать из попутного нефтяного газа (ПНГ). Причем такое топливо уже известно более четверти века, а его производство не представляет технических проблем и является выгодным [1].

**Ключевые слова:** АСКТ, авиаперевозки, авиакеросин, малая авиация, ГПЗ, газовое топливо.

## Possibilities of producing new aviation fuel АСКТ

**N.S. Bashchenko, P.A. Purtov, A.Y. Adzhiev,**

**I.E. Kovalev, V.I. Mavritsky, V.P. Zaitsev**

The constant increase in the cost of jet fuel increases the cost and a significant reduction in air traffic (freight and passenger) especially in the north regions and equated with them areas. A possible solution to this problem may be the use of alternative fuels that can be produced from casing-head gas. Moreover, this fuel is already known for more than a quarter of century, and its production is not a technical problem, and is profitable [1].

**Keywords:** АСКТ, air, jet, small aircraft, GPP, fuel gas.

Стоимость грузовых и пассажирских авиаперевозок играет значительную роль в экономической и социальной сферах деятельности государства и регионов. За Уралом во многие труднодоступные удаленные населенные пункты и на объекты промышленной деятельности (добыча нефти, газа, золота и др.) можно добраться только

вертолетом и самолетом. В авиаперевозках значительную долю (28...32 %) составляет стоимость авиационного топлива и транспортные расходы на его доставку к месту потребления.

В Западной Сибири работают несколько авиаотрядов, осуществляющих местные перевозки, из них самые крупные – «Газпромавиа», «ЮТэйр» и

«Ямал», вертолеты которых потребляют 85...90 % общего количества авиакеросина. Основными «рабочими лошадками» являются вертолеты семейства Ми-8.

В 2010 г. в России общий годовой налет вертолетов семейства Ми-8 насчитывал около 400 тыс. ч, что составляло 85...90 % в общем годовом налете всех вертолетов. Средний расход авиакеросина для вертолетов этого типа составляет 0,6 т/ч.

Следует заметить, что по сравнению с 90-ми гг. прошлого века объем региональных авиаперевозок в России упал почти в 5 раз. Налет вертолетов также уменьшился более чем в 3 раза (в 1988 г. он составлял почти 1,3 млн ч). С учетом интенсивности работ по освоению месторождений п-ва Ямал и других регионов Сибири годовая потребность в авиационном топливе будет постоянно возрастать. Активизации авиаперевозок в значительной степени может способствовать переход на более дешевое доступное топливо. Его производство может быть налажено с минимальными капитальными затратами и транспортными расходами практически на любых газоперерабатывающих установках в непосредственной близости к местам потребления [2].

Инициаторами и участниками проекта по переводу малой и региональной авиации на новое газовое топливо являются авиационные организации (ЦАГИ, ЦИАМ, ЛИИ, ГосНИИ ГА, «Интеравиагаз», Московский вертолетный завод им. М.Л. Миля, ОАО «Климов»), а также ОАО «НИПИГазпереработка».

Основным сырьем для производства нового вида авиационного топлива – АСКТ – для газотурбинных двигателей вертолетов и самолетов является широкая фракция легких углеводородов (ШФЛУ), продукта переработки нефтяного и природного газа, соответствующего требованиям ТУ 38.101524–83.

На новое авиационное топливо АСКТ (табл. 1) были разработаны и

Таблица 1

## Технические условия на газовое топливо – АСКТ (ТУ-39-1547–91)

Наименование показателя	Норма	Метод испытания
Массовое содержание пропана, %, не более	7,2	ТУ 38.101524–83
Абсолютное давление насыщенных паров при 45 °С, МПа, не более	0,5	ГОСТ 21443–75Э или ТУ-39-1547–91 п. 5.2
Плотность при 20 °С, кг/м <sup>3</sup> , не менее	585	ТУ-39-1547–91 п. 5.3.
Теплота сгорания (низшая), кДж/кг, не менее	45 200	ТУ-39-1547–91 п. 5.4.
Массовое содержание сернистых соединений в пересчете на серу, %, не более	0,002	ГОСТ 22986–78
Содержание свободной воды	Нет	ГОСТ 21443–75Э
щелочи	Нет	ГОСТ 21443–75Э
механических примесей	Нет	ТУ 391340–89
Внешний вид	Бесцветный, прозрачный	ТУ 391340–89

**Примечание.** Для улучшения эксплуатационных свойств в АСКТ могут добавляться присадки, допущенные к применению в установленном порядке.

утверждены технические условия ТУ 39-1547–91. В настоящее время наряду с другими топливами АСКТ внесено в проект Технического регламента Таможенного союза «О требованиях к автомобильному и авиационному бензину, дизельному и судовому топливу, топливу для реактивных двигателей и мазуту».

АСКТ может использоваться в том же температурном диапазоне, в котором эксплуатируется авиационная техника (табл. 2). Теплофизические, экологические и эксплуатационные свойства АСКТ превосходят аналогичные свойства авиакеросина. Так, у авиакеросина показатель теплоты сгорания составляет 42900, а у АСКТ – 45200 кДж/кг, что на 5 % выше. Кроме того, при сгорании АСКТ практически отсутствуют сажистые отложения, что

позволяет рассчитывать на увеличение ресурса двигателей на 20...30 %.

Вопросами возможности использования АСКТ, в частности, в турбовинтовых авиационных двигателях вертолетов семейства Ми-8 вышеуказанные организации занимаются более четверти века. Так, в 1985 г. на заводе им. В.Климова в Ленинграде были проведены стендовые испытания вертолетного двигателя ТВ2-117ТГ, модифицированного для работы на газовом топливе.

В 1987 г. на летно-испытательной станции под Москвой прошли испытания экспериментального Ми-8ТГ, один из двигателей которого работал на газовом топливе пропан-бутанового ряда. Вертолет летал на всех режимах, характерных для Ми-8Т, и показал отличные результаты (не было заметно

Таблица 2

## Основные характеристики авиакеросина ТС-1 и АСКТ

Показатели	ТС-1	АСКТ
Фракционный состав, °С		
н.к.	150	—
50 %	195	—
98 %	250	—
Теплота сгорания (низшая), кДж/кг, не менее	42 900	45 200
Массовая доля общей серы, %, не более	0,25	0,002
Массовая доля ароматических и нафтеновых углеводородов, %, не более	22	6,0
Кинематическая вязкость при –40 °С, мм <sup>2</sup> /с, не более	8	2
Плотность при 20 °С, кг/м <sup>3</sup> , не менее	780	585

никакой разницы в пилотировании и работе силовой установки).

В начале 90-х гг. прошлого века на Московском вертолетном заводе им. М.Л. Миля создан и прошел начальный этап испытаний первый в мире опытно-промышленный образец вертолета Ми-8ТГ с двигателями, работающими как на АСКТ, так и на авиакеросине и их смесях. Испытания показали, что при переходе на газовое топливо основные характеристики вертолета остаются практически неизменными, а некоторые даже улучшаются, особенно при эксплуатации в условиях пониженных температур [3].

Опытно-промышленный образец вертолета в 1995 г. был показан в полете на Международном авиакосмическом салоне в г. Жуковский и привлек внимание отечественных и зарубежных специалистов и прессы. Весной 2000 г. вертолет получил Диплом на выставке «Высокие технологии оборонного комплекса» в Москве на Красной Пресне, в феврале 2001 г. вертолет был награжден Дипломом и Золотой Медалью на Первом московском международном салоне инноваций и инвестиций, в ноябре 2006 г. – дипломом Комитета по экологии Госдумы РФ и Фонда им. В.И. Вернадского «За вклад в укрепление экологической безопасности и устойчивое развитие России», были и другие награды.

Технология производства АСКТ отработана в ОАО «НИПИГазпереработка». Его можно вырабатывать из ШФЛУ практически на любых газо- и нефтеперерабатывающих объектах с дооборудованием их необходимыми фракционирующими блоками, в пунктах подготовки природного и нефтяного газа, а также непосредственно на нефтепромыслах с использованием МГБУ (малогабаритные блочные установки) высокой заводской готовности [4]. На предприятиях, выпускающих автопропан или пропан-бутановые смеси для хозяйственно-бытовых нужд, АСКТ можно производить параллельно, реализуя безотходное производство.

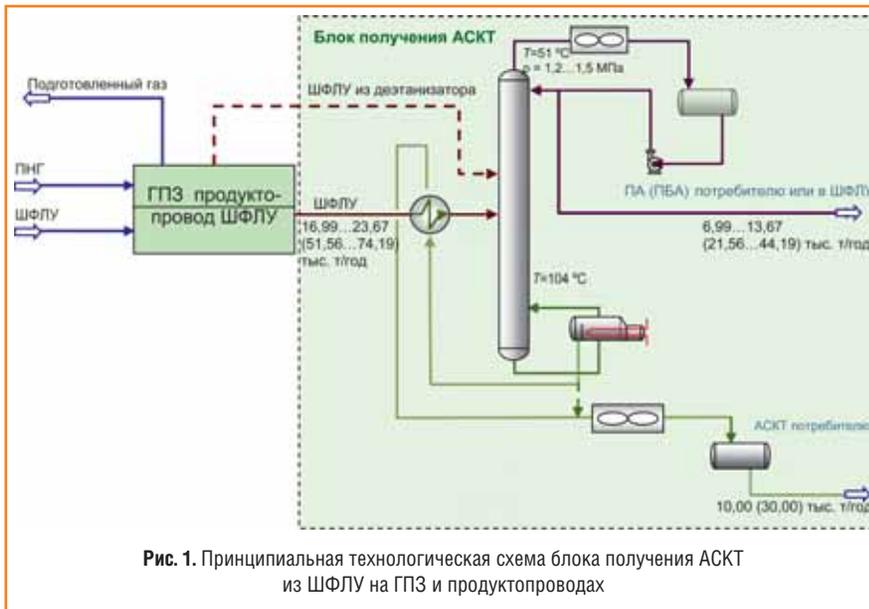


Рис. 1. Принципиальная технологическая схема блока получения АСКТ из ШФЛУ на ГПЗ и продуктопроводах

Для оценки стоимости производства АСКТ была рассмотрена возможность его организации на ГПЗ ЗАО «Сибур-Холдинг» в Западной Сибири. Производительность унифицированных блоков получения АСКТ выбрана 10 и 30 тыс. т/год по продукту. Это связано с тем, что суммарная потребность авиакомпаний «ЮТэйр» и «Ямал» в вертолетном топливе в 2011 г. составила ориентировочно 30 тыс. т/год. Производство АСКТ может быть налажено на нескольких объектах по принципу максимальной близости к потребителю, что снизило бы транспортную составляющую в стоимости топлива.

Для технологических расчетов, выбора оборудования и разработки унифицированного блока производства АСКТ (рис. 1) приняты компонентные составы (летний и зимний) ШФЛУ, получаемой на Южно-Балыкском, Губкинском, Нижневартовском и Краснотенинском ГПК.

Блок включает ректификационную колонну с сопутствующей обвязкой по верху и низу (теплообменные аппараты, емкости, насосы). В колонне исходное сырье (ШФЛУ) разделяется на верхний продукт – пропановую (ПА) или пропан-бутановую (ПБА) фракцию, соответствующую требованиям к автомобильному топливу, и

нижний продукт – АСКТ. Такой блок получения АСКТ может быть использован на продуктопроводе и на эстакадах слива-налива ШФЛУ, а также в местах ее хранения.

При наличии на ГПЗ газодифракционной установки (ГДУ) перерабатываемой широкой фракции легких углеводородов АСКТ как товарный продукт может в необходимом количестве отбираться в качестве нижнего продукта из колонны депропанатора. Балансовый избыток нижнего продукта колонны подается на разделение в бутановую колонну (рис. 2).

Для производства АСКТ не требуется сложное технологическое оборудование, применяемое в существующих процессах переработки попутного нефтяного и природного газов (табл. 3).

Экспертная оценка стоимости разработки и строительства блока получения АСКТ (табл. 4) для производительности 10 тыс. т/год составляет ориентировочно 30,1 млн руб., а для 30 тыс. т/год – 53,4 млн руб. (по ценам на декабрь 2011 г.).

По данным технико-экономической оценки производства АСКТ на ГПЗ ЗАО «Сибур-Холдинг» (табл. 5), стоимость авиакеросина по состоянию на декабрь 2011 г. составляла 24...26 тыс. руб./т, стоимость дополнительно вырабатываемого пропана автомобильного (ПА) – около 13 тыс. руб./т, сырья (ШФЛУ) для производства АСКТ – около 10 тыс. руб./т. Экспертная стоимость АСКТ оценивалась в 16...17 тыс. руб. без учета транспортных расходов, то есть в 1,5 раза ниже стоимости керосина.

Достаточно простой экономический расчет показывает, что производство 1 т АСКТ в условиях ГПЗ может принести 2,5...3 тыс. руб. прибыли. Срок окупаемости объекта для выбранной производительности составляет 1,2...1,4 и 0,8...1,0 года. Видно, что он существенно снижается с увеличением производительности.

Создание малотоннажных производств АСКТ – это только первые

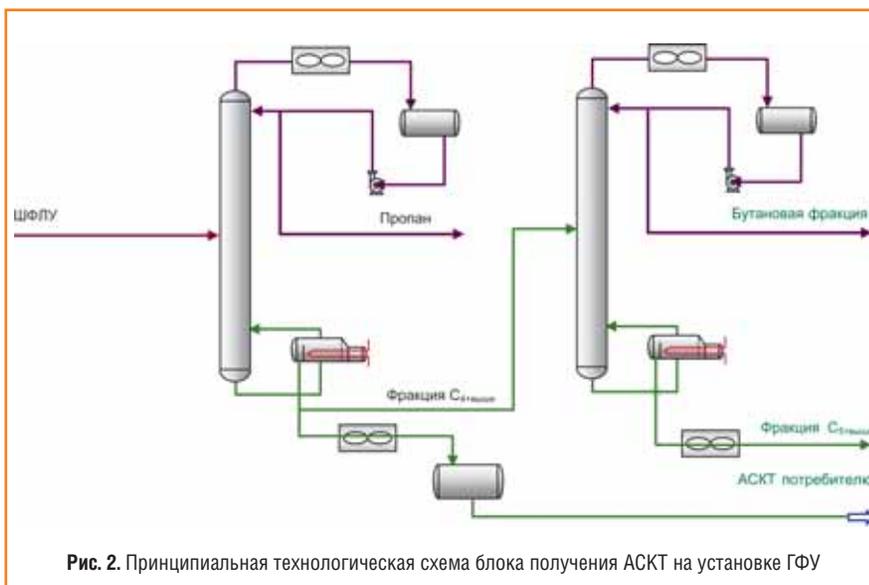


Рис. 2. Принципиальная технологическая схема блока получения АСКТ на установке ГДУ

Таблица 3

## Основное технологическое оборудование, необходимое для производства АСКТ

Аппарат	Число	Габаритные размеры $D(L) \times H(L)$ или $L \times B(D) \times H$ , мм, при производительности, тыс. т/год	
		10	30
Ректификационная колонна	1	600×14000	1000×16600
Испаритель	1	8300×(800)×1200	8300×(1000)×1200
Воздушный холодильник	2	3400×1400×1800 1900×1400×1800	8400×3500×4600 3400×1400×1800
Рефлюксная емкость	1	$V=3,5 \text{ м}^3$ 1200×(3700)	$V=16 \text{ м}^3$ 1600×(8300)
Насос	2	$Q$ до $5 \text{ м}^3/\text{ч}$ 918×425×405	$Q$ до $15 \text{ м}^3/\text{ч}$ 1000×450×405
Емкость хранения и отгрузки	2	$V=50 \text{ м}^3$ 2400×(11000)	

**Примечание.** Материальное исполнение всех аппаратов – углеродистая сталь.  $D$  – диаметр,  $L$  – длина,  $H$  – высота,  $B$  – ширина.

Таблица 4

## Экспертная оценка стоимости производства АСКТ

Наименование	Производительность, тыс. т/год	
	10	30
Основное технологическое оборудование (ОТО), тыс. руб.	14 400	27 000
Арматура и КиП (20 % от стоимости ОТО)	2 880	5 400
Трубопроводы (8 % от стоимости ОТО)	1 152	2 160
Изоляция и покраска (5 % от стоимости ОТО)	720	1 350
Блочность (20 % от стоимости ОТО)	2 880	5 400
Строительно-монтажные работы (30 % от стоимости ОТО)	4 320	8 100
Разработка и проектирование	3 728	4 000
<b>Всего, тыс. руб.</b>	<b>30 080</b>	<b>53 410</b>

Таблица 5

## Основные технико-экономические показатели производства АСКТ

Показатели	Значение	
Количество товарной продукции, тыс. т/год	АСКТ	10
	ПА	~14
Расход энергии для выработки, кВт/ч	теплоты	133...163
	холода	272...370
Капитальные вложения, млн руб. (разработка, проектирование, изготовление, строительство)		30,1
		53,4
Срок окупаемости капитальных вложений (ориентировочно), год	1,2...1,4	0,8...1,0

шаги. Строительство более крупных установок, особенно на новых объектах, не является сложной технической и технологической задачей. При планируемом активном освоении Сибири потребность в авиационном топливе, по оценкам специалистов, может составить до 1 млн т/год, а избыток производимой ШФЛУ может

достигнуть нескольких миллионов тонн.

Таким образом, лабораторно-стендовые испытания (1-й этап) нового топлива проведены, вертолет на АСКТ прошел начальный этап наземных и летных испытаний, производство АСКТ технических проблем не представляет и является выгодным,

создание инфраструктуры для хранения и заправки (аналоги давно применяются в нефтегазовой промышленности и выпускаются серийно для работы с пропан-бутаном) также не вызовет проблем. Оценки показывают, что приведенные затраты на создание аэродромного топливозаправочного комплекса АСКТ (ТЗК-АСКТ) будут находиться в пределах 1,4...1,6 млн руб. на вертолет.

Однако остаются следующие вопросы: получение разрешения на эксплуатацию вертолетов семейства Ми-8 с модифицированной топливной системой; переоборудование вертолетного парка для работы на сжиженном углеводородном газе; создание на аэродромах ТЗК-АСКТ и др. Все эти вопросы можно решить в рамках государственно-частного партнерства. Однако для их реализации необходимо активное участие заинтересованных сторон, а также федеральных и региональных структур.

## Литература

1. Ковалев И.Е., Маврицкий В.И., Зайцев В.П. Внедрение газотопливной технологии в авиацию // Транспорт на альтернативном топливе. – 2011. – № 1 (19). – С. 69-75.
2. Бащенко Н.С., Пуртов П.А., Аджиев А.Ю. Перспективы использования ПНГ для производства нового авиационного топлива АСКТ. Материалы XXIV Всероссийского межотраслевого совещания, Сочи, 6-7 октября 2010 г. – С. 36-40.
3. Маврицкий В.И., Косушкин К.Г., Зайцев В.П. Влияние вида топлива на летно-технические характеристики вертолетов семейства Ми-8 // Транспорт на альтернативном топливе. – 2011. – № 5 (23). – С. 13-15.
4. Бащенко Н.С., Пуртов П.А., Аджиев А.Ю. Оценка возможности производства АСКТ из нефтяного и природного газа // Транспорт на альтернативном топливе. – 2011. – № 4 (22). – С. 57-58.

## Моделирование смесеобразования в компланарных газожидкостных форсунках тепловых двигателей

**Ф.В. Пелевин,**

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

**В.В. Лозовецкий,**

профессор Московского государственного  
университета леса, д.т.н.,

**А.А. Мартиросян,**

инженер МГТУ им. Н.Э. Баумана, к.т.н.,

**В.М. Черкина,**

доцент Российского государственного университета  
туризма и сервиса,

**И.В. Статкевич,**

аспирант Российского государственного  
университета туризма и сервиса

Выполнено экспериментальное исследование процессов смесеобразования компонентов топлива в газо-жидкостной форсунке внутреннего смешения с компланарными каналами. Получены новые экспериментальные данные, обеспечившие установление зависимостей для определения угла распыла, коэффициента гидравлического сопротивления и коэффициента расхода газо-жидкостной форсунки с компланарными каналами. Выявлено качественное и количественное влияние угла взаимного пересечения каналов и их числа в форсунке на величину расходного комплекса и полноту сгорания топлива.

**Ключевые слова:** смесеобразование, форсунки газо-жидкостные, компланарные каналы.

## Simulation of mixing processes in complanar gas-liquid injectors of heat engines

**F.V. Pelevin, V.V. Lozovetskiy, A.A. Martirosyan,**

**V.M. Cherkina, I.V. Statkevych**

Experimental study of propellant component mixing processes in a gas-liquid internal mixing injector with crossed channels was conducted. New experimental data establishing relationships to determine a spray angle, hydraulic resistance factor, and flow coefficient of gas-liquid injector with crossed channels was obtained. Qualitative and quantitative effect of channel mutual intersection angle and number of channels in the injector on a value of consumed characteristic exhaust velocity, and combustion efficiency was revealed.

**Keywords:** mixing, gas-liquid injectors, crossed channels.

С ростом цен на нефть становится все более актуальной задача повышения полноты сгорания углеводородного топлива и перехода на экологически чистые виды топлива, а также повышения экономичности тепловых двигателей и камер сгорания различного назначения. При увеличении полноты сгорания происходит не только экономия топлива, но и улучшается экологическая ситуация, что особенно важно в мегаполисах.

Создание экологически чистого теплового двигателя или высокоэкономичной камеры сгорания во многом зависит от эффективности процессов смесеобразования и сгорания. Улучшение распыла, испарения и смешения компонентов топлива в камерах сгорания, топках и печах имеет большое практическое значение.

В настоящее время в большинстве эксплуатирующихся систем по сжиганию топлива используют струйные или центробежные форсунки с низкой полнотой сгорания топлива. На сегодняшний день хорошо известны различные типы струйных, центробежных одно- и двухкомпонентных форсунок [1, 2], каждая из которых имеет свои преимущества, недостатки и область применения. Но постоянное стремление улучшить полноту сгорания топлива при малых перепадах на форсунке заставляет конструкторов разрабатывать новые и модернизировать известные типы форсунок, например, с компланарными каналами [3]. Известно [4, 5], что тракты с компланарными каналами интенсифицируют теплоотдачу за счет взаимной подкрутки струй, турбулизации потока даже при малых числах Рейнольдса. Данных о применении их в газо-жидкостных форсунках внутреннего смешения практически нет, хотя высокая турбулизация потока даже при малых скоростях движения топлива в компланарных каналах способствует интенсивному смешению компонентов.

Для уменьшения объема камеры сгорания и времени пребывания топлива в ней следует осуществлять смесеобразование непосредственно в форсунке с внутренним смешением компонентов (рис. 1).

Наиболее широко тракт с компланарными каналами используется в авиационном двигателестроении. В России первым предложил и начал исследовать тракт с компланарными каналами В.М. Кудрявцев с коллегами. Внедрение в серийное производство охлаждаемых лопаток газотурбинных двигателей с компланарными каналами дало мощный толчок в развитии этого метода интенсификации теплообмена.

Различают тракты неограниченные, выполненные на осесимметричной поверхности, например, цилиндре (рис. 2), и ограниченные в поперечном направлении, то есть с одним или несколькими поворотами потока у боковых ограничивающих профилей, что приводит к изменению его структуры и коэффициента теплоотдачи вдоль канала.

Существует связь между массо- и теплообменом, поэтому данные по интенсификации теплообмена в компланарных каналах можно использовать при изучении процессов смесеобразования.

В работах [4, 5] представлены результаты исследования теплообмена и гидравлического сопротивления в цилиндрических неограниченных трактах с компланарными

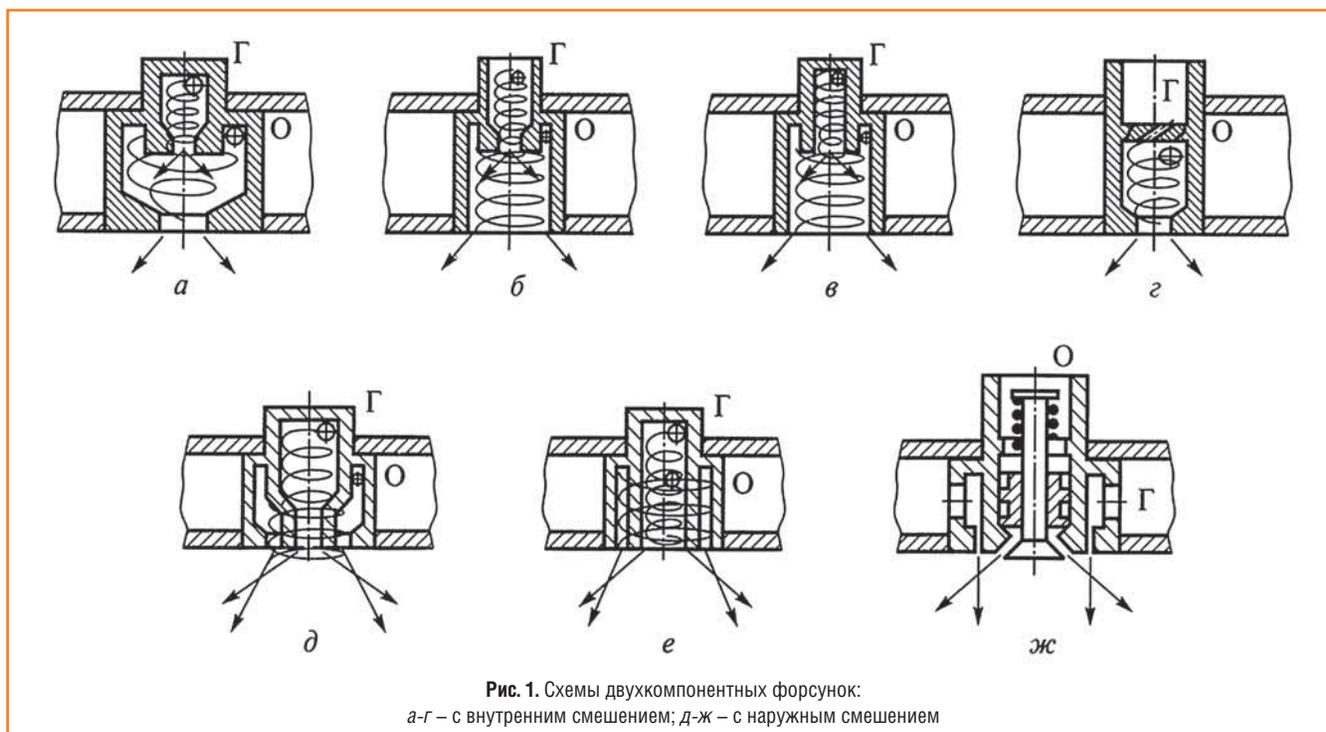


Рис. 1. Схемы двухкомпонентных форсунок:  
а-г – с внутренним смешением; д-ж – с наружным смешением

каналами. Исследования показали, что основным фактором, определяющим коэффициент теплоотдачи на участке стабилизированного теплообмена, является угол взаимного пересечения компланарных каналов  $2\beta$ .

Повышение коэффициента теплоотдачи с увеличением угла  $2\beta$  можно объяснить следующим образом. В отличие от течения в каналах с постоянной закруткой потоков по длине каналов взаимодействие компланарных потоков происходит в некоторой сопряженной области – области смешения. С увеличением угла  $2\beta$  в области смешения возрастает интенсивность турбулентных пульсаций. Это ведет к увеличению обмена количеством движения между соприкасающимися потоками, что, в свою очередь, приводит к возрастанию касательных напряжений сопряженной области и интенсификации массообмена между потоками, вызванной увеличением глубины проникновения турбулентных молей из области смешения в ядро потока. Увеличение касательных напряжений в сопряженной области каналов приводит к усилению взаимной подкрутки потоков. В результате в компланарных каналах реализуется турбулентный поток кручения с вы-

сокими нормальными и тангенциальными переносными свойствами. Энергия турбулентности, вырабатываемая в области смешения компланарных потоков, переносится к теплоотдающей поверхности с молями теплоносителя как по нормали за счет увеличения турбулентных пульсаций, так и тангенциально потоку кручения в результате взаимной подкрутки.

Таким образом, вблизи теплоотдающей поверхности происходит непрерывное разрушение пограничного слоя, интенсифицируется массообмен пристенных слоев потока с его ядром, что является причиной значительного увеличения коэффициента теплоотдачи.



Рис. 2. Цилиндрические тракты с компланарными каналами

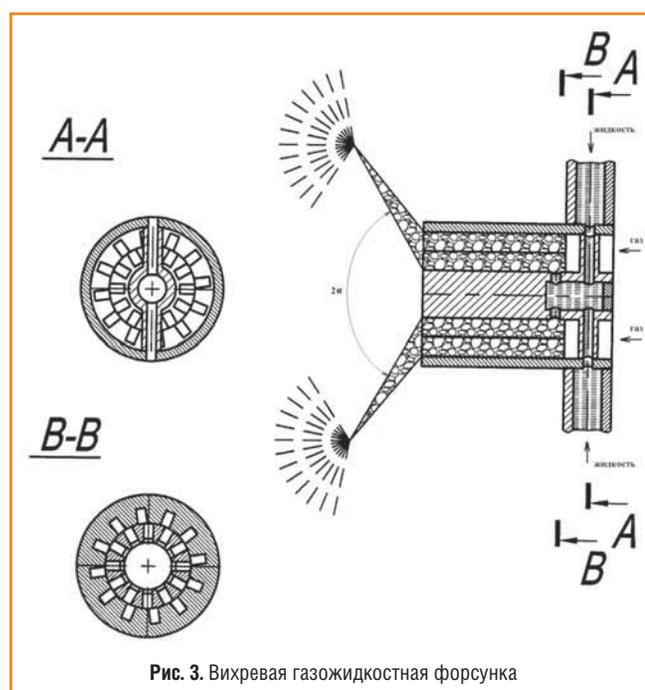


Рис. 3. Вихревая газожидкостная форсунка



Рис. 4. Зависимость перепада давления на форсунке от угла  $2\beta$

Эффект высокой теплоотдачи (тепломассообмен) в трактах с компланарными каналами был использован при проектировании и исследовании вихревой малоперепадной газожидкостной форсунки (рис. 3).

**Исследования гидродинамики двухфазного потока в трактах с компланарными каналами**

Исследования проводились на шести экспериментальных моделях с углами  $2\beta$  взаимного пересечения каналов  $60^\circ, 90^\circ, 110^\circ$  и числом  $N$  парных каналов 6, 10 и 17. Размеры каналов составляли  $2 \times 4$  мм, которые выбирались в соответствии с рекомендациями работы [5]. В каналах размером менее  $2 \times 2$  мм наблюдалось ухудшение смесеобразования, что косвенно подтверждается результатами исследования интенсификации теплообмена в компланарных каналах в зависимости от их абсолютных размеров. В малых каналах вихреобразование затруднено, что приводит к ухудшению смесеобразования. Компланарные каналы выполнены симметричными. Влияние асимметрии каналов на коэффициент гидравлического сопротивления не исследовалось. Число Рейнольдса изменялось от  $10^2$  до  $10^5$ .

Экспериментальные исследования теньевым методом и методом фотографирования показали, что угол факела распыла форсунки  $2\alpha$  зависит только от угла взаимного пересечения каналов  $2\beta$ . Наблюдалось приближительное равенство этих углов. Исключение –  $2\alpha \approx 180^\circ$ , при этом

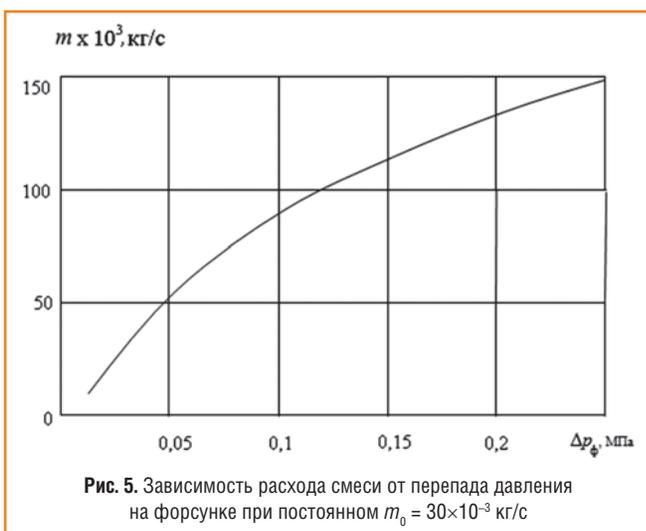


Рис. 5. Зависимость расхода смеси от перепада давления на форсунке при постоянном  $m_0 = 30 \times 10^{-3}$  кг/с



Рис. 6. Зависимость перепада давления на форсунке от числа каналов  $N$

перепады давления на форсунке  $\Delta p < 0,01$  МПа, и факел прилипает к торцу форсунки, что обусловлено сильными обратными токами и малой величиной осевой составляющей скорости истечения.

При угле  $2\beta$  близком к  $100 \dots 110^\circ$  осевая скорость резко падает. С увеличением угла  $2\beta$  и при постоянном расходе топлива растет перепад давления на форсунке (рис. 4), который вызывает повышение расхода смеси (рис. 5).

С увеличением числа каналов  $N$  при постоянном расходе необходимый перепад давления уменьшается (рис. 6).



Рис. 7. Гидравлическое сопротивление на начальном участке в зависимости от угла пересечения каналов для однофазной (1) и двухфазной (2) жидкостей

Гидравлическое сопротивление на начальном участке двухфазной жидкости больше, чем у однофазной (рис. 7).

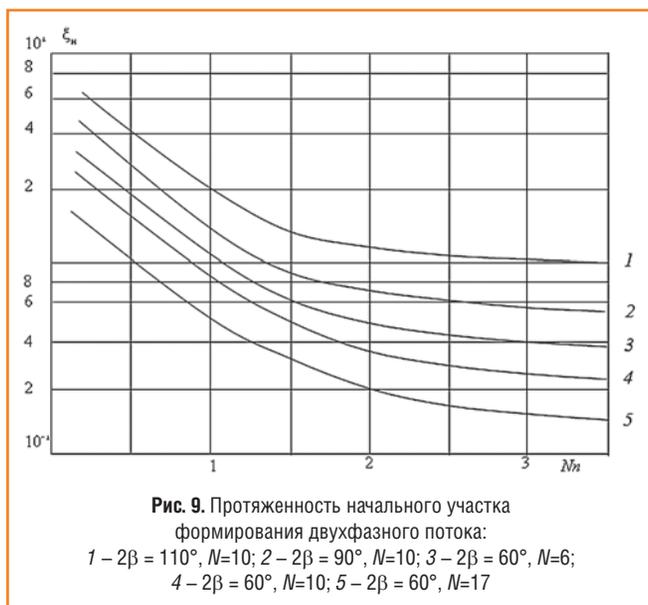
Гидравлическое сопротивление на начальном участке в зависимости от числа каналов представлено на рис. 8.



Рис. 8. Гидравлическое сопротивление на начальном участке в зависимости от числа каналов  $N$  для однофазной (1) и двухфазной (2) жидкостей

Установлено, что протяженность начального участка, после которого имеет место установившийся вихревой поток, равна  $2,5 \dots 3$  поясам взаимного пересечения каналов  $N_n$  (рис. 9).

После прохождения этого участка газожидкостный поток полностью формируется, и коэффициент гидравлического



сопротивления практически не меняется. Дальнейшее увеличение длины компланарных каналов приводит только к увеличению гидравлических потерь без какого-либо изменения структуры вихревого потока.

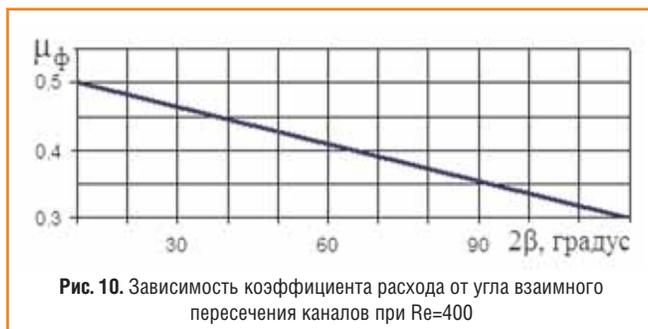
С увеличением суммарного угла взаимного пересечения каналов коэффициент гидравлического сопротивления  $\xi$  возрастает (рис. 9). Чем большее значение принимает угол  $2\beta$ , тем выше темп увеличения  $\xi$ . Во всем исследованном диапазоне характер изменения коэффициентов гидравлического сопротивления сохраняет монотонность, в том числе и для области переходного течения в гладкой трубе.

В отличие от течения в гладкой трубе область автономности коэффициента гидравлического сопротивления в тракте с компланарными каналами начинается при значениях числа  $Re = (1...1,5)10^4$ . Этот вывод распространяется на все исследованные варианты трактов.

В результате обработки и обобщения экспериментальных данных была получена эмпирическая формула для определения коэффициента гидравлического сопротивления в компланарных каналах вихревой газожидкостной форсунки

$$\xi = 1,44 - 0,034 \ln Re + 3,39 (2\beta).$$

Погрешность аппроксимации не более 3 %. Как видно из формулы, на коэффициент гидравлического сопротивления влияют число Рейнольдса и угол  $2\beta$ . Влияние числа каналов  $N$  учитывается числом Рейнольдса.



С увеличением  $Re$  коэффициент гидравлического сопротивления уменьшается, а при увеличении  $2\beta$  – растет. При постоянном числе Рейнольдса с увеличением  $N$  наблюдается уменьшение  $\xi$ .

Путем обобщения экспериментальных данных для вихревых форсунок и использования известных из гидрогазодинамики зависимостей была получена эмпирическая формула для расчета коэффициента расхода

$$\mu_\phi = 1/[2,444 - 0,034 \ln Re + 3,39(2\beta)]^{0,5},$$

где  $2\beta$  – угол взаимного пересечения, рад.

Расход через форсунку можно определить по формуле

$$m = \mu_\phi F (2\Delta p \rho)^{0,5},$$

где  $\rho$  – плотность газожидкостной смеси,  $кг/м^3$ .

$$\rho = \chi \rho_{ж} + (1 - \chi) \rho_{г}.$$

Здесь  $\rho_{ж}, \rho_{г}$  – плотность жидкости и газа соответственно,  $кг/м^3$ ;  $\chi = m_{ж}/m_{г}$  – массовое содержание жидкости в смеси.

Динамическая вязкость смеси определялась по следующей формуле:

$$\mu = \chi \mu_{ж} + (1 - \chi) \mu_{г},$$

где  $\mu_{ж}, \mu_{г}$  – динамическая вязкость жидкости и газа соответственно, Па·с [6].

Экспериментально установлено, что вихревые форсунки с компланарными каналами устойчиво работают при малых перепадах давления  $\Delta p > 0,01$  МПа. Вихревая форсунка является малоперепадной с высоким коэффициентом расхода. При постоянном числе Рейнольдса коэффициент расхода увеличивается с уменьшением угла  $2\beta$  (рис. 10). Так, для  $Re=400$  при угле  $2\beta=60^\circ$  коэффициент  $\mu_\phi = 0,4$ ; при  $2\beta=90^\circ$   $\mu_\phi = 0,37$ ; при  $2\beta=110^\circ$   $\mu_\phi = 0,33$ .

Для сравнения эффективности вихревой форсунки параллельно была испытана штатная центробежная газожидкостная форсунка. При одном и том же перепаде давления коэффициенты расхода у центробежной форсунки были по трактам жидкости  $\mu_\phi = 0,24...0,28$ , газа  $\mu_\phi = 0,11...0,12$ . Это указывает на более высокую эффективность форсунки с компланарными каналами по сравнению с центробежными форсунками, применяемыми в настоящее время.

### Влияние параметров тракта на эффективность смесеобразования

Экспериментальное значение расходного комплекса определялось по формуле

$$\beta_\tau = p_k F_{кр} / m_\tau,$$

где  $p_k$  – давление в камере сгорания, МПа;  $F_{кр}$  – площадь критического сечения камеры,  $м^2$ ;  $m_\tau = m_{ок} + m_{г}$  – суммарный расход,  $кг/с$ ;  $m_{ок}$  – расход окислителя,  $кг/с$ ;  $m_{г}$  – расход горючего,  $кг/с$ .

Теоретическое значение расходного комплекса  $\beta_\tau$  определялось термодинамическим расчетом с учетом потерь на водяное охлаждение двигателя. Коэффициент камеры  $\phi_B$  рассчитывался по зависимости

$$\phi_B = \beta_\tau / \beta_\tau.$$

Огневые испытания вихревой форсунки с компланарными каналами подтвердили ее высокую эффективность. Экспериментальные исследования показали, что число парных каналов  $N$  и угол их взаимного пересечения оказывают существенное влияние на качество рабочего процесса экспериментального двигателя.

Так, при соотношении компонентов  $K_m = 1$  и увеличении угла  $2\beta$  с  $60^\circ$  до  $110^\circ$  при постоянном числе парных каналов  $N=10$  расходный комплекс увеличился с 1440 до 1570 м/с, а коэффициент камеры – с 0,88 до 0,96. Однако при угле взаимного пересечения каналов  $2\beta=110^\circ$  наблюдалось термическое разрушение форсунок вследствие уменьшения осевой составляющей скорости истечения и интенсивных обратных токов. Поэтому оптимальным с точки зрения безопасной работы и получения высоких удельных параметров признан угол взаимного пересечения каналов  $2\beta=90^\circ$ .

Однозначное влияние на качество рабочего процесса в камере сгорания двигателя оказывает и число парных каналов. Так, при увеличении числа каналов с 6 до 17 при постоянном угле  $2\beta = 60^\circ$  расходный комплекс возрос с 1440 до 1660 м/с, а коэффициент камеры – с 0,88 до 0,99. Это связано с улучшением равномерности распределения компонентов по сечению камеры сгорания. Поэтому при прочих равных условиях необходимо выбирать максимально возможное число парных каналов.

Результаты исследования двухкомпонентной центробежной форсунки показали, что при тех же начальных условиях коэффициент камеры не превышает 0,82.

Таким образом, проведенные исследования двухкомпонентной форсунки внутреннего смешения с компланарными каналами показали целесообразность их применения в качестве высокоэффективных смесительных элементов тепловых двигателей и камер сгорания различного назначения.

## Литература

1. **Добровольский М.В.** Жидкостные ракетные двигатели. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. – 396 с.
2. Основы теории и расчета ЖРД: В 2 т./А.П. Васильев, В.М. Кудрявцев, В.А. Кузнецов и др.; Под ред. В.М. Кудрявцева. – М.: Высшая школа, 1993. – Т. 1. – 368 с.
3. А.С. № 1153598 СССР. Пневматическая форсунка для огнеструйной горелки / А.М. Грушенко, С.В. Безуглый, В.В. Спесивцев, А.П. Фурсов // БИ. – 1983. – № 12. – С. 28.
4. **Говард К.П.** Характеристики теплопередачи и гидравлического сопротивления теплообменных поверхностей со скошенными каналами // Энергетические машины и установки. – 1965. – № 1. – С. 85-101.
5. **Орлин С.А., Поснов С.А., Пелевин Ф.В.** Теплообмен и гидравлическое сопротивление в щелевых трактах с компланарными каналами // Изв. вузов. Машиностроение. – 1984. – № 2. – С. 78-84.
6. **Хьюнт Дж., Холл-Тейлор Н.** Кольцевые двухфазные течения. Пер. с англ. – М.: Энергия, 1974. – 408 с.

## Система комбинированной топливоподачи для дизельного двигателя

**С.В. Черняк**, изобретатель

Описана конструктивно простая система комбинированной топливоподачи. Она обеспечивает надежную подачу в форсунку смеси дизельного топлива и сжиженного газа. При этом не ухудшаются основные показатели работы двигателя и улучшаются экологические показатели.

**Ключевые слова:** дизельный двигатель, диметилаэфир, комбинированная топливоподача.

## The combined system of fuel injection for diesel engine

**S.V. Chernyak**

Described constructively simple combined system of feed of fuel. It provides reliable supply in the fuel injector of mixture of diesel fuel and liquefied gas.

**Keywords:** diesel engine, dimethyl ether, combined system of fuel injection.

Известно, что диметиловый эфир можно использовать как топливо для дизельного двигателя. При его подаче в камеру сгорания дизельного двигателя вместе с дизельным топливом происходит разложение молекулы диметилового эфира и высвобождение кислорода, который участвует в реакции дополнительного окисления дизельного топлива, что способствует уменьшению количества вредных выбросов в атмосферу.

Рассмотрим систему комбинированной топливоподачи для дизельного двигателя, обеспечивающую надежную подачу смеси дизельного топлива и сжиженного газа в форсунку без ухудшения основных показателей работы двигателя.\*

Эта цель была достигнута путем внесения ряда конструктивных усовершенствований в известную систему комбинированной топливоподачи для дизельного двигателя, в которой смешивание с дизельным топливом сжиженного газа (диметилового эфира, далее ДМЭ) реализуется путем подачи последнего в трубопровод высокого давления через клапан подачи сжиженного газа (клапан импульсной подпитки). Причем ДМЭ поступает к этому клапану из баллона через распределительное устройство, являющееся по существу распределительным коллектором с входом (подача эфира из баллона) и выходами (подача эфира к клапану подачи сжиженного газа). Сжиженный ДМЭ подается в трубопровод высокого давления через клапан подачи циклически, в периоды так называемой «разгрузки» трубопровода после завершения активного хода плунжера топливного насоса, когда давление дизельного топлива в этом трубопроводе резко падает.

\* Патент на изобретение № 2319857. Дата публикации 20.03.2008 г.

При этом дизельное топливо из дренажных полостей форсунок вместе с просочившимся в эти полости ДМЭ выводится по объединяющему дренажные полости трубопроводу во впускной коллектор дизельного двигателя. В этом коллекторе дизельное топливо и ДМЭ смешиваются с воздухом и подаются в камеру сгорания дизеля в неподготовленном виде – в плохо распыленном состоянии, крупными каплями, а ДМЭ – в виде газа, смешанного с воздухом. Обе топливные составляющие в этом случае плохо реагируют с воздухом, что препятствует нормальному процессу смесеобразования. Вместе с воздухом сжимается и газообразный ДМЭ, в результате чего возникают детонационные стуки и возрастают нагрузки на кривошипный механизм двигателя, особенно при его работе на малых оборотах и в пусковом режиме, также имеют место неполное сгорание топлива в дизеле и как следствие – повышенный расход дизельного топлива и сжиженного ДМЭ.

Кроме того, в данной системе отсутствует какое-либо смешивание дизельного топлива со сжиженным ДМЭ до момента поступления последнего в трубопровод высокого давления, и в клапан подачи сжиженного газа поступает чистый сжиженный ДМЭ, не обладающий смазочными свойствами. В связи с этим элементы указанного клапана работают без смазки, что отрицательно сказывается на его надежности и долговечности.

В новой конструктивной разработке дренажная полость форсунки подключена к распределительному устройству между его входом и выходами, а распределительное устройство снабжено установленными на его входе и выходах соответственно входным и выходными обратными клапанами.

Подключение дренажной полости форсунки к распределительному устройству, во-первых, предотвращает отмеченное выше нежелательное попадание сжиженного газа во впускной коллектор двигателя, при этом сжиженный газ, просочившийся в дренажную полость форсунки, возвращается обратно в распределительное устройство и подается к форсунке. Во-вторых, оно приводит к тому, что в клапан подачи сжиженного газа и распределительное устройство с его обратными входным и выходными клапанами поступает некоторое количество дизельного топлива, обеспечивающего смазку элементов этих клапанов. При этом наличие обратных входного и выходных клапанов в распределительном устройстве обеспечивает поддержание в наполненном состоянии трубопровода подачи сжиженного газа из выхода распределительного устройства на вход клапана подачи сжиженного газа, то есть указанные обратные клапаны препятствуют истечению жидкости в обратном направлении, разрыву потока и образованию в нем пустот.

Кроме того, в предложенной системе в качестве нагнетательных клапанов топливного насоса использованы преимущественно клапаны с переменным

разгрузочным объемом, которые характеризуются наличием отверстия между запирающим конусом и разгрузочным пояском. Такие клапаны, применяющиеся, например, в топливных насосах высокого давления для автомобилей МАЗ и КАМАЗ, обеспечивают более резкое падение давления в трубопроводе высокого давления сразу после завершения активного хода плунжера и меньшую величину остаточного давления в этом трубопроводе в период его «разгрузки», что создает благоприятные условия для ввода сжиженного газа в трубопровод в течение этого периода. При установке в насосе нагнетательных клапанов обычного исполнения целесообразно заменить их на нагнетательные клапаны с переменным разгрузочным объемом. Остальные детали топливного насоса остаются практически без изменения.

В предложенной системе параметры и характеристики топливного насоса остаются практически неизменными в сравнении с серийным топливным насосом, а по отдельным показателям даже улучшаются – например, двигатель на минимальных оборотах холостого хода работает более устойчиво.

Кроме того, подключение дренажной полости форсунки к впускному коллектору двигателя через предохранительный клапан предотвращает повышение давления в системе сверх допустимой величины. Такое повышение давления может возникнуть, например, при длительной работе двигателя на низких или пусковых оборотах, когда остаточное давление в трубопроводе высокого давления в периоды его «разгрузки» сравнительно высоко. Давление срабатывания этого клапана преимущественно 2 МПа.

В системе используются пластинчатые клапан подачи газа и выходной обратный клапан, а входной обратный клапан – шариковый. Клапаны пластинчатого типа имеют небольшую массу, малый объем, в котором размещаются пружина, седло, сам клапан. Эти факторы положительно влияют на снижение инерционности элементов и быстродействие системы в целом. При этом необходимость в малой инерционности входного обратного клапана отсутствует, поэтому для простоты конструкции его целесообразно выполнять шариковым.

В конструкции предложенной системы предусмотрено использование деталей и узлов, выпускаемых заводами топливной аппаратуры. Эти готовые детали и узлы после незначительной доработки могут быть использованы в данной системе, что значительно уменьшает затраты на изготовление всех сборочных единиц и деталей системы.

Например, корпус распределительного устройства, выходные обратные клапаны и клапан подачи сжиженного газа можно изготовить из деталей секции высокого давления топливных насосов распределительного типа моделей НДМ-21 и НДМ-22 после небольшой доработки.

## Гибридное транспортное средство с накопителями энергии двух типов

**И.К. Александров,**  
профессор Вологодского государственного  
технического университета (ВоГТУ), д.т.н.

В статье представлен новый вид гибридной силовой установки (ГСУ) для транспортных средств, которая снабжена накопителями энергии двух типов – маховиковым и электрохимическим. Управление накопителями энергии повышает энергоэффективность и надежность ГСУ, снижает ее стоимость.

**Ключевые слова:** гибридная силовая установка, накопители энергии.

## Hybrid vehicle with two types of energy storage

**I.K. Alexandrov**

This paper presents a new type of hybrid power unit (HPU) for vehicles, which is equipped with two types of energy storage (flywheel and electrochemical). Coordinated control of energy storage increases the efficiency and reliability of the HPU, reduces its cost.

**Keywords:** hybrid power plant, energy storage devices.

**К**ак отмечалось в работе [1], во всем мире наметилась тенденция к развитию электрифицированных транспортных средств (ТС). При этом выделяется один из конструктивных видов ТС – транспортное средство с так называемой гибридной силовой установкой, в которой совмещаются двигатель внутреннего сгорания (ДВС), накопитель энергии и электрический привод на ходовую часть (двигатель).

В настоящее время разработаны приемы повышения энергоэффективности ГСУ за счет использования в энергетической цепи ДВС двигателя буферных накопителей энергии, стабилизирующих работу ДВС при изменении нагрузочных режимов на ведущих колесах во время движения ТС.

Известны способы [2, 3] минимизации удельного расхода топлива

ДВС транспортных средств с электрохимической трансмиссией, на которых в качестве буферного накопителя электроэнергии используются химические источники тока (аккумуляторы) или конденсаторные батареи. Известен также способ [4, 5] выравнивания нагрузки на приводном валу ДВС за счет инерционного накопителя механической энергии (маховичный привод).

Все способы имеют свои преимущества и недостатки.

### Накопитель электрической энергии

К недостаткам этого способа можно отнести:

- необходимость применения дорогостоящих электрохимических источников тока или суперконденсаторов (стоимость батарей

накопителей возрастает пропорционально ее емкости и может составлять более половины стоимости электрифицированного ТС);

- недостаточную надежность накопителей энергии данного вида и соответственно значительные затраты на ремонт ТС при выходе их из строя;
- более сложную конструкцию, обеспечивающую повторный запуск ДВС в режимах кратковременного отключения–включения.

Преимуществами являются:

- идеальное управление двигателем ТС за счет электрохимической трансмиссии, снабженной тяговым управляемым электродвигателем;
- отсутствие необходимости в механических или гидромеханических устройствах, регулирующих передаточное отношение трансмиссии;
- надежная рекуперация энергии в накопитель как при торможении ТС, так и при движении его под уклон;
- управление емкостью накопителя энергии за счет специальных систем автоматического регулирования [3].

### Маховичный накопитель

К недостаткам второго способа относятся:

- увеличенная масса механической части привода, которая при заданной частоте вращения возрастает пропорционально моменту инерции маховика;
- необходимость устройств, регулирующих передаточное отношение трансмиссии;
- усложненный процесс рекуперации энергии путем передачи ее обратно маховику при торможении ТС за счет механического передаточного устройства.

Для передачи потока мощности в обратном направлении необходимо установить повышающую передачу, которая должна включаться строго в начальный момент торможения. В результате такого усложнения трансмиссии возврат энергии маховику в механической конструкции

обеспечивается практически только при движении транспортного средства под уклон.

Преимущества:

- дешевизна конструкции;
- высокая надежность;
- идеальное решение повторного запуска ДВС в режимах кратковременного отключения–включения.

Предлагаемая комбинированная схема ГСУ, на которую получена приоритетная справка Федерального института промышленной собственности (ФИПС) от 10.01.2012 г. по заявке на изобретение № 2012100462, имеет все положительные свойства каждого из указанных прототипов и, следовательно, свободна от их недостатков, что определяет новизну и эффективность данного технического решения. При выполнении патентного поиска автором не обнаружены способы и устройства, обеспечивающие совместное функционирование накопителей первого и второго видов.

Благоприятное сочетание положительных свойств прототипов принципиально повышает энергоэффективность (КПД) ДВС в условиях постоянно изменяющихся нагрузочных режимов и позволяет:

- 1) снизить стоимость электрохимических накопителей энергии примерно в два раза, так как более половины накапливаемой энергии запасается в маховике;
- 2) сохранить электромеханическую трансмиссию с тяговым управляемым электродвигателем, что исключает потребность в устройствах, регулирующих передаточное отношение трансмиссии;
- 4) надежно обеспечить рекуперацию энергии в накопителе и при торможении транспортного средства, и при движении его под уклон;
- 5) обеспечить возможность управления величиной емкости накопителя энергии;
- 6) идеально решить вопрос повторного запуска ДВС в режимах кратковременного отключения–включения.

Таким образом, за счет указанных преимуществ снижается стоимость конструкции, повышаются ее энергетическая эффективность и надежность. Последнее свойство особенно полезно в условиях экстремальной эксплуатации ТС, поскольку оно сохраняет на определенное время способность к передвижению при выходе из строя одного и даже двух важнейших компонентов системы – ДВС, связанного с ним мотор-генератора, любого из двух накопителей энергии. Однако один из накопителей энергии при выходе из строя ДВС должен функционировать.

Устройство для реализации предлагаемого технического решения (рисунок) включает ДВС 1, соединительную управляемую электромагнитную муфту 2, накопитель 3 энергии (Н-1) маховикового типа, электромотор-генератор (ЭМГ-1) 4, химический (или конденсаторный) накопитель 5 энергии Н-2, электромотор-генератор (ЭМГ-2) 6, механическую трансмиссию 7, движитель 8, механическое тормозное устройство 9, систему управления (СУ) 10, механизм управления топливopодающим рабочим органом (ТПРО) 11.

#### Запуск системы

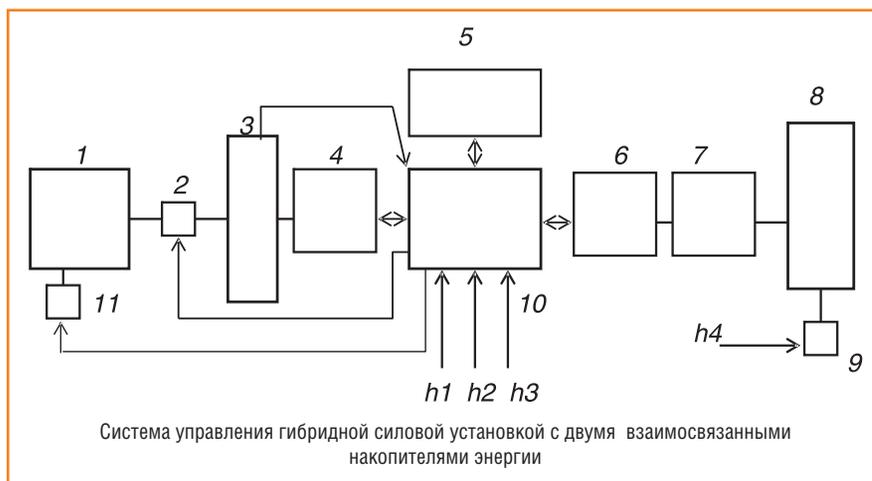
Водитель подает в СУ сигнал  $h1$  на запуск ДВС 1, в результате чего электроэнергия от накопителя 5 поступает на электромотор-генератор 4. Последний, работая в режиме двигателя, раскручивает маховичный

накопитель 3 до заданной частоты  $\omega_0$  вращения, минимально необходимой для запуска ДВС, по достижении которой СУ подает команду на плавное включение управляемой электромагнитической муфты 2, и крутящий момент от маховика 3 через муфту 2 передается на вал ДВС 1. Одновременно СУ подает сигнал на включение ТПРО 11, в результате чего заводится ДВС 1. ДВС начинает раскручивать маховик 5 и жестко соединенный с последним вал ЭМГ-1 4, который в этот момент переключается в режим генерации электрической энергии.

#### Работа системы при движении ТС

Водитель подает в СУ сигнал  $h2$  на управление тяговым электромотором ЭМГ-2 6, который через трансмиссию 7 сообщает крутящий момент движителю (колесо) 8, и ТС приводится в движение. ЭМГ-2 имеет возможность получать питание как от накопителя Н-2 (аккумуляторная батарея), так и непосредственно от ЭМГ-1, работающего в режиме генератора. Допускается также совместная работа указанных источников электроэнергии на тяговый электромотор ЭМГ-2.

При движении ТС по горизонтальному участку пути на малых и средних скоростях ЭМГ-2 получает питание только от накопителя Н-2, степень заряженности которого определяется напряжением на клеммах: максимальным  $U_{max}$  и минимальным  $U_{min}$ .



Как только напряжение на клеммах накопителя Н-2 снижается до  $U_{\min}$ , СУ подает сигнал на включение обмотки возбуждения ЭМГ-1, который начинает вырабатывать электроэнергию для двух потребителей: ЭМГ-2 и Н-2.

Если ЭМГ-2 не потребляет энергию (ТС стоит на месте или движется по инерции), то вся энергия от ЭМГ-2 передается на Н-2, который принимает заряд до момента достижения напряжения  $U_{\max}$ , после чего ЭМГ-1 прекращает работу (возбуждение отключается).

При работе ЭМГ-2 на больших нагрузках (движение ТС на повышенных скоростях или на подъеме) тяговый электродвигатель питается как от Н-2, так и от ЭМГ-1. В свою очередь ЭМГ-1 получает механическую энергию от выходного вала маховичного накопителя Н-1. Частота вращения последнего, а соответственно и ЭМГ-1, контролируется системой управления в заданных пределах:  $\omega_{\max}$  – максимальное,  $\omega_{\min}$  – минимальное значения.

Максимальная частота может устанавливаться в пределах частоты работы ДВС (наиболее желаемая частота вращения, при которой ДВС имеет наибольший крутящий момент, а следовательно и максимальный КПД). Минимальная частота определяется устойчивостью работы ДВС и не должна быть ниже  $\omega_0$ . При этом учитываются также и характеристики ЭМГ-1, а именно – его способность генерировать электроэнергию с заданными параметрами, что зависит от частоты вращения ротора.

В начальный момент ЭМГ-1 получает механическую энергию, которая была запасена маховичным накопителем Н-1. По мере ее расхода потребителями частота вращения маховика снижается до  $\omega_{\min}$ . В этот момент СУ подает сигнал на включение электромагнитной муфты 2 и ТПРО 11. В результате ДВС, раскрученный маховиком до частоты  $\omega_{\min}$ , включается в работу и начинает разгонять маховик вплоть до заданной максимальной

частоты  $\omega_{\max}$ . После чего муфта 2 и ТПРО 11 снова отключаются, и ДВС останавливается.

Особенностью работы ДВС в рассматриваемой системе является то, что ТПРО всегда обеспечивает максимальную подачу топлива, то есть ДВС работает только на внешней скоростной характеристике, где достигается минимальный удельный расход топлива. Кроме того,  $\omega_{\max}$  может выбираться водителем с учетом скоростного и нагрузочного режимов движения ТС. Очевидно, что чем больше потребляемая мощность ЭМГ-2, которая зависит от дорожных условий и стиля вождения водителя, тем больше устанавливается  $\omega_{\max}$ .

#### Работа системы в режиме рекуперации и торможения

При включении водителем тормозной системы (плавное нажатие на педаль тормоза) для торможения и остановки ТС или замедления ТС, движущегося под уклон, в СУ поступает сигнал  $h3$ , действие которого обеспечивает перевод ЭМГ-2 в режим генератора. Вырабатываемая последним электроэнергия передается в управляемый по принципу разделения (объединения) элементов [3] накопитель Н-2. Когда рекуперация в накопитель Н-2 становится невозможной (достигается предельное напряжение  $U_{\max}$ ), электроэнергия, вырабатываемая ЭМГ-2, направляется на ЭМГ-1. При этом СУ обеспечивает работу последнего в режиме двигателя. ЭМГ-1 начинает раскручивать маховик, отключенный от ДВС, рекуперировав в него механическую энергию. Это может быть достигнуто только при частоте вращения маховика меньше  $\omega_{\max}$ . После чего возбуждение ЭМГ-1 и ЭМГ-2 отключается, электродинамическое торможение ТС заканчивается.

Если водитель продолжает удерживать педаль тормоза, то возникает сигнал  $h4$ , который включает механическое тормозное устройство 9, и ТС останавливается.

Использование данного способа и устройства увеличивает эффективность работы ДВС, особенно при движении ТС в режиме частых разгонов–торможений (движение ТС в городе). Это обеспечивается в первую очередь за счет следующих основных преимуществ данной комбинированной системы:

- ДВС работает только на внешней скоростной характеристике;
- при наличии двух накопителей энергии и совместной их работе увеличивается объем рекуперированной энергии торможения ТС;
- надежный запуск двигателя от маховика исключает режим холостого хода ДВС при отсутствии на нем нагрузки, что нехарактерно для прототипов, то есть дополнительно увеличивается топливная экономичность транспортного средства.

#### Литература

1. **Александров И.К.** Перспективы развития транспортных средств с электроприводом / И.К. Александров, В.А. Раков, А.А. Щербакова // Транспорт на альтернативном топливе. – 2011. – № 4. – С. 65-68.
2. Патент № 2338081 РФ. Способ стабилизации минимального удельного расхода топлива ДВС транспортного средства с электромеханической трансмиссией и устройство для его осуществления / И.К. Александров, Е.В. Несговоров – Заявлен 12.03.2007; опубл. 10.11.2008, БИ № 31.
3. Патент № 2418185 РФ. Способ минимизации удельного расхода топлива ДВС транспортного средства с электромеханической трансмиссией с частичной рекуперацией и устройство для его осуществления / И.К. Александров, Е.В. Несговоров – Заявлен 14.05.2009; опубл. 10.05.2011, БИ № 13.
4. **Гулиа Н.В.** Накопители энергии / Н.В. Гулиа. – М.: Наука, 1980. – 152 с.
5. Патент № 2033560 РФ. Маховичный двигатель / Карзаков В.С. Лаховицкий Д.Х. – Заявлен 07.04.1992; опубл. 20.04.1995, БИ № 12.

## Моделирование энергетической системы мобильной техники с топливными элементами

**В.С. Янченко,**

доцент Брянской государственной инженерно-технологической академии (БГИТА), к.т.н.

В статье рассмотрена реализация одного из способов моделирования электрохимических генераторов на основе топливных элементов. Применен метод описания модели в виде гибридного автомата.

**Ключевые слова:** электрохимический генератор, топливный элемент, компьютерное математическое моделирование, гибридный автомат.

## Modelling of a power system of mobile machines with fuel elements

**V.S. Yanchenko**

Article describes ways to simulate electrochemical generators on the basis of fuel cells. The method of the description of model in the form of the hybrid automat is applied.

**Keywords:** electrochemical generator, fuel cells, computer mathematical modeling, hybrid automat.

Перспективы и проблемы применения электрохимических генераторов (ЭХГ) с топливными элементами (ТЭ) описаны в [1-4] и др. Несмотря на преимущества водородных ТЭ они пока еще не конкурентоспособны по сравнению с традиционными источниками энергии на мобильных машинах. До сих пор промышленное производство ТЭ не вышло на уровень серийного, для наземного транспорта производятся лишь отдельные опытные образцы ЭХГ.

Основные усилия специалистов направлены на исследование и разработку новых типов электродных катализаторов, электродов и электролитов, в том числе с использованием последних достижений нанотехнологии. Однако вопросам функционирования системы в целом уделяется мало внимания. Дело в том, что ЭХГ, включающий батарею топливных элементов, риформер первичного топлива, систему очистки и подачи водорода, подачи воздуха (кислород), систему удаления воды и непрореагировавших газов, систему терморегулирования, куда входят теплообменники

регенерации теплоты, САР и др., является сложной динамической системой. Рабочие параметры и характеристики можно получить при испытаниях собственно энергетической установки, а также мобильной техники с ЭХГ. Отсутствие промышленных образцов автомобилей

с водородными ТЭ не позволяет этого сделать.

Одним из выходов, позволяющих заниматься разработкой и анализом систем с ЭХГ, является математическое компьютерное моделирование [5]. В [1] разработана математическая модель для расчета вольт-амперной характеристики ТЭ с твердополимерной мембраной (ТПМ), проведен расчетный анализ влияния влажности, рабочей температуры и давления. Проведено также математическое моделирование гибридного аккумулятора водорода. Интересным является математическое компьютерное моделирование нестационарных процессов ТЭ с ТПМ. Для этого разработана модель в системе Delphi, работающая с использованием интерактивных диалоговых окон.

Для математического моделирования энергетической установки с ТЭ в целом требуется соответствующая компьютерная система, позволяющая описывать сложные динамические объекты. Наиболее адекватной в этом случае является модель, созданная в формализме гибридного автомата [6-7]. Описание данного подхода приведено в [8]. Для моделирования воспользуемся средой MvS, позволяющей проектировать сложную модель в таком виде, который визуально соответствует реальной структуре моделируемого объекта (рис. 1).

Основными в схеме являются следующие блоки:

- **Риформер** – сложный объект, включающий гибридные локальные классы;
- **Батарея** – класс, математически описывающий работу батареи топливных элементов;

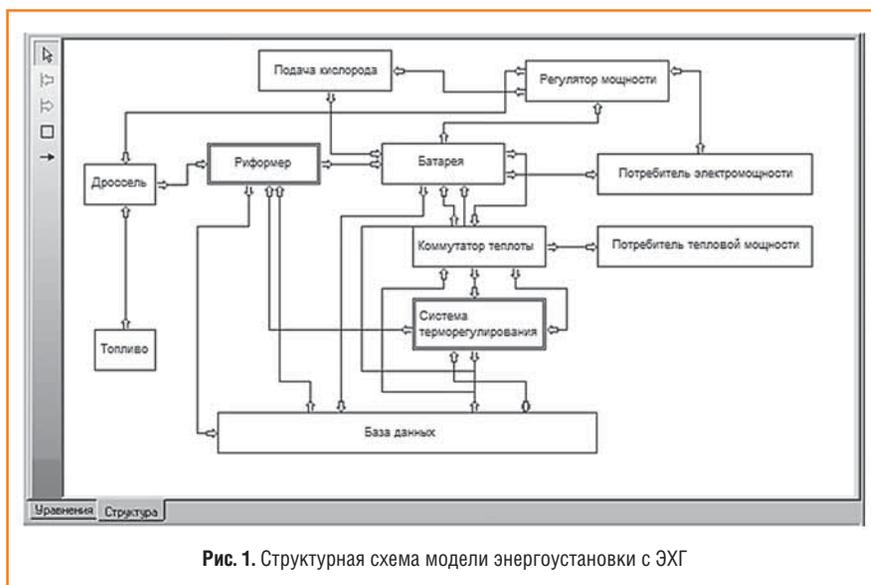


Рис. 1. Структурная схема модели энергоустановки с ЭХГ

- **Топливо** – локальный объект, моделирующий работу топливной системы;
- **Потребитель электро мощности** – математически моделирует характеристики электропривода и его взаимодействие с окружающей средой (например, уравнение тягового баланса транспортного средства).

**Батарея и Потребитель электро мощности** в модельном времени передают значения переменных блоку **Регулятор мощности**, который, обрабатывая поступившую информацию, замыкает обратную связь, посылая управляющие сигналы блокам **Подача кислорода** и **Дроссель**. Эти сигналы могут быть как значениями переменных типа double (аргументы или коэффициенты уравнений), так и флагами типа integer, определяющими ход вычислительного процесса и переводящими гибридный автомат в определенное состояние. В целом эта цепочка изменяет электрическую мощность, вырабатываемую ЭХГ, путем изменения количества подаваемого первичного топлива и соответствующего ему количества кислорода воздуха.

В процессе работы модели пользователь имеет возможность воздействовать на параметры блока **Дроссель** интерактивно.

Схема предусматривает моделирование использования тепловой энергии. Составляющие уравнения теплового баланса в блоке **Потребитель тепловой мощности** не определяют внешнюю среду, а являются следствием изменения переменных в системе **Батарея**. Так как выделяемая теплота в реальной установке используется не только внешним потребителем, но и в системе риформинга первичного топлива, а также в системе терморегулирования батареи ТЭ, в модели предусмотрен блок **Коммутатор теплоты**. Он является гибридным объектом, использующим условные связи, управляющие локальными состояниями.

Блок **Термосистема** является составным объектом, включающим **Конденсатор**, моделирующий работу конденсатора водяного пара, удаляемого из батареи ТЭ, и **Теплообменник** (рис. 2).

**Теплообменник** моделирует процессы регенерации теплоты. Он представляет собой гибридный объект, смена состояний которого зависит от режима течения теплоносителей. Как известно, в зависимости от режима течения жидкости (ламинарный, переходный или турбулентный) изменяется вид критериального уравнения для вычисления числа Нуссельта.

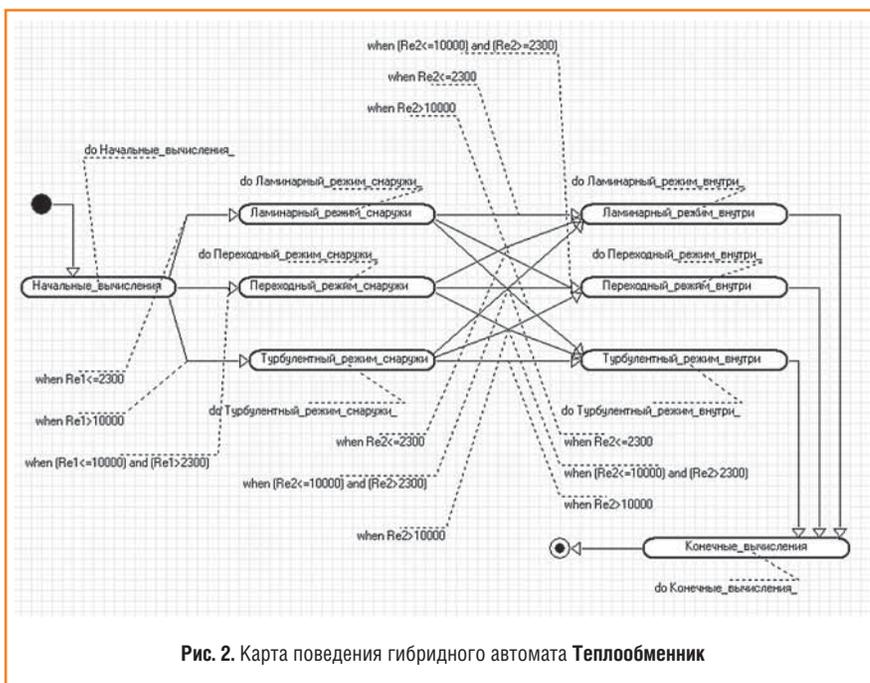


Рис. 2. Карта поведения гибридного автомата Теплообменник

Модель снабжена специальным блоком **База данных**, который в зависимости от поступивших сигналов от блоков-клиентов возвращает справочные данные, находящиеся во внешних текстовых файлах. Поскольку это табличные данные, при обработке запроса используется интерполирующий класс из стандартной библиотеки.

Основной трудностью при моделировании ЭХГ является недостаточность данных о параметрах, характеристиках и закономерностях функционирования составных частей установки. В настоящее время во многих странах продолжают интенсивные исследования и испытания агрегатов. Однако именно в этих условиях

может проявиться основное преимущество математического (компьютерное) моделирования – возможность исследования большого числа вариантов состояний системы без дорогостоящих натурных экспериментов.

Гибридная модель электрохимического генератора для мобильной техники разработана на принципиальном уровне. Совершенствование и уточнение ее в ходе тестовых прогонов должны подтвердить адекватность и работоспособность модели. При положительных результатах ее можно рекомендовать для использования в научно-исследовательской работе, а также для внедрения на предприятиях, разрабатывающих подобные установки.

## Литература

1. **Шаманов Н.П.** Электрохимические транспортные энергоустановки с водородным топливом / Н.П. Шаманов, А.Н. Калмыков. – СПб.: СПбГМТУ, 2006. – 305 с.: ил.
2. **Ishihara T. (Ed.)** Perovskite Oxide for Solid Oxide Fuel Cells (Fuel Cells and Hydrogen Energy). – Springer, 2009. 302 p. ISBN:0387777075
3. **Corbo P., Migliardini F., Veneri O.** Hydrogen Fuel Cells for Road Vehicles. – Springer, 2011. – 254 p. ISBN-10:0857291351
4. **Янченко В.С., Григорьев С.А., Фокин Ю.И.** Перспективы применения электрохимических генераторов на основе топливных элементов в строительной и коммунальной мобильной технике // Транспорт на альтернативном топливе. – 2010. – № 4 (16). – С. 71-73.
5. **Григорьев С.А., Калинин А.А., Фатеев В.Н.** Математическое моделирование процессов переноса в топливном элементе с твердым полимерным электролитом // Альтернативная энергетика и экология. – 2005. – № 4. – С. 66-71.
6. **Колесов Ю.Б., Сениченков Ю.Б.** Моделирование систем. Динамические и гибридные системы. – С.-Петербург: БХВ, 2006. – 224 с.
7. **Колесов Ю.Б., Сениченков Ю.Б.** Моделирование систем. Объектно-ориентированный подход. – С.-Петербург: БХВ, 2006. – 192 с.
8. **Янченко В.С.** Моделирование обобщенного термодинамического цикла тепловых двигателей // Транспорт на альтернативном топливе. – 2011. – № 4 (22). – С. 38-40.

## Формула топливного баланса автомобиля

**М.Н. Гуров,**  
зав. лабораторией МГУПИ,  
**В.В. Московкин,**  
проф., главный научный сотрудник НАМИ, д.т.н.

Показан механизм построения топливного баланса автомобиля, на основе которого можно решать вопросы, имеющие важное научное и практическое значение при создании нового автомобиля или модернизации существующего. Среди них: поэтапный сопоставительный анализ разрабатываемого автомобиля с аналогами, оценка эффективности установки на него различных агрегатов, определение приоритетных направлений работ.

**Ключевые слова:** топливный и энергетический балансы автомобиля, сопротивление движению автомобиля, механическая работа, тепловые потери.

## Formula of fuel balance of the car

**M.N. Gurov, V.V. Moskovkin**

The gear of creation of fuel balance of the car on the basis of which it is possible to solve the questions having important scientific and practical value at creation of the new car or modernization of the existing is shown. Among them: the bit-by-bit comparative analysis of the developed car with analogs, an assessment of efficiency of installation on it various units, definition of the priority directions of works.

**Keywords:** fuel and power balances of the car, resistance to car movement, mechanical work, thermal losses.

**Т**опливный баланс автомобиля имеет важное научное и практическое значение, так как на его основе определяются приоритетные направления работ и оценивается эффективность различных мероприятий.

Проиллюстрируем теоретические основы составления топливных балансов, разработанных различными авторами, на примере автомобиля Volvo (6×4) с дизелем, движущегося по горизонтальному шоссе со скоростью 60 км/ч.

Выбор данного автомобиля обусловлен тем, что он проходил испытания в НАМИ. Эта модель занимает промежуточное положение по массе между одиночными грузовиками и автопоездами, а по колесной формуле – между наиболее распространенными вариантами 4×2 и 6×6.

Так, на основе теории проф. Н.В. Дивакова (МАМИ) можно установить, что у данного автомобиля на аэродинамику расходуется 10 % топлива. Аналогичные результаты дают разработки д.т.н. А.А. Токарева (МАДИ) [1], д.т.н. Г.Б. Безбородовой (Киевский автодорожный институт) [2], специалистов завода ИФА (Германия) и фирмы Тойота [3]. Мнения других исследователей по данному вопросу не совпадают с выводами перечисленных авторов. Так, Э.И. Наркевич, В.А. Резниченко и Н.С. Киселев (Дмитровский Автополигон) [4] и д.т.н. В.А. Петрушов (НАМИ) [5] считают, что затраты топлива на аэродинамическое сопротивление должны составлять 21 %, к.т.н. Ю.В. Медовщиков (МАДИ) [6] и специалисты исследовательских лабораторий компаний «Дженерал Моторс» [7] и «Мицубиси» – 31 %, исследователи большинства фирм, входящих в ЕС («Мерседес», ДАФ, «Рено» и др.) [8, 9], – 50 %.

Еще более удивительные данные приводит проф. А.И. Гришкевич [10], который утверждает, что при снижении аэродинамического сопротивления магистрального автопоезда на 12,5 % расход его топлива уменьшится на 25 %. Такое соотношение можно получить только в том случае, если удельный вес аэродинамического сопротивления в топливном балансе данного автопоезда составит 200 %.

Примерно о таком же соотношении между расходом топлива и аэродинамическим сопротивлением заявляют специалисты фирмы Kenworth [Автомобильная промышленность США]. Рекламируя свои автомобили, они утверждают, что их компоновка (кабина за двигателем) по сравнению с распространенной в Европе компоновкой (кабина над двигателем) позволяет сэкономить 22 % топлива, хотя аэродинамическое сопротивление из-за такой формы снижается только на 10...12 %.

Нередко авторы топливных балансов противоречат сами себе. Например, в работе [11] приведено мнение, что на преодоление сопротивления воздуха может быть израсходовано до 8 % топлива, а также показан автопоезд, у которого на сопротивление воздуха расходуется более 40 % топлива, что в 5 раз превышает установленный автором теоретический предел.

Широко разрекламированный аэродинамический обтекатель ТОПЕК-Р позволяет, по данным его разработчиков, при эксплуатации сэкономить больше топлива,

чем его заложено на аэродинамическое сопротивление в топливном балансе.

Возникшие противоречия можно было бы разрешить на основе составления корректного топливного баланса. Однако никто из авторов теории автомобиля не решился провести их анализ и определить, какой из имеющихся топливных балансов корректен, в связи с этим в теории автомобиля его просто нет.

В результате в различных источниках появляются сообщения о значительной экономии топлива (десяtkи процентов) за счет аэродинамических обтекателей, присадок к моторным и трансмиссионным маслам, распылителей топливно-воздушной смеси, микропроцессорных систем для управления двигателем и трансмиссией и т.п.

Рассмотрим суть разработанного нами топливного баланса автомобиля.

Расход топлива в России и многих странах мира определяется при прохождении расстояния в 100 км, поэтому в расчетах были использованы: расход топлива  $Q_S$  (г), путь  $S = 100 \text{ км} = 100\,000 \text{ м}$ .

При сгорании топлива в цилиндрах двигателя автомобиля, который преодолел путь  $S = 100 \text{ км}$ , выделялась тепловая энергия  $E_S$  (Дж). Одна ее часть преобразуется в механическую работу

$$A = P_i S,$$

где  $P_i$  – суммарная сила сопротивления движению, Н.

Другая  $\Delta E_S$  – через систему охлаждения двигателя, с выхлопными газами и т.п., рассеивается в окружающей среде. Данный энергетический баланс описывается следующим уравнением

$$E_S = A + \Delta E_S. \quad (1)$$

Суть каждой составляющей данного уравнения и методу их определения покажем на примере простейшего режима движения автомобиля с постоянной скоростью на горизонтальном участке шоссе.

Сначала замеряем расход топлива  $Q_S$ , затем суммарную силу  $P_i$ , которая близка к фактическому значению. Ее можно определить при замере усилия, необходимого для буксировки автомобиля на той же скорости с включенной передачей и выключенной подачей топлива.

С помощью найденных значений  $Q_S$  и  $P_i$  определяем энергию, которая образуется при сгорании топлива  $E_S = Q_S H_U$  ( $H_U$  – низшая теплота сгорания топлива, Дж/г), и полученную при этом механическую работу  $A$ .

Найденные величины позволяют вычислить по формуле (1)  $\Delta E_S$  – энергию, затраченную на преобразование энергии, заключенной в топливе, в механическую работу.

Таким образом, уравнение (1) отражает суть разработанного энергетического баланса автомобиля. Теперь выполним некоторые преобразования, которые не влияют на данный баланс, а направлены на упрощение расчетов топливной экономичности автомобиля и оценки эффективности различных мероприятий.

Если каждую составляющую энергетического баланса разделить на  $H_U$  – получим топливный баланс автомобиля

$$Q_S = \frac{A}{H_U} + \Delta Q_S, \quad (2)$$

где  $\frac{A}{H_U}$  – топливо, преобразованное в механическую работу, г;  $\Delta Q_S$  – топливо, потерянное при преобразовании энергии в механическую работу, г.

Для определения взаимосвязи между расходом топлива и произведенной при его сгорании в цилиндрах двигателя механической работой был разработан новый параметр  $g_{iS}$ , который используется вместо  $g_e$  – удельного эффективного расхода топлива (г/кВт·ч). Различие этих показателей, по сути, отражено индексами  $i$  и  $e$ : индикаторный вместо эффективного. Индекс  $S$  (путь) обозначает изменение масштабного фактора. Поскольку путь у нас всегда 100 000 м, мы приняли для параметра  $g_{iS}$  размерность  $\frac{\text{г}}{\text{Н} \cdot 100 \text{ км}}$ , удобную для расчетов и анализа топливной экономичности автомобиля.

Таким образом  $g_{iS}$  определяет затраты топлива (г), необходимого для получения механической работы в 100 000 Дж. Это эквивалентно работе, которая затрачивается на преодоление силы в 1 Н на пути 100 000 м.

Для определения структуры  $g_{iS}$  разделим каждую составляющую топливного баланса (2) на механическую работу  $A$ :

$$g_{iS} = g_{iSw} + g_{iSe}. \quad (3)$$

Первое слагаемое (3) характеризует топливо, преобразованное в механическую работу (индекс  $w$ ), с учетом выбранной размерности вычисляется по формуле

$$g_{iSw} = \frac{100\,000}{H_U}.$$

Из данной формулы видно, что величина  $g_{iSw}$  имеет постоянное значение, зависящее только от вида топлива. Например, при сгорании 1 г дизельного топлива выделяется 43 000 Дж тепловой энергии, а 1 г бензина – 44 000 Дж. Если бы вся эта энергия без остатка превратилась в механическую работу, то для преодоления силы в 1 Н на пути 100 км необходимо было бы затратить 2,33 г дизтоплива или 2,27 г бензина. Следовательно, для автомобиля, работающего на дизельном топливе  $g_{iSw} = 2,33 \frac{\text{г}}{\text{Н} \cdot 100 \text{ км}}$ , а на бензине  $g_{iSw} = 2,27 \frac{\text{г}}{\text{Н} \cdot 100 \text{ км}}$ .

Однако из-за тепловых потерь через стенки цилиндров и с выхлопными газами затраты топлива для совершения единицы работы повышаются на величину, определяемую вторым слагаемым  $g_{ise}$  в формуле (3).

Для удобства составления топливного баланса автомобиля и анализа степени совершенства рабочего процесса установленного на нем двигателя используем новый показатель  $\Delta$ , который характеризует удельный вес тепловых потерь в топливном балансе автомобиля. Он определяется как отношение тепловых потерь к произведенной механической работе

$$\Delta = \frac{g_{ise}}{g_{isw}}$$

С учетом преобразований формула топливного баланса (2) примет вид

$$Q_s = g_{isw}(1 + \Delta)P_i \quad (4)$$

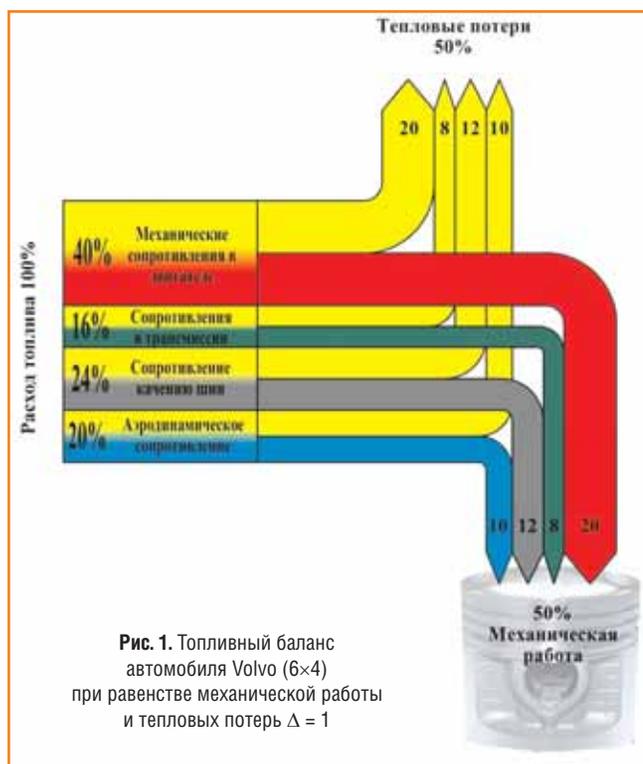
Здесь  $g_{isw}$  – постоянная величина. В скобках стоят величины, которые в безразмерных единицах показывают соотношение между топливом, преобразованным в механическую работу и потерянным при ее получении.

Рассмотрим пример практического применения формулы (4). В связи с этим запишем ее в развернутом виде применительно к автомобилю, который движется с постоянной скоростью по горизонтальной дороге. На данном режиме движения приведенная (так как силы прикладываются не непосредственно к колесу, то суммарная сила приведенная) к колесам автомобиля суммарная сила сопротивления движению  $P_i$  складывается из следующих составляющих: механических сопротивлений в двигателе и сопротивлений от вспомогательного оборудования –  $P_{MT}$ ; сопротивлений в трансмиссии –  $P_{TP}$ ; сопротивления качению шин –  $P_f$ ; аэродинамического сопротивления –  $P_w$ .

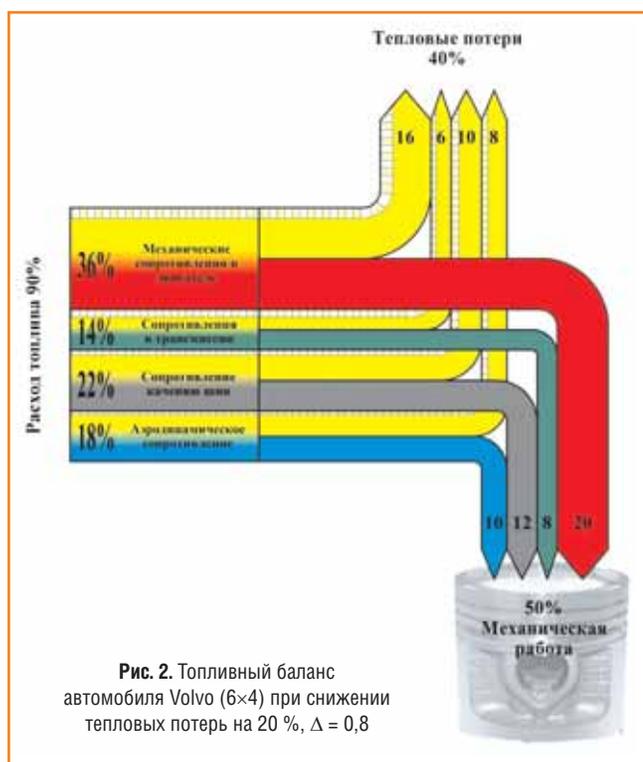
$$Q_s = g_{isw}(1 + \Delta)(P_{MT} + P_{TP} + P_f + P_w) \quad (5)$$

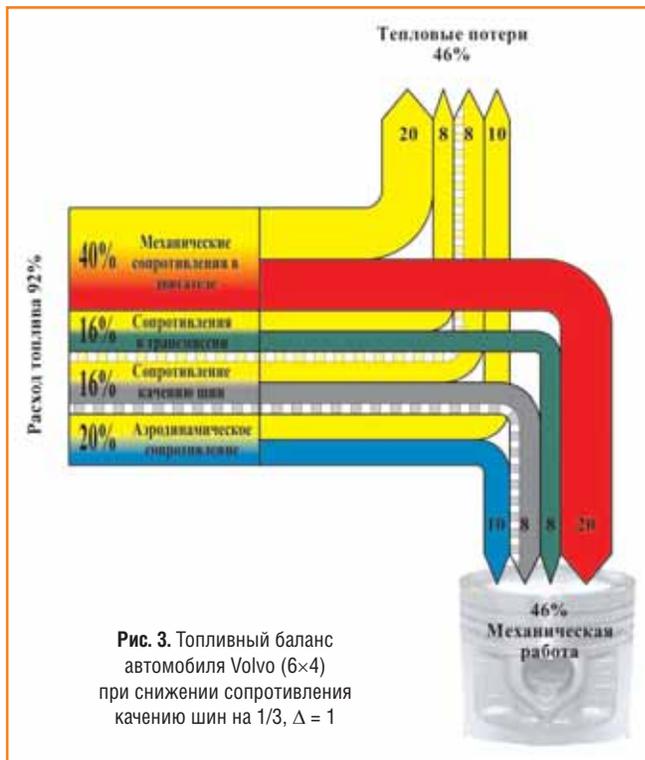
С помощью (5) составлен топливный баланс упомянутого выше автомобиля Volvo (6×4) (рис. 1). Здесь для получения единицы механической работы затрачено столько же тепловой энергии  $\Delta = 1$ . Это означает, что в данном режиме движения автомобиля его двигатель для преодоления каждой силы в 1 Н на пути 100 000 м потребляет 4,66 г дизтоплива. Из них 2,33 г преобразуется в механическую работу и столько же – в потери тепловой энергии через стенки цилиндров, систему охлаждения, с выхлопными газами и т.п.

Если у данного автомобиля уменьшить тепловые потери на 20 %, например, за счет использования новых конфигураций камер сгорания и впускных и выпускных систем, применения повышенной энергии впрыска, утепления элементов двигателя керамическими прокладками и т.п.,



то величина  $g_{isw}$  не изменится, а  $\Delta$  уменьшится. В данном случае тепловая энергия расходуется более экономно, чем в исходном варианте. В результате произведенная механическая работа останется той же (5), однако на каждую единицу произведенной механической работы затраты теплоты снизятся на 20 % ( $\Delta = 0,8$ ). Топливный баланс автомобиля, у которого уменьшены тепловые потери, показан на рис. 2.





При снижении сопротивления движению автомобиля согласно (5) произойдет снижение затрат топлива на механическую работу и на тепловые потери, связанные с ней. Например, если снизить сопротивление качению шин у автомобиля в исходном варианте на 1/3 в соответствии с (5), затраты топлива на механическую работу снизятся на величину  $g_{isw} P_f / 3$  и на столько же – на тепловые потери ( $\Delta = 1$ ).

Топливный баланс автомобиля, у которого уменьшено сопротивление качению шин по сравнению с исходным вариантом, показан на рис. 3.

Таким образом, была выведена формула топливного баланса автомобиля. Созданная на его основе математическая модель используется в компьютерной программе МВК [12], с помощью которой для различных автотранспортных средств, а их более 5 тыс., рассчитываются расходы топлива.

Для проверки корректности математической модели постоянно проводится сопоставление результатов расчетов, полученных с помощью МВК, с экспериментальными данными. Например, для всех участвующих в экспериментах легковых автомобилей (примерно 4,5 тыс.) контролируемые расчетные параметры (максимальная скорость, время разгона в заданном диапазоне скоростей, расходы топлива в городском, скоростном и смешанном циклах и т.п.), рассчитанные с помощью МВК, укладываются в пределы естественного разброса данных (в среднем 3...5 %), полученных при натурных испытаниях.

В связи с этим с помощью МВК можно оперативно решать многие задачи, имеющие научный и практический интерес. Например, наглядно показать, как влияют на топливную экономичность автомобиля тип двигателя, его рабочий объем и мощность, число ступеней КП, манера езды, ограничение скорости и т.п., а также какую экономию топлива можно получить за счет распылителей топливовоздушных смесей, добавок к моторным и трансмиссионным маслам, аэродинамических устройств, шин прогрессивных конструкций.

## Литература

- 1. Токарев А.А.** Топливная экономичность и тягово-скоростные качества автомобиля. – М.: Машиностроение, 1982. – 224 с.
- 2. Безбородова Г.Б., Вельбовец А.Ф.** Топливный баланс прицепного автопоезда // Автомобильная промышленность. – 1987. – № 11.
- 3. Matsumoto K.** Total vehicle economy – the challenge. Int. conf. fuel power trains and veh.: VECON84, London 22-24 Oct. 1984. – P. 21-23.
- 4. Резниченко В.А., Наркевич Э.И., Киселев Н.С.** Эксплуатационные свойства некоторых седельных тягачей // Автомобильная промышленность. – 1986. – № 4. – С. 16.
- 5. Петрушов В.А.** Автомобили и автопоезда: Новые технологии исследования сопротивлений качения и воздуха. – М.: ТОРУС ПРЕСС, 2008. – 352 с.: ил.
- 6. Медовщиков Ю.В.** Влияние аэродинамики автомобиля на топливную экономичность. – Сб. науч. тр. МАДИ: Пути улучшения автотранспортных средств. – М.: 1985. – С. 97-103.
- 7. Sovran G.** Tractive-energy-based formulae for the impact of aerodynamics on fuel economy over the EPA driving schedules, SAE Trans. 830304, 1983. – P. 746-757.
- 8. Frank Zeitzen.** Die schwarze Kunst // Lastauto omnibus. – 1996. – № 2. – P. 30-31.
- 9.** Влияние конструктивных и эксплуатационных факторов на топливную экономичность грузовых автомобилей и автобусов фирмы Рено. Научно-исследовательский отдел фирмы Рено. – М.: 1987. – 53 с.
- 10. Гришкевич А.И.** Автомобили. Теория. – Минск: Высшая школа, 1986.
- 11. Токарев А.А.** Топливная экономичность и тягово-скоростные качества автомобиля. – М.: Машиностроение, 1982. – 224 с.
- 12. Московкин В.В., Парыгин С.П., Вохминов Д.Е.** МВК Программный пакет для комплексных исследований автомобиля // Журнал ААИ. – 2004. – № 1.
- 13. Евсеев П.П.** О нормировании расхода топлива автомобилем // Автомобильная промышленность. – 2001. – № 11. – С. 20-22.

## Бифункциональные низкотемпературные электрохимические генераторы для водородного транспорта

С.А. Григорьев,

начальник лаборатории НИЦ «Курчатовский институт», д.т.н.,

Д.Л. Астановский,

президент ООО «ФАСТ ИНЖИНИРИНГ М», к.т.н.

В статье рассмотрены устройство, принцип действия и перспективы применения бифункциональных электрохимических генераторов на основе твердополимерного электролита на водородном транспорте.

**Ключевые слова:** водородный транспорт, бифункциональный электрохимический генератор, твердый полимерный электролит.

## Bifunctional low-temperature electrochemical generators for hydrogen transport

S.A. Grigoriev, D.L. Astanovsky

Feature, principle of operation and prospective of application of bifunctional electrochemical generators based on solid polymer electrolyte (SPE) on hydrogen transport are considered.

**Keywords:** hydrogen transport, bifunctional electrochemical generator, solid polymer electrolyte.

Сегодня большинство автомобильных компаний имеют образцы транспортных средств на водородных топливных элементах с твердым полимерным электролитом (ТПЭ) и готовы начать их производство [1]. Однако одним из основных факторов, сдерживающих широкомасштабное использование водородного транспорта, является отсутствие соответствующей инфраструктуры. В этой связи перспективны бифункциональные электрохимические генераторы с ТПЭ [2, 3], для работы которых нет необходимости создания сети водородных заправочных станций.

Подзарядка систем хранения водорода и кислорода автомобилей на основе бифункциональных электрохимических генераторов может осуществляться от обычной бытовой электрической сети (рис. 1). Например, в ночные часы электрохимический генератор работает в режиме электролизера воды, и

осуществляется заправка систем хранения газов, а в дневное время в период использования транспортного средства в электрохимическом генераторе происходит выработка электроэнергии, необходимой для его движения. Немаловажной является возможность зарядки систем хранения с использованием энергии возобновляемых источников (солнце, ветер и т.п.) [4, 5].

Так же, как и в случае топливных элементов и электролизеров воды с ТПЭ, основными компонентами бифункционального электрохимического элемента с ТПЭ (в англоязычной литературе используется термин *unitized regenerative fuel cell*) являются протонно-обменная мембрана, анодные и катодные электродокаталитические слои и газодиффузионные электроды (рис. 2). При создании бифункциональной системы могут быть использованы две схемы организации ее работы. В первом случае речь идет об обратимом элементе, электроды

которого изменяют свои окислительно-восстановительные функции при переключении режима работы элемента (рис. 2а). Такие электроды принято называть водородным или кислородным в зависимости от газа, который выделяется или потребляется на данном электроде. Применение схемы а позволяет легко осуществлять смену режима работы системы, поскольку смена газов (реагенты и продукты электродных реакций) не требуется. Однако недостатком такой схемы является невозможность использования углеродных материалов (газодиффузионная подложка, носитель катализатора) на кислородном электроде, поскольку углерод быстро окисляется под действием кислорода и его радикалов, выделяющихся в зоне реакции при анодном электролизном процессе [6]. Другая схема организации обратимого элемента (рис. 2б) лишена этого недостатка [7, 8], однако при ее использовании требуется смена газового состава электродных камер при переключении режима работы элемента, что практически может реализовываться посредством продувки инертным газом или вытеснением газов водой с ее последующим сливом.

Впервые идея создания бифункционального элемента на основе ТПЭ была реализована на практике в начале 1960-х гг. [9]. Однако из-за проблем с ТПЭ-мембраной и сложности приготовления каталитических слоев характеристики элемента были крайне низки. Значительных успехов в разработке

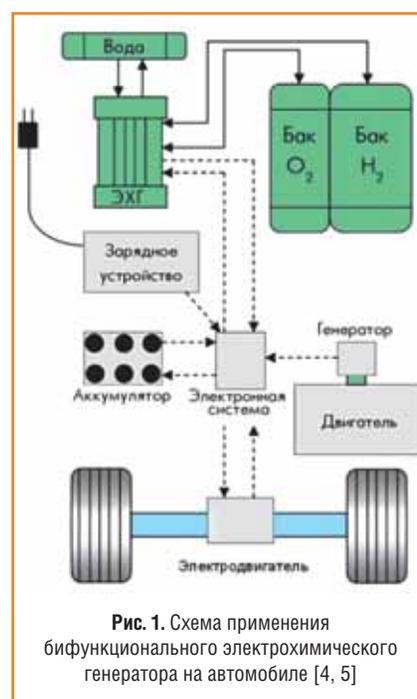


Рис. 1. Схема применения бифункционального электрохимического генератора на автомобиле [4, 5]



## Выбор параметров гибридного электромобиля

Л.А. Скрипко,

инженер-электротехник МАДИ (ГТУ), к.т.н.

В статье предложен алгоритм выбора параметров гибридного электромобиля на базе микроавтобуса «Газель». Математическая модель гибрида включала имитацию его движения по одному из московских маршрутов. На основе результатов моделирования даны рекомендации по выбору массы батареи и мощности двигателя внутреннего сгорания. Также оценены преимущества «чистого» электромобиля и гибридной системы Plug-in. Обоснованы экономические предпосылки перехода городского пассажирского транспорта на электротягу.

**Ключевые слова:** электромобиль, гибрид, график движения, система Plug-in.

## EV-minibus on the route Moscow

L.A. Skripko

In the article is offered algorithm of estimation some important parameters of EV and Plug-in hybrid based on 3.5 tons minibus GAZ. The minibus is modeled and simulated on Moscow route. Author recommends how to choose a weight of battery and engine power for Plug-in systems. Also justified an economic opportunity to change traditional public transport to electrical transport.

**Keywords:** electric vehicle, plug-in hybrid, Moscow city route.

Несомненно, приближается время, когда автомобили, использующие альтернативные источники энергии, придут на смену традиционным. Разработки ведутся по многим направлениям. Наиболее известным среди них является создание электромобилей, где источником энергии служат тяговые аккумуляторные батареи.

Энергоемкие аккумуляторные батареи с высоким сроком службы делают перспективы электромобилей все более реальными. К примеру, удельная энергоемкость тяговых свинцово-кислотных батарей, применявшихся ранее, не превышает 30 Вт·ч/кг, в то время как современные литий-ионные батареи имеют этот показатель на уровне порядка 100 Вт·ч/кг. Это значит, что запас хода современного электромобиля более

чем в 3 раза превышает запас хода электромобилей 20-летней давности. Если предположить, что развитие технологий будет идти такими же темпами, то пробег электромобиля при одной зарядке вскоре превысит пробег традиционного автомобиля между заправками. Несмотря на такие успехи электромобиль не получил пока широкого распространения из-за высокой стоимости батарей, пробега в среднем 100-150 км и продолжительности зарядки около 5 ч.

Но если электромобиль не может конкурировать с автомобилем на загородных автострадах, то уже сегодня можно искать возможность его применения в городе. Один из вариантов – создание электромобилей для пассажирских перевозок на базе автобусов или маршрутных такси, поскольку есть возможность установить на автобусе

(в отличие от персонального автомобиля) тяжелую батарею, выделить площадку для ночной зарядки, получить экологические и экономические преимущества при интенсивной эксплуатации коммерческого транспорта.

Попробуем оценить рентабельность электромобиля, используемого в качестве маршрутного такси. Объектом исследования выберем хорошо известный микроавтобус «Газель». Для получения достоверных результатов смоделируем движение электромобиля по реальному маршруту городского транспорта. Допустив, что московские маршруты примерно одинаковы, остановимся, например, на маршруте автобуса 667 между станцией метро Петровско-Разумовская и платформой Лианозово. Время движения по этому маршруту составляет 22 мин, расстояние между конечными остановками 7,5 км. На данном маршруте автобус делает 17 остановок. При точном повторении маршрута автобуса электромобилем время движения между остановками в среднем равно 73 с, а расстояние между остановками 420 м. Для удобства рассмотрим вариант равномерного распределения остановок, то есть движение электромобиля-маршрутки состоит из 18 одинаковых циклов. Каждый цикл включает разгон, движение с равномерной скоростью, торможение и остановку для посадки пассажиров. Примем скорость движения 60 км/ч и достижение этой скорости за 15 сек. Условимся, что «Газель» всегда загружена полностью, то есть в ней находится 14 пассажиров и водитель. Смоделировав движение электромобиля в данном цикле, получим расход энергии батареи 350 Вт·ч/км. Определим пробег электромобиля между станциями подзарядки по зависимости

$$L = m\sigma/\gamma,$$

где  $L$  – пробег электромобиля на одной зарядке батареи, км;  $m$  – масса аккумуляторной батареи, кг;  $\sigma$  – удельная энергоемкость батареи, Вт·ч/кг;  $\gamma$  – удельный расход энергии на движение, Вт·ч/км.

Подставляя в формулу различные значения массы батареи при фиксированных удельной энергоёмкости ( $\sigma = 100 \text{ Вт}\cdot\text{ч/кг}$  для литий-ионной батареи) и расходе энергии ( $\gamma = 350 \text{ Вт}\cdot\text{ч/км}$  для рассматриваемого автомобиля), можно получить пробег электромобиля на одной зарядке. Несомненно, что увеличение массы батареи ведет к удлинению пробега, но снижает грузоподъемность электромобиля. Например, батарея массой 500 кг снижает на треть грузоподъемность «Газели». Таким образом, пробег и грузоподъемность находятся в обратной зависимости. Для нахождения оптимальной массы батареи предложено использовать понятие транспортной работы, которая применительно к электромобилю определяется произведением пробега на грузоподъемность, то есть она определяет расстояние, на которое электромобиль может перевезти данную массу груза.

$$A = GL,$$

где  $A$  – транспортная работа, т·км;  $G$  – грузоподъемность электромобиля с учетом массы батареи, т.

Естественно, что выгодно конструировать электромобиль исходя из получения максимальной транспортной работы (рисунок). Нетрудно убедиться, что для любого электромобиля максимум транспортной работы соответствует массе батареи, равной половине грузоподъемности базового транспортного средства. Так, если базовый автомобиль «Газель» имеет грузоподъемность 1,5 т, то при условии получения максимума транспортной работы следует использовать батарею массой 750 кг. Пробег с литий-ионной батареей при этом составит 214 км в рассматриваемом режиме движения. При условии полного заполнения «Газели» и средней массе пассажира около 70 кг масса батареи не должна превышать 500 кг. Получаем, что пробег электромобиля с батареей массой 500 кг составит 142 км. Напомним, что зарядка батареи занимает около 5 ч, а значит будет осуществляться только в ночное время. Удовлетворит ли

такой электромобиль транспортным задачам?

Предположим, что электромобиль работает без перерыва 8 ч в день и не имеет возможность сойти с маршрута для подзарядки. Как было сказано, пробег между конечными станциями составляет 7,5 км, а время в пути 22 мин. В результате за день электромобиль должен выполнять в среднем 22 поездки и в итоге проходить 165 км. Таким образом, электромобилю не хватает энергии как минимум на 23 км движения только по маршруту. Помимо этого, необходим запас энергии для вывода электромобиля на маршрут, а вечером для постановки его на стоянку. Учтем и то, что изначально был выбран некий условный маршрут, а он может оказаться не самым сложным с точки зрения электропотребления. Также 8-часовой рабочий день может оказаться недостаточен для удовлетворения запросов перевозчика. Например, маршрутный автобус может работать в две смены с заменой водителей в обеденное время.

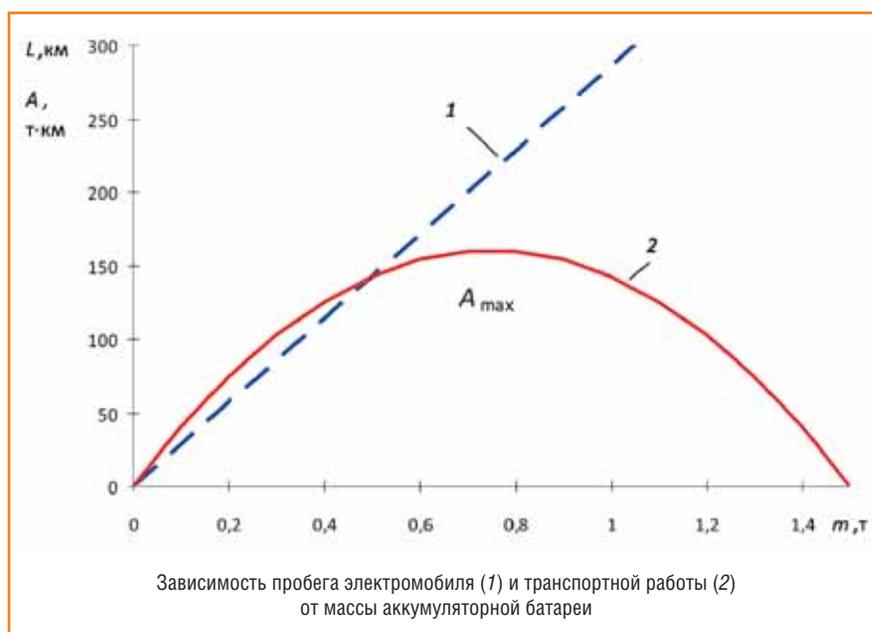
Подводя итог сказанному, можно предположить, что электромобиль, работающий в качестве маршрутки или городского автобуса, должен иметь запас хода примерно 200 км и больше. Очевидно, что необходимо иметь поступление дополнительной

электроэнергии. Если нельзя получить энергию извне, например, как у троллейбуса, то необходимо производить ее на борту электромобиля. Такая система гибридного электромобиля, требующая зарядки батареи как от внешней электросети, так и от внутреннего источника, известна под названием Plug-in. Самым доступным сегодня источником для зарядки батареи на борту является электрогенератор, работающий в паре с двигателем внутреннего сгорания. С учетом дополнительного источника электроэнергии формула для пробега будет иметь вид

$$L = (m\sigma + e)/\gamma,$$

где  $e$  – количество электроэнергии, выработанной генератором за время движения по маршруту, Вт·ч.

Используя данную формулу, получаем, что для искомого пробега в 200 км дополнительно требуется  $e = 20 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$ . Такое количество энергии можно получить за 8 ч непрерывной работы генератора мощностью 2,5 кВт. При КПД генератора 10% мощность двигателя внутреннего сгорания составит около 2,8 кВт. Двигатели такой мощности существуют и применяются, в том числе для мотокультиваторов, газонокосилок, небольших электростанций. Расход бензина исследуемого электромобиля составит около 3,3 л/100 км или 6,6 л в день.



Таким образом, были теоретически определены основные параметры гибридного (Plug-in) электромобиля «Газель», работающего на городском маршруте и способного перевозить 14 пассажиров с расходом бензина около 3,3 л/100 км. Как было сказано ранее, использование батареи массой меньше 750 кг не позволяет добиться максимума транспортной работы. Возможно, есть смысл отказаться от удорожания энергосистемы двигателя внутреннего сгорания и пожертвовать четырьмя пассажирскими местами за счет утяжеления батареи. Если производители предлагают на рынке несколько вариантов электромобилей – как «чистых», так и с комбинированной системой Plug-in, перевозчики сами сделают выбор, исходя из транспортных задач.

Попытаемся оценить финансовую сторону проблемы. По данным производителей литий-ионных батарей, сегодня срок их службы превышает 3 тыс. циклов. При ежедневной

эксплуатации батареи должно хватить на 10 лет. Допустим, что микроавтобус также выдержит такой срок. Предположим, что традиционный автомобиль «Газель» оснащен современным дизельным двигателем с расходом топлива 10 л/100 км. Ежедневно автомобиль израсходует 20 л, в год 7,3 тыс. л, а за 10 лет – 73 тыс. л. При средней стоимости дизельного топлива 25 руб./л расходы владельца традиционного автомобиля составят более 1,8 млн руб.

Подсчитать расход на эксплуатацию электромобиля или гибридного электромобиля несколько сложнее. Основную часть расходов в них составляет стоимость батареи. Есть мнение, что с развитием отрасли, в том числе и в России, стоимость литий-ионных батарей составит 200 долл. США за 1 кВт•ч, но для верности расчета примем более реальные цифры на уровне 600 долл. США. Литий-ионная батарея массой 500 кг запасает 50 кВт•ч, соответственно ее

стоимость примерно 900 тыс. руб. Ночной тариф электроэнергии составляет порядка 1 руб./кВт•ч. Тогда за 50 кВт•ч заряженной ночью батареи придется заплатить 50 руб. или 182,5 тыс. руб. за 10 лет. Кроме этого, при стоимости бензина 30 руб./л и упомянутом расходе 6,6 л в день за 10 лет расходы составят 722,7 тыс. руб. Суммируя расходы для электромобиля, получаем те же 1,8 млн руб.

Таким образом, оценочные расчеты уже при нынешней стоимости бензина, батареи и электроэнергии показывают паритет между автомобилем и гибридным электромобилем.

Противники последнего упомянут стоимость дополнительного электрооборудования и сложности обслуживания. Защитники же электромобиля выскажутся в пользу экологии и инноваций. В любом случае тенденция к удорожанию углеводородного топлива и удешевлению аккумуляторных батарей рано или поздно обусловит приоритет нового экологичного транспорта.

**ГНС**  
Проектирование, поставка оборудования, строительство, реконструкция, модернизация

**АГЗС**  
Проектирование, поставка оборудования, строительство, монтаж, пусконаладка

**Посты**  
заправки бытовых газовых баллонов с электронным управлением с возможностью автоматизации

**ТРК**  
Топливораздаточные колонки с кориолисовыми счетчиками (учет объема в л, массы в кг, плотности и температуры).  
Гарантия – 3 года.

**Резервуары**  
Собственное серийное производство резервуаров для СУГ объемом 4,6; 6,5; 8,5; 9,2 и 20,0 м³

**Газовые генераторы**  
с жидкостным охлаждением мощностью от 10 до 35 кВт для автономных систем резервного и постоянного электроснабжения

**CAT**  
Станции автономного газоснабжения производительностью от 32 до 14 000 кг/ч

**FAS**  
Flüssiggas-Anlagen

Компания Flüssiggas Anlagen GmbH (FAS) (основана в 1975 году) – современное динамичное производство, зарекомендовавшее себя как поставщик эффективных решений для работы со сжиженными газами. За время работы оборудованием компании FAS оснащены сотни объектов нефтегазового комплекса во многих странах Европы и мира: комплекты газовые терминалы, газовые и многотопливные заправочные станции и многое другое. Постоянными заказчиками компании стали многие ведущие нефтегазовые компании.

узнайте подробнее  
**WWW.FAS.SU - (495) 647 0577 • (812) 332 0527**  
**16 лет в России!**

РЕКЛАМА

## Работа дизелей на водотопливных эмульсиях

**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.А. Шумовский,**  
аспирант МГТУ им. Н.Э. Баумана,  
**С.А. Тарантин,**  
аспирант МГТУ им. Н.Э. Баумана

Проведены экспериментальные исследования дизеля Д-245.12С на водотопливных эмульсиях различного состава. Показана возможность улучшения показателей токсичности отработавших газов при использовании водотопливных эмульсий в качестве топлива для автомобильных дизелей.

**Ключевые слова:** дизельный двигатель, дизельное топливо, водотопливная эмульсия.

## Diesel Engines Running on Water-Fuel Emulsions

**V.A. Markov, S.N. Devyanin,  
V.A. Shumovsky, S.A. Tarantin**

Experimental work on D-245.12S diesel engine fueled with water-fuel emulsions of different percentage has been carried out. Possibility of exhaust toxicity characteristics improvement by using these water-fuel emulsions as a fuel for automobile diesel engines is demonstrated.

**Keywords:** diesel engine, diesel fuel, water-fuel emulsion.

Одной из главных задач совершенствования экологических показателей транспортных дизелей является снижение выбросов с отработавшими газами (ОГ) их основного токсичного компонента – оксидов азота, на долю которых приходится до 95 % суммарной токсичности ОГ [1]. При этом около 42 % выбросов этого вредного вещества в атмосферу приходится на автомобильный транспорт [2].

Образование  $\text{NO}_x$  в камере сгорания (КС) дизеля происходит с поглощением теплоты, поэтому определяющее влияние на эмиссию этого

компонента с ОГ оказывает температура сгорания топлива, которую необходимо снижать. Это достигается при использовании эмульгированных топлив – водотопливных эмульсий (ВТЭ), которые являются эмульсиями дизельного топлива (ДТ) и воды [3].

Для оценки экологических показателей при использовании ВТЭ проведены экспериментальные исследования дизеля Д-245.12С (4 ЧН 11/12,5). Описание исследуемого дизеля и моторного стенда приведено в работе [4]. Дизель типа Д-245.12С испытывался на чистом ДТ и на ВТЭ

с объемным содержанием воды от 0 до 15 %. Для получения этих эмульсий использовано эмульгирующее устройство (рис. 1). Его конструкция защищена патентом РФ на полезную модель [5].

Эмульгирующее устройство состоит из основания 1 в виде массивной плиты, на которой закреплены четыре направляющие стойки 3. Реактор 16 выполнен в виде цилиндрической емкости с верхней 14 и нижней 17 крышками. Каждая из крышек снабжена патрубком 13 для впуска и выпуска реакционных сред. Нижняя крышка 17 имела четыре отверстия для стоек 3. Реактор 16 фиксировался с помощью гаек 2. В реакторе 16 установлены чередующиеся неподвижные 4 и подвижные 15 диски. Последние через шток 18 связаны с якорем 6 электромагнитного двигателя, статор 7 которого посредством фланца 8 связан со стойками 3 с помощью гаек 9. Между якорем 6 и реактором 16 на стойках 3 смонтированы три параллельных диска: внешние 5 и внутренний 12. Внешние диски фиксируются на стойках 3 с помощью гаек 11, а внутренний диск закреплен на штоке 18 на равном расстоянии от внешних дисков. В промежутках между

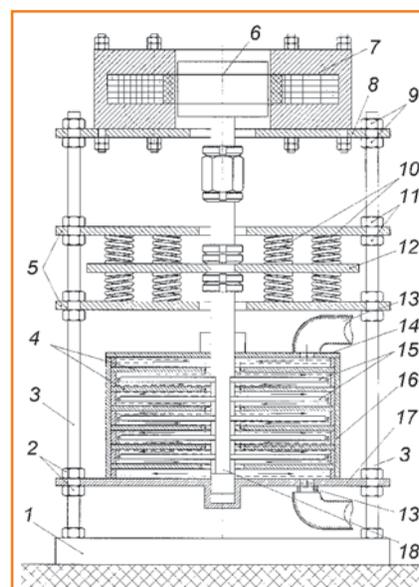


Рис. 1. Схема эмульгирующего устройства

## Свойства ДТ и эмульгированных топлив

Физико-химические свойства	Топлива		
	ДТ	92,5 % ДТ + 7,5 % воды	85,0 % ДТ + 15,0 % воды
Плотность при 20 °С, кг/м <sup>3</sup>	830,0	842,6	855,2
Вязкость кинематическая при 20 °С, мм <sup>2</sup> /с	3,800	–	–
Коэффициент поверхностного натяжения при 20 °С, мН/м	27,1	–	–
Теплота сгорания низшая, МДж/кг	42,5	39,3	36,1
Цетановое число	45	–	–
Количество воздуха, необходимое для сгорания 1 кг вещества, кг	14,30	11,51	10,89
Массовая доля, %			
С	87,0	80,5	74,0
Н	12,6	11,6	10,7
О	0,4	0,4	0,3
H <sub>2</sub> O	0	7,5	15,0
Массовая доля серы, %	0,200	0,185	0,170

Примечание: « – » – параметр не приведен.

дисками установлены пружины 10, в совокупности с дисками образующие упругую систему устройства.

При эмульгировании топлива среды, подлежащие перемешиванию (ДТ и вода), через верхний патрубков 13 вводятся в реактор. При этом включается электромагнитный двигатель. Якорь 6 совершает колебательные движения с заданной частотой и амплитудой, которые определяют свойства ВТЭ. Колебательные движения якоря 6 через шток 18 передаются на подвижные диски 15, которые перемещаются между неподвижными дисками 4, что вызывает попеременное растяжение и сжатие сред, находящихся между дисками, и их турбулизацию. За счет перемещения внешних дисков 5 относительно внутреннего 12 корректируется собственная частота подвижной части устройства для приближения ее к фиксированной частоте вынуждающей силы, развиваемой якорем 6, и достижения резонансного режима работы устройства.

Для получения стойких ВТЭ этих компонентов применен эмульгатор (ПАВ) – алкенилсукцинимид мочевины (ТУ 38.1011039-85), представляющий собой вязкую, прозрачную, растворимую в углеводородах жидкость светло-коричневого цвета. Массовая

доля ПАВ в ВТЭ не превышала 0,5 %. Полученные эмульсии были достаточно стабильны: расслоение на две фракции происходило лишь после нескольких недель хранения. Однако первоначальный вид и свойства эмульсии (таблица) восстанавливались путем ее простого взбалтывания.

Свойства воды, используемой для получения ВТЭ, при 20 °С следующие: плотность 998,2 кг/м<sup>3</sup>; кинематическая вязкость 1,006 мм<sup>2</sup>/с; коэффициент поверхностного натяжения 72,7 мН/м.

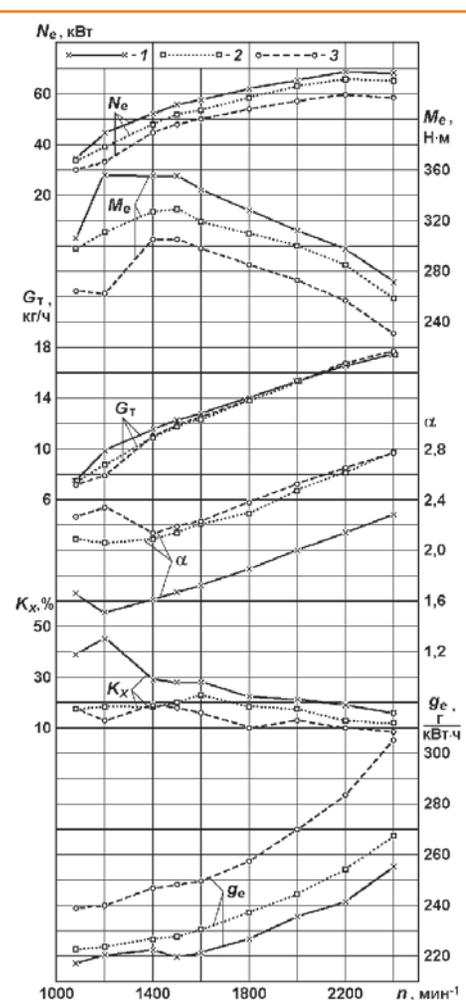
При определении низшей теплоты сгорания эмульсий  $H_U$  (кДж/кг) применялась эмпирическая формула Д.И. Менделеева [3]

$$H_U = [81 C + 246 H - 26 (O - S) - 6 W] \cdot 4,1868,$$

где С, Н, О, S, W – массовое содержание соответственно углерода, водорода, кислорода, серы и воды, %.

С учетом массовых долей С, Н, О, S, W формула принимает вид  $H_U = 33913 C + 102995 H - 10886 O + 10886 S - 2512 W$ .

Количество воздуха, необходимое для сгорания 1 кг топлива



**Рис. 2.** Зависимость эффективной мощности  $N_e$ , крутящего момента  $M_e$ , расхода топлива  $G_t$ , коэффициента избытка воздуха  $\alpha$ , дымности ОГ  $K_x$  и удельного эффективного расхода топлива  $g_e$  от частоты вращения  $n$  дизеля Д-245.12С на режимах ВСХ:  
1 – ДТ; 2 – эмульсия 92,5 % ДТ и 7,5 % воды;  
3 – эмульсия 85,0 % ДТ и 15,0 % воды

(кмоль/кг), определялось из выражений [3]

$$L_0 = (1/0,21) (C/12 + H/4 - O/32).$$

Для пересчета в (кг/кг) использовалась молекулярная масса воздуха  $\mu_b = 28,93$ . Тогда  $l_0 = L_0 \mu_b$ .

Испытания дизеля Д-245.12С проведены на моторном стенде АМО «Зил», оборудованном необходимой измерительной аппаратурой. Дизель исследовался при неизменном положении упора дозирующей рейки ТНВД с постоянным штатным УОВТ, равным  $\theta = 13^\circ$  поворота коленчатого вала до верхней мертвой точки (п.к.в. до ВМТ). На первом этапе испытания проведены на режимах внешней скоростной характеристики (ВСК) дизеля в диапазоне частот вращения  $n$  от 1000 до 2400 мин<sup>-1</sup>. Затем были определены показатели дизеля при его работе на режимах 13-ступенчатого цикла Правил 49 ЕЭК ООН.

Результаты испытаний дизеля (рис. 2) свидетельствуют о том, что перевод дизеля с ДТ на ВТЭ не приводит к существенному изменению часового расхода топлива  $G_T$  (за исключением режимов с  $n < 1400$  мин<sup>-1</sup>). Но при этом из-за пониженного содержания горючих углерода С и водорода Н в ВТЭ при их использовании мощностные показатели дизеля заметно снижаются. Так, при переводе дизеля с ДТ на эмульсию, содержащую 85 % ДТ и 15 % воды, на режиме максимального крутящего момента при  $n = 1500$  мин<sup>-1</sup> крутящий момент  $M_e$  снизился от 355 до 305 Н·м, а на режиме максимальной мощности при  $n = 2400$  мин<sup>-1</sup> – от 271 до 231 Н·м.

С ростом содержания воды в ВТЭ  $C_{H_2O}$  от 0 до 7,5 % коэффициент избытка воздуха  $\alpha$  сначала заметно увеличивается: на режиме максимального крутящего момента при  $n = 1500$  мин<sup>-1</sup> – от 1,67 до 2,14, а на режиме максимальной мощности при  $n = 2400$  мин<sup>-1</sup> – от 2,28 до 2,78. При дальнейшем росте  $C_{H_2O}$  до 15,0 % не-

смотря на снижение содержания в эмульсии горючих компонентов (углерод С и водород Н) коэффициент избытка воздуха  $\alpha$  изменяется незначительно. Это вызвано снижением температуры ОГ при росте  $C_{H_2O}$ , падением эффективности системы газотурбинного наддува и уменьшением подачи воздуха в цилиндры двигателя.

Пониженное содержание горючих компонентов в эмульсиях (их пониженная теплотворная способность) при питании дизеля этими ВТЭ приводило к росту удельного

эффективного расхода топлива  $g_e$  (см. рис. 2). Однако при этом эффективность сгорания, характеризуемая эффективным КПД  $\eta_e$ , на большинстве режимов даже повышалась. Так, на режиме максимального крутящего момента при  $n = 1500$  мин<sup>-1</sup> переход с ДТ на ВТЭ с содержанием воды  $C_{H_2O}$  7,5 и 15,0 % привел к росту  $\eta_e$  от 0,386 до 0,402, а на режиме максимальной мощности при  $n = 2400$  мин<sup>-1</sup> эффективный КПД  $\eta_e$  сначала повысился от 0,332 до 0,342, а затем снизился до 0,327.

Использование ВТЭ позволило снизить дымность ОГ. Так, при

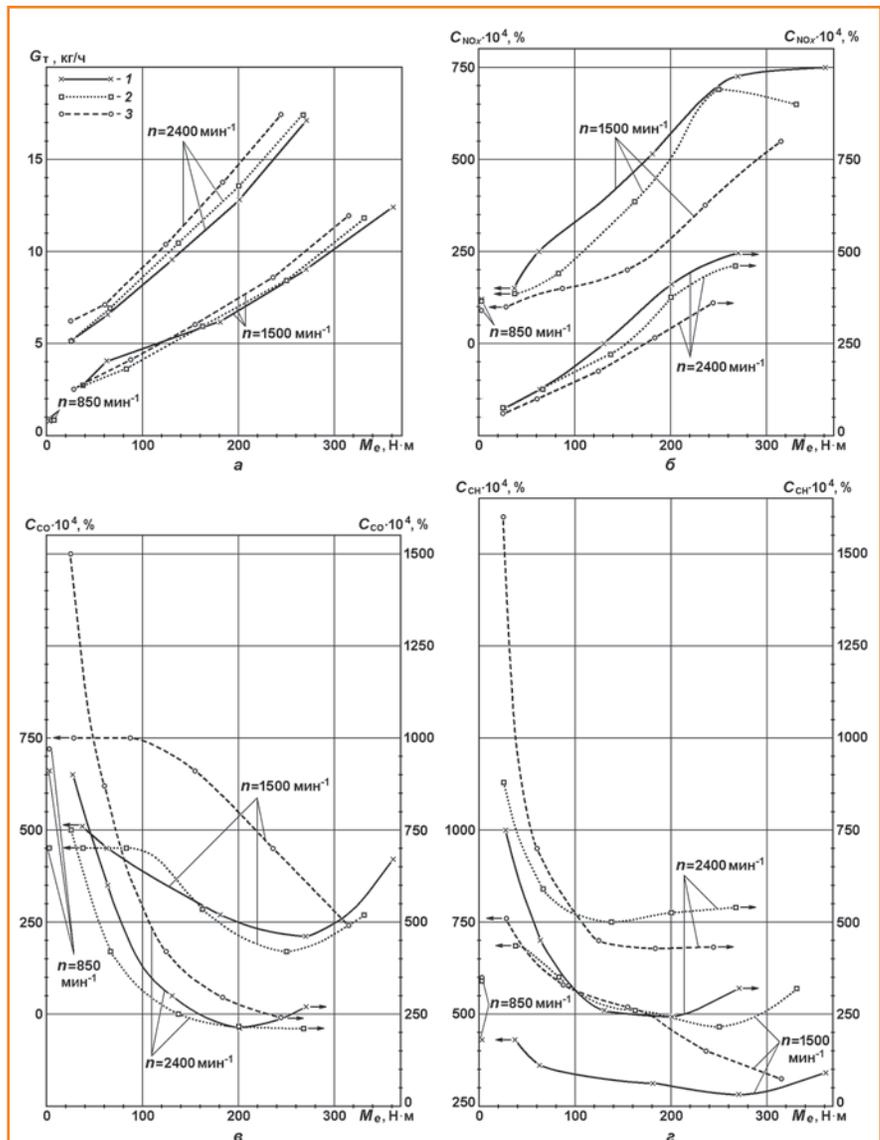


Рис. 3. Зависимость часового расхода топлива  $G_T$  (а), объемной концентрации в ОГ оксидов азота  $C_{NOx}$  (б), монооксида углерода  $C_{CO}$  (в) и несгоревших углеводородов  $C_{CH}$  (г) от частоты вращения  $n$  и эффективного крутящего момента  $M_e$  дизеля Д-245.12С: 1 – ДТ; 2 – эмульсия 92,5 % ДТ и 7,5 % воды; 3 – эмульсия 85,0 % ДТ и 15,0 % воды

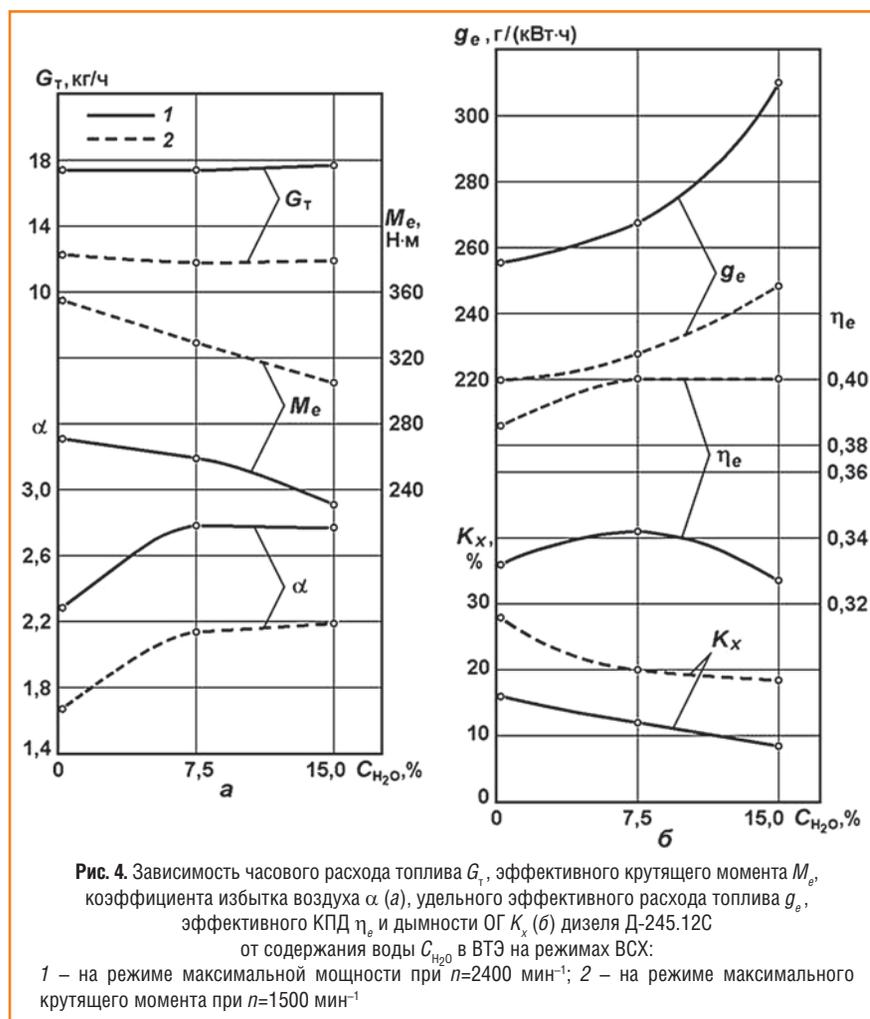
переходе от ДТ на эмульсию с содержанием воды  $C_{H_2O} = 15,0\%$  на режиме максимального крутящего момента при  $n=1500 \text{ мин}^{-1}$  дымность ОГ  $K_x$  снизилась от 28,0 до 18,0 %, а на режиме максимальной мощности при  $n=2400 \text{ мин}^{-1}$  – от 16,0 до 8,5 % по шкале Хартриджа (см. рис. 2).

На втором этапе исследований дизель Д-245.12С испытывался на режимах 13-ступенчатого цикла. Экспериментальные данные свидетельствуют о том, что при использовании ВТЭ на большинстве режимов расход топлива  $G_T$  несколько возрастал (рис. 3а). Это объясняется большей плотностью воды  $\rho=998,2 \text{ кг/м}^3$  по сравнению с плотностью ДТ  $\rho=830 \text{ кг/м}^3$  и, следовательно, большей плотностью ВТЭ.

Некоторое уменьшение часового расхода эмульгированных топлив  $G_T$  на режимах с пониженной частотой вращения и малой нагрузкой (например, на режимах с  $n=1500 \text{ мин}^{-1}$  и  $M_e$  от 40 до 100 Н·м) объясняется повышенными утечками ВТЭ, вызванными их меньшей вязкостью, и снижением объемных подач этих топлив.

Вид топлива оказывает заметное влияние на выброс с ОГ оксидов азота. Характеристики содержания в ОГ оксидов азота  $C_{NOx}$  (рис. 3б) подтверждают возможность значительного снижения эмиссии этого токсичного компонента ОГ за счет подачи воды в КС дизеля. В частности, на режиме максимального крутящего момента при  $n=1500 \text{ мин}^{-1}$  переход от ДТ на эмульсии с содержанием воды  $C_{H_2O}$  7,5 и 15,0 % привел к уменьшению  $C_{NOx}$  от 0,0750 до 0,0650 и 0,0550 %, а на режиме максимальной мощности при  $n=2400 \text{ мин}^{-1}$  – от 0,0495 до 0,0460 и 0,0360 %.

Тип топлива влияет и на эмиссию с ОГ продуктов неполного сгорания топлива – монооксида углерода СО и углеводородов СН (рис. 3в,г). На режиме максимального крутящего



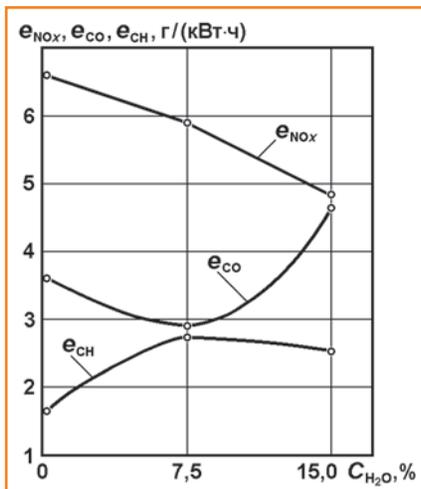
момента при  $n=1500 \text{ мин}^{-1}$  переход с ДТ на эмульсии с содержанием воды  $C_{H_2O}$  7,5 и 15,0 % сопровождается снижением  $C_{CO}$  от 0,0420 до 0,0270 и 0,0240 %. На режиме максимальной мощности при  $n=2400 \text{ мин}^{-1}$  при таком переходе на ВТЭ эмиссия монооксида углерода сначала уменьшается от 0,0270 до 0,0210 %, а затем возрастает до 0,0240 %.

Влияние вида топлива на выбросы углеводородов неоднозначно. Это подтверждается следующими данными. На режиме максимального крутящего момента при  $n=1500 \text{ мин}^{-1}$  переход от ДТ на эмульсии с содержанием воды  $C_{H_2O}$  7,5 и 15,0 % привел к изменению содержания  $C_{CH}$  от 0,0340 до 0,0570 и 0,0325 %, а на режиме максимальной мощности при  $n=2400 \text{ мин}^{-1}$  – от 0,0320 до 0,0540 и 0,0432 %.

Анализируя сводные характеристики (рис. 4) основных показателей дизеля Д-245.12С, работающего на режимах ВСХ на эмульсиях с различным содержанием воды  $C_{H_2O}$  (от 0 до 15 %), следует отметить слабую зависимость часового расхода топлива  $G_T$  от содержания воды в ВТЭ  $C_{H_2O}$ , заметное снижение крутящего момента  $M_e$  при росте  $C_{H_2O}$  от 0 до 15 % и повышение коэффициента избытка воздуха  $\alpha$  с увеличением  $C_{H_2O}$ .

При росте  $C_{H_2O}$  в ВТЭ заметно увеличивался удельный эффективный расход топлива  $g_e$ . Однако на большинстве исследованных режимов эффективный КПД дизеля  $\eta_e$  не снижался.

Переход на ВТЭ позволял заметно уменьшить выброс сажи. Так, на режимах ВСХ дымность ОГ  $K_x$  снижалась в целом на 35...50 %.



**Рис. 5.** Зависимость удельных массовых выбросов оксидов азота  $e_{NOx}$ , монооксида углерода  $e_{CO}$  и несгоревших углеводородов  $e_{CH}$  с ОГ дизеля Д-245.12С от содержания воды  $C_{H_2O}$  в ВТЭ на режимах 13-ступенчатого цикла

Оценка эксплуатационного расхода топлива на режимах 13-ступенчатого цикла проведена по среднему условному удельному эффективному расходу топлива, который определялся с использованием зависимости [3]

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

где  $G_{\tau i}$  – расход топлива, г/ч;  $N_{ei}$  – эффективная мощность на  $i$ -м режиме, кВт;  $K_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го режима (доля времени работы двигателя на этом режиме).

Поскольку ВТЭ имеют меньшую теплотворную способность (низшая теплота сгорания  $H_U$ ), топливную экономичность дизеля целесообразно оценивать не удельным эффективным расходом топлива  $g_e$ , а эффективным КПД дизеля  $\eta_e$ . При этом для интегральной оценки работы дизеля на режимах 13-ступенчатого цикла использован условный эффективный КПД, определяемый из соотношения

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

Результаты расчетов по изложенной методике подтверждают возможность заметного снижения эмиссии оксидов азота с ОГ дизеля Д-245.12С при его переводе с ДТ на ВТЭ. Так, при работе на режимах 13-ступенчатого цикла и переходе с ДТ на эмульсии с содержанием воды  $C_{H_2O}$  7,5 и 15,0 % удельный массовый выброс оксидов азота  $e_{NOx}$  уменьшился от 6,610 до 5,916 и 4,849 г/(кВт·ч), то есть в целом на 26,6 %. При этом эффективный КПД дизеля  $\eta_e$  повысился от 0,341 до 0,360 и 0,361, то есть в целом на 5,9 %. Более сложная зависимость от содержания воды в ВТЭ характерна для выбросов монооксида углерода  $e_{CO}$  и углеводородов  $e_{CH}$ . При переходе с ДТ на эмульсии с содержанием воды  $C_{H_2O}$  7,5 и 15,0 % на режимах 13-ступенчатого цикла интегральный удельный массовый выброс монооксида углерода  $e_{CO}$  сначала уменьшился от 3,612 до 2,905, а затем возрос до 4,648 г/(кВт·ч). При этом выброс углеводородов  $e_{CH}$  сначала возрос от 1,638 до 2,730, а затем снизился до 2,522 г/(кВт·ч).

Рост эффективности сгорания (эффективный КПД дизеля  $\eta_e$ ) и снижение дымности ОГ при работе на ВТЭ объясняются улучшением смесеобразования за счет возникновения так называемых микровзрывов, наблюдающихся при повышенных температурах в КС дизеля и обусловленных более высокой испаряемостью воды по сравнению с ДТ [3].

При использовании ВТЭ с большим содержанием воды возникают проблемы с организацией эффективного сгорания. В частности, при испытаниях дизеля Д-245.12С на эмульсии, содержащей 70 % ДТ и 30 % воды, не удалось организовать запуск холодного дизеля. Это объясняется недостаточной температурой на конечной стадии сжатия для стабильного самовоспламенения указанной эмульсии (эта температура

снижается за счет большой теплоты испарения ВТЭ), вследствие чего полный цикл испытаний дизеля на этой эмульсии не был закончен.

Для работы двигателя на эмульсиях с большим содержанием воды необходимо повышение температурного уровня деталей КС и рабочей смеси. Это возможно при работе на предварительно прогретом двигателе с поздней подачей топлива (работа с уменьшенным углом опережения впрыскивания топлива), увеличении давления наддувочного воздуха (без его охлаждения), рециркуляции части ОГ, теплоизоляции поверхностей деталей, образующих КС, и др.

Проведенный комплекс экспериментальных исследований подтвердил возможность и эффективность использования эмульгированных топлив в отечественных транспортных дизелях.

## Литература

1. **Марков В.А., Баширов Р.М., Габитов И.И.** Токсичность отработавших газов дизелей. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 376 с.
2. **Чертков Я.Б.** Моторные топлива. – Новосибирск: Наука, 1987. – 208 с.
3. **Марков В.А., Гайворонский А.И., Грехов Л.В., Иващенко Н.А.** Работа дизелей на нетрадиционных топливах: Учебное пособие. – М.: Изд-во «Легион-Автодата», 2008. – 464 с.
4. **Марков В.А., Девянин С.Н., Маркова В.В.** Использование подсолнечного масла в качестве топлива для дизеля // Транспорт на альтернативном топливе. – 2010. – № 5. – С. 42-47.
5. Патент на полезную модель № 104091. Деникин Э.И., Нетеса Ю.Д., Тарантин Д.С., Тарантин С.А. Устройство для осуществления физико-химических превращений в многофазной среде // Изобретения. Полезные модели. – 2011. – № 13.

## Биотоплива и другие энергоносители для колесных транспортных средств

**В.К. Азаров,**  
магистр ФГУП «НАМИ»,

**В.Ф. Кутенев,**

профессор, зам. генерального директора по научной работе ФГУП «НАМИ», д.т.н.,

**А.С. Теренченко,**

зав. лабораторией ФГУП «НАМИ», к.т.н.,

**С.В. Ягулов,**

инженер-исследователь ФГУП «НАМИ»

В статье рассматриваются проблемы современных и альтернативных топлив, а также новых энергоносителей для колесных транспортных средств (КТС). Приводятся прогнозы потребления топлив и развития силовых установок с учетом их комплексной энергоэффективности.

**Ключевые слова:** энергосбережение, энергетическая установка, эколого-экономические показатели, альтернативные топлива, энергоносители, криогенная силовая установка, возобновляемые источники энергии.

## Biofuels and other energy carriers for wheeled vehicles

V.K. Azarov, V.F. Kutenev, A.S. Terenchenko, S.V. Yagupov

The paper deals with the problems of modern and alternative fuels, as well as new energy sources for transportation in the future. Provides projections of consumption of fuels and the development of power plants based on their comprehensive energy efficiency.

**Keywords:** energy saving, power plant, environmental and economic performance, alternative fuel, energy, cryogenic power plant, renewable energy sources.

На фоне значительного роста цен на нефть проблема получения моторных топлив из возобновляемых источников энергии – одна из самых популярных тем в обсуждениях перспектив развития альтернативной энергетики на базе возобновляемых источников сырья. Однако в публикациях и высказываниях прослеживается неоднозначная оценка реальных стоимостей и возможностей альтернативных источников энергии, особенно связанных с биологическим воспроизводством, – так называемых биоресурсов.

На рис. 1 представлен прогноз потребления моторных топлив на транспорте в Российской Федерации до 2050 г.

Мировой прогноз развития производства энергетических установок для

КТС (рис. 2) обещает, что к 2020 г. около 20 %, а к 2050 г. 50...60 % производимых автомобилей будут оснащены

комбинированными энергетическими установками на базе двигателей внутреннего сгорания (КЭУ ДВС) или заменены электромобилями (КЭУ ЭМ).

При разработке новых и модернизации существующих силовых установок КТС с ДВС их производители сегодня ориентируются на создание модификаций, способных работать на различных традиционных и альтернативных жидких и газообразных топливах.

Существующие технологии производства и задачи по расширению применения альтернативных топлив для энергетических установок КТС определяются эффективностью применения этих топлив с учетом КПД энергетических установок КТС в полном жизненном цикле от производства до реального использования (рис. 3).

Сегодня в мире объемы тепловых выбросов автомобильным транспортом более чем в 2 раза превышают таковые от работы промышленных предприятий и неавтомобильного транспорта, потребляющих электроэнергию.

Установлено, что на фоне увлечения созданием водородных и альтернативных топлив (а в настоящее время – комбинированных силовых установок) в Европе, США и России потерял контроль над гипермасштабным ростом парка автомобилей с бензиновыми и дизельными двигателями, насчитывающего уже 800 млн машин в мире и 40,5 млн – в России. В результате тепловые выбросы, сопровождаемые и токсичными, достигли в мире 3,5 млрд. кВт.

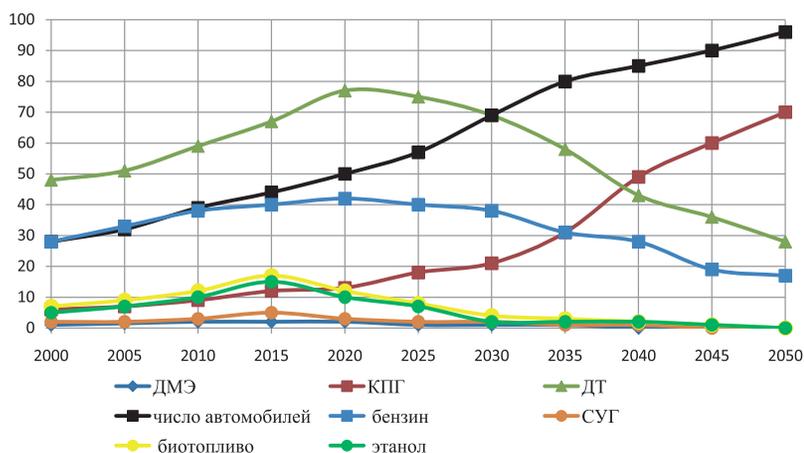


Рис. 1. Прогноз потребления моторных топлив (млн т) на транспорте (млн шт.) в РФ

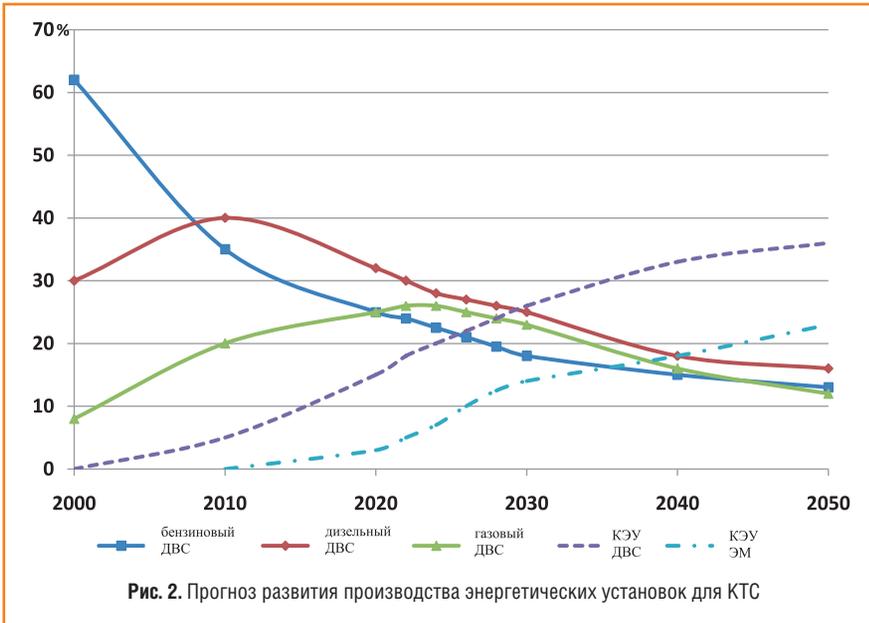


Рис. 2. Прогноз развития производства энергетических установок для КТС

В настоящее время всеми ведущими автомобильными фирмами активно проводятся научно-исследовательские и конструкторские работы по следующим направлениям:

- разработка классификации энергоносителей для колесных транспортных средств по их энергетической эффективности не только при реальной эксплуатации, но и с учетом энергозатрат на их производство и утилизацию, то есть в их полном жизненном цикле;
- совершенствование рабочих процессов ДВС для улучшения топливной экономичности и снижения токсичности двигателей, использующих традиционные и альтернативные топлива, а также работающих на водородосодержащих газах, получаемых на борту автомобиля;

- рассмотрение и анализ потенциальных возможностей снижения выбросов CO<sub>2</sub> в полном жизненном

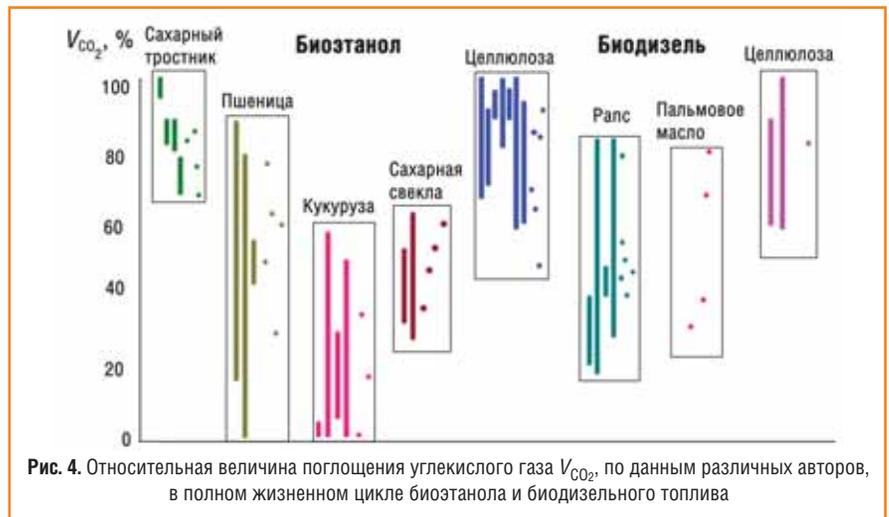


Рис. 4. Относительная величина поглощения углекислого газа  $V_{CO_2}$ , по данным различных авторов, в полном жизненном цикле биоэтанола и биодизельного топлива

цикле различных биотоплив, полученных из растительного сырья.

Однако использовать пищевые растительные продукты для производства биотоплив нецелесообразно, во-первых, из гуманных соображений, когда в мире недоедают более 2 млн человек, а во-вторых, получение биотоплив из пищевых растений менее эффективно, чем из целлюлозы (рис. 4). Следует планировать их массовое производство из отходов сельскохозяйственной деятельности, лесной промышленности и т.д.

В нашей стране в качестве одного из основных ресурсов для производства биотоплив рассматриваются неиспользуемые сельскохозяйственные земли, площади которых в России, по различным источникам, оцениваются в 18...20 млн га. Стоит отметить, что эти земли, в основном в восточных и северных регионах, – весьма нестабильный, экономически невыгодный ресурс, выведенный из оборота в

связи с его малой продуктивностью. Восстановление продуктивности этих земель – капиталоемкая и неэффективная задача. Однако потребность в сельскохозяйственной продукции растет, и этот ресурс в конечном итоге будет задействован по прямому назначению – для производства продуктов питания и кормов для скота.

Производство моторных топлив из продуктов растениеводства как любой химический процесс требует стабильности и по количеству поступающего сырья, и по временному (сезонному) фактору. Останавливать этот процесс даже на короткое время, не говоря уже о зимних месяцах, нельзя [1].



Рис. 3. Суммарный КПД (%) топлив (энергоносители) при использовании в различных ДВС: 1 – бензин; 2 – сжиженный природный газ; 3 – метанол; 4 – дизельное топливо; 5 – сжатый природный газ; 6 – ДМЭ; 7 – синтетическое дизельное топливо; 8 – сжатый водород; 9 – сжиженный водород

Показатели	Энергоноситель			
	Бензин	Водород (газ)	Электроаккумулятор (литий-ионный)	Азот (жидкий)
Возможность использования	Ограниченная	Неограниченная	Сильно ограниченная	Неограниченная
Безопасность	Взрывоопасен	Взрывоопасен	Малоопасен	Безопасен
Производство	Вредное	Вредное	Вредное	Безвредное
Утилизация	Вредная	Ограниченно вредная	Вредная	Безвредная
Потери при хранении и транспортировке, %/сут.	Менее 1	Нет	Нет	Менее 3
Промышленное производство	Освоено	Освоено	Ограниченно освоено	Освоено
Сжигание кислорода и образование примесей	Высокое	Среднее	Нет	Нет
Энергоемкость, МДж/кг	44	142	0,54	0,77
Затраты на производство, МДж/кг	18	232	12,36	1,6
Полезная работа, МДж/кг	6,6	21,3	0,432	0,42
Затраты руб./км	2	156	19,6	36

Одновременно с описанными направлениями ведется интенсивная разработка силовых установок взамен поршневому агрегату, включая поиск новых экологичных и эффективных энергоносителей.

В последние годы в качестве альтернативы разрабатывается и концепция автомобилей с энергетическими установками, работающими на криогенных жидкостях, в частности, на водороде или азоте. При этом энергия криогенной жидкости преобразуется в механическую работу при расширении в пневмомашине.

Криогенный двигатель с точки зрения локальной экологии можно считать идеальным. Он превосходит по расчетам даже электромобили при оценке энергозатрат на их производство и предотвращенного экологического ущерба при оценке по полному

жизненному циклу вследствие использования экологически чистого энергоносителя азота, имеющегося в неограниченных объемах (75 % массы воздуха) и возвращаемого обратно в атмосферу [2]. Основные сравнительные характеристики наиболее перспективных энергоносителей по предварительной оценке, сделанной в 2000-2003 гг., представлены в таблице [3].

Несмотря на очевидность принимаемых шагов многими странами (Япония, США, Китай, ЕС) по внедрению экологичных транспортных средств и наличие национальных и международных программ, в России сегодня отсутствуют региональные и федеральные программы по разработке и внедрению экологичного транспорта.

Серьезный переход на возобновляемые (солнечная, водно-ветровая

энергия) энергоносители, имеющиеся в неограниченных объемах, произойдет не ранее 2035-2040 гг., и нужно быть готовым к этому революционному переходу (рис. 5). Для объективной оценки эколого-экономических показателей перспективных энергоносителей и энергетических установок КТС необходимо вести их анализ комплексно по всем составляющим полного жизненного цикла транспортного средства.

## Литература

1. **Зленко М.А., Кутенев В.Ф., Лукшо В.А.** Ресурсы, техническая возможность и экономическая целесообразность получения и использования альтернативных топлив из биомассы сельскохозяйственного производства. Тр. НАМИ / ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ». – Вып. № 243: Производство энергии и биотоплив второго поколения из непищевой биомассы: VII Международный автомобильный научный форум (21-22.10.2009, сб. докл.) – М., 2010. – 176 с.

2. **Кутенев В.Ф., Азаров В.К., Ягулов С.В., Буриков В.С.** К вопросу об экономической целесообразности и технической возможности создания экологически чистого транспорта с нулевым выбросом вредных веществ и парниковых газов // Журнал автомобильных инженеров. – 2011. – № 1 (66). – С. 44-46.

3. **Кудрявцев И.Н., Пятак А.И. и др.** Эффективное использование пневмодвигателя в автомобиле // Альтернативная энергетика и экология. – 2005. – № 2 (22). – С. 24-27.

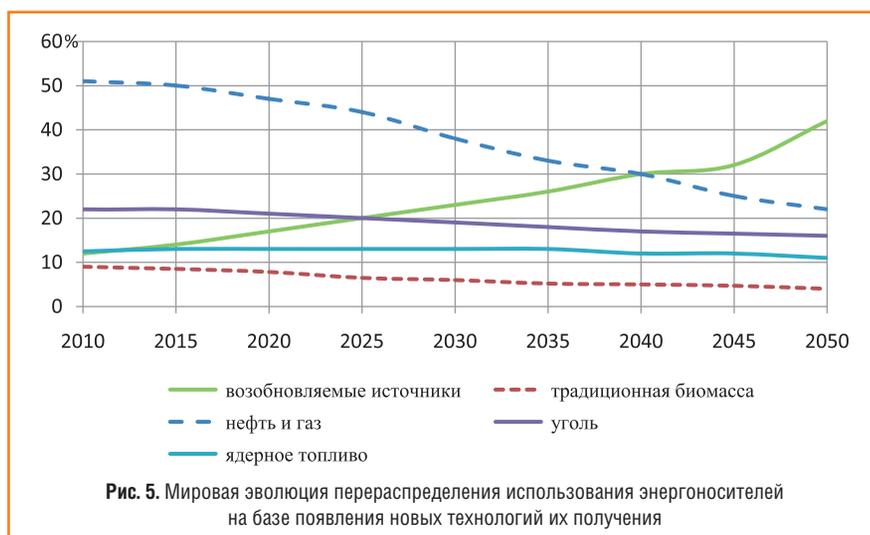


Рис. 5. Мировая эволюция перераспределения использования энергоносителей на базе появления новых технологий их получения

## Влияние этанола на процесс сгорания в цилиндре дизеля 4С 11,0/12,5

**В.А. Лиханов,**  
профессор ФГОУ ВПО «Вятская ГСХА», д.т.н.,  
**А.И. Чупраков,**  
аспирант, инженер ФГОУ ВПО «Вятская ГСХА»,  
**А.В. Зонов,**  
аспирант, инженер ФГОУ ВПО «Вятская ГСХА»,  
**И.М. Шаромов,**  
аспирант, инженер ФГОУ ВПО «Вятская ГСХА»

В статье рассматривается возможность применения этанола-топливных эмульсий в качестве альтернативного топлива для дизелей. Статья содержит данные исследований, проведенных на базе кафедры двигателей внутреннего сгорания Вятской ГСХА на дизеле Д-240 при работе на этанола-топливной эмульсии, приведены показатели процесса сгорания на этанола-топливной эмульсии.

**Ключевые слова:** дизель, этанол, этанола-топливная эмульсия, процесс сгорания.

## The influence of application on process of combustion of a diesel engine 4С 11,0/12,5

**V.A. Likhonov, A.I. Chuprakov, A.V. Zonov, I.M. Sharomov**

In article considers a possibility of the using ethanol-fuel emulsion as alternative fuel for diesels. The article contains the data of the research carried out at the department of internal combustion engines of Vyatka SAA on diesel D-240 when functioning on ethanol-fuel emulsion. Process of combustion of the diesel on ethanol-fuel emulsion are given.

**Keywords:** diesel, ethanol, ethanol-fuel emulsion, process of combustion.

**З**а последние три десятилетия потребление продуктов нефтяной промышленности выросло в разы. Возобновление этого сырья невозможно ввиду длительного образования углеводородов в естественных условиях. Данная проблема решается экономией или заменой принятых нефтепродуктов на источники энергии из возобновляемого сырья. К ним относятся прежде всего спирты, которые могут быть получены из отходов деревообрабатывающей, химической и пищевой отраслей

промышленности. В дизелях возможно применение эмульсий, содержащих простейшие спирты. Этаноло-топливная эмульсия (ЭТЭ) позволяет экономить нефтяные топлива и снижать эмиссию вредных веществ в отработавших газах.

Для изучения процесса сгорания при применении ЭТЭ на базе кафедры ДВС Вятской ГСХА проведены стендовые испытания дизеля 4С 11,0/12,5 ряда Д-240. По результатам построены графики влияния применения ЭТЭ на показатели сгорания и тепловыделения в

зависимости от изменения установочного угла опережения впрыска топлива (УОВТ).

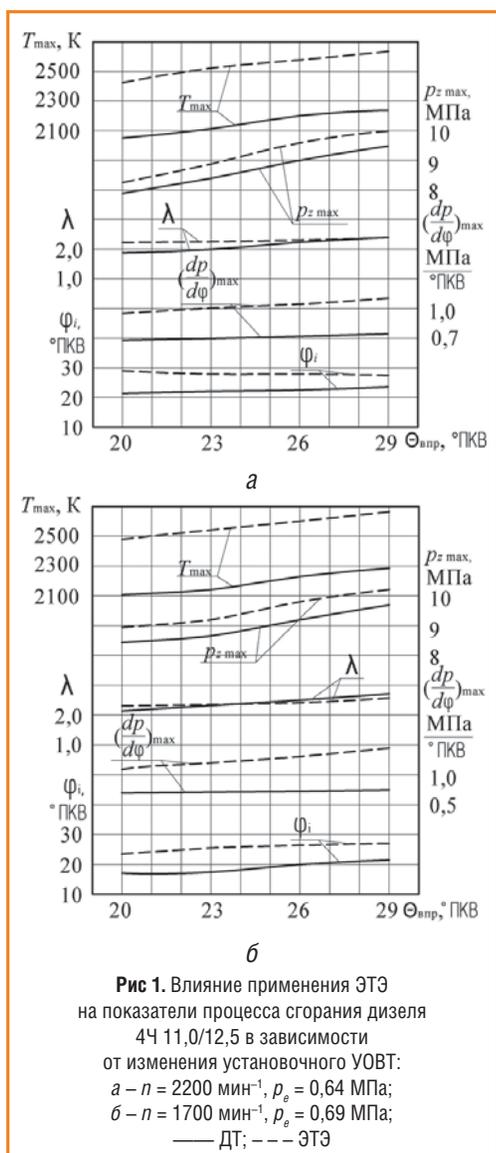
Анализируя графики показателей процесса сгорания (рис. 1а) на номинальном режиме при работе на ДТ, можно сделать следующие выводы. Максимальная усредненная температура газов в цилиндре дизеля  $T_{\max}$  при установочном УОВТ  $\Theta_{\text{впр ДТ}} = 20^\circ$  составляет 2076 К.

При увеличении установочного УОВТ до  $\Theta_{\text{впр ДТ}} = 23^\circ$  температура  $T_{\max}$  повышается до 2115 К, то есть на 39 К или на 1,9 %. Если  $\Theta_{\text{впр ДТ}}$  увеличивается до  $26^\circ$   $T_{\max}$  повышается до 2199 К, то есть на 84 К или 4,0 %. При  $\Theta_{\text{впр ДТ}} = 29^\circ$  температура  $T_{\max} = 2240$  К, то есть увеличение составляет 41 К или 1,9 %.

Максимальное давление сгорания  $p_{z \max}$  при  $\Theta_{\text{впр ДТ}} = 20^\circ$  равно 7,9 МПа. При увеличении  $\Theta_{\text{впр ДТ}}$  до  $23^\circ$  давление  $p_{z \max}$  повышается до 8,4 МПа, то есть на 0,5 МПа или 6,3 %. При  $\Theta_{\text{впр ДТ}} = 26^\circ$  этот показатель возрастает до 9,0 МПа, то есть на 0,6 МПа или 7,1 %. При увеличении  $\Theta_{\text{впр ДТ}}$  до  $29^\circ$  давление  $p_{z \max}$  повышается до 9,5 МПа, то есть на 0,5 МПа или 5,6 %.

Степень повышения давления  $\lambda$  при  $\Theta_{\text{впр ДТ}} = 20^\circ$  составляет 1,88. При  $\Theta_{\text{впр ДТ}} = 23^\circ$  значение  $\lambda$  повышается на 0,12 до 2,00. При увеличении  $\Theta_{\text{впр ДТ}}$  до  $26^\circ$  значение  $\lambda$  повышается на 12,0 % до 2,24. При увеличении  $\Theta_{\text{впр ДТ}}$  до  $29^\circ$  значение  $\lambda$  возрастает на 8,0 % до 2,42.

При анализе графиков работы дизеля 4С 11,0/12,5 можно отметить, что показатели сгорания при работе на ЭТЭ увеличиваются по сравнению с аналогичными показателями при работе на ДТ. При установочном УОВТ  $\Theta_{\text{впр}} = 23^\circ$  при переходе с ДТ на ЭТЭ происходят следующие изменения:  $T_{\max}$  повышается от 2115 до 2511 К, то есть на 396 К или 16,9 %;  $p_{z \max}$  растет от 8,4 до 8,9 МПа, то есть на 0,5 МПа или 6,0 %; степень повышения давления  $\lambda$  возрастает от 2,00 до 2,26 или на 0,26; значение  $(dp/d\varphi)_{\max}$



изменяется от 0,70 до 1,01 МПа/°ПКВ, то есть на 44,3 %; угол  $\phi_i$  – от 22,0 до 28,0 °ПКВ или на 6,0 °ПКВ.

При установочном УОВТ  $\Theta_{впр} = 26^\circ$  при переходе с ДТ на ЭТЭ наблюдаются следующие изменения: температура  $T_{max}$  повышается от 2199 до 2575 К, то есть на 376 К; давление  $p_{z\ max}$  увеличивается от 9,0 до 9,6 МПа, то есть на 0,6 МПа; значение  $\lambda$  растет от 2,24 до 2,31 или на 0,07; значение  $(dp/d\phi)_{max}$  увеличивается от 0,72 до 1,05 МПа/°ПКВ, то есть на 0,33; угол  $\phi_i$  – от 22,5 до 28,0 °ПКВ или на 5,5 °ПКВ.

Анализируя графики показателей процесса сгорания на номинальном режиме при работе на ДТ (рис. 16), можно сделать следующие выводы. Максимальная

усредненная температура газов в цилиндре дизеля  $T_{max}$  при установочном УОВТ  $\Theta_{впр\ ДТ} = 20^\circ$  составляет 2103 К. При увеличении установочного УОВТ до  $\Theta_{впр\ ДТ} = 23^\circ$  температура  $T_{max}$  повышается до 2145 К, то есть на 42 К. При  $\Theta_{впр\ ДТ} = 26^\circ$   $T_{max}$  повышается на 85 К до 2230 К. При увеличении  $\Theta_{впр\ ДТ}$  до  $29^\circ$   $T_{max}$  увеличивается до 2285 К, то есть на 55 К.

Максимальное давление сгорания  $p_{z\ max}$  при  $\Theta_{впр\ ДТ} = 20^\circ$  составляет 8,5 МПа и повышается на 0,2 МПа до 8,7 МПа при увеличении  $\Theta_{впр\ ДТ}$  до  $23^\circ$ . При  $\Theta_{впр\ ДТ} = 26^\circ$  давление  $p_{z\ max}$  растет до 9,2 МПа, а при  $\Theta_{впр\ ДТ} = 29^\circ$  становится равным 9,7 МПа, то есть в обоих случаях рост составляет 0,5 МПа. Степень повышения давления  $\lambda$  при  $\Theta_{впр\ ДТ} = 20^\circ$  составляет 2,15. При  $\Theta_{впр\ ДТ} = 23^\circ$  значение  $\lambda$  повышается на 0,18 до 2,33, а при увеличении  $\Theta_{впр\ ДТ} = 26^\circ$  – до 2,51, то есть на ту же величину. При  $\Theta_{впр\ ДТ} = 29^\circ$  значение  $\lambda = 2,72$ , то есть увеличение составляет 0,21.

При  $\Theta_{впр\ ДТ} = 20^\circ$   $(dp/d\phi)_{max}$  равно 0,71 МПа/°ПКВ. При увеличении  $\Theta_{впр\ ДТ}$  до  $23^\circ$  значение  $(dp/d\phi)_{max}$  повышается до 0,73 МПа/°ПКВ, то есть на 0,02 МПа/°ПКВ, а при  $\Theta_{впр\ ДТ} = 26^\circ$  – до 0,74 МПа/°ПКВ, то есть на 0,01 МПа/°ПКВ. Если  $\Theta_{впр\ ДТ} = 29^\circ$  значение  $(dp/d\phi)_{max}$  возрастает на 0,02 до 0,76 МПа/°ПКВ.

Угол  $\phi_i$  при  $\Theta_{впр\ ДТ} = 20^\circ$  составляет 17,0 °ПКВ. При увеличении  $\Theta_{впр\ ДТ}$  до  $23^\circ$  угол  $\phi_i$  равен 17,5 °ПКВ и повышается до 20,0 °ПКВ (на 2,5 °ПКВ) при  $\Theta_{впр\ ДТ} = 26^\circ$ . При  $\Theta_{впр\ ДТ} = 29^\circ$  угол  $\phi_i$  увеличивается до 21,5 °ПКВ, то есть на 1,5 °ПКВ.

При анализе графиков работы дизеля 4С 11,0/12,5 на режиме максимального крутящего момента можно отметить, что показатели процесса сгорания при работе на ЭТЭ увеличиваются по сравнению с работой на ДТ, а также сходны с

показателями номинального режима. Максимальная усредненная температура газов в цилиндре  $T_{max}$  при установочном УОВТ  $\Theta_{впр\ ЭТЭ} = 20^\circ$  составляет 2480 К. При увеличении установочного УОВТ до  $\Theta_{впр\ ЭТЭ} = 23^\circ$   $T_{max}$  повышается до 2542 К, то есть на 62 К, а при  $\Theta_{впр\ ЭТЭ} = 26^\circ$  – повышается до 2603 К, то есть на 61 К. При увеличении  $\Theta_{впр\ ЭТЭ}$  до  $29^\circ$  она увеличивается до 2658 К, то есть на 55 К.

Максимальное давление сгорания  $p_{z\ max}$  при  $\Theta_{впр\ ЭТЭ} = 20^\circ$  составляет 9,0 МПа и повышается до 9,2 МПа (на 0,2 МПа) при  $\Theta_{впр\ ЭТЭ} = 23^\circ$ . При увеличении  $\Theta_{впр\ ЭТЭ}$  до  $26^\circ$  давление  $p_{z\ max}$  повышается до 9,8 МПа, то есть на 0,6 МПа, и достигает 10,2 МПа (рост на 0,4 МПа) при увеличении  $\Theta_{впр\ ЭТЭ}$  до  $29^\circ$ .

Степень повышения давления  $\lambda$  при  $\Theta_{впр\ ЭТЭ} = 20^\circ$  составляет 2,31, а при  $\Theta_{впр\ ЭТЭ} = 23^\circ$  достигает 2,36. При увеличении  $\Theta_{впр\ ЭТЭ}$  до  $26^\circ$  значение  $\lambda$  повышается до 2,43 и возрастает до 2,58 при  $\Theta_{впр\ ЭТЭ} = 29^\circ$ .

Значение  $(dp/d\phi)_{max}$  при  $\Theta_{впр\ ЭТЭ} = 20^\circ$  составляет 1,12 МПа/°ПКВ и повышается до 1,19 МПа/°ПКВ при увеличении  $\Theta_{впр\ ЭТЭ}$  до  $23^\circ$ . Затем оно растет до 1,31 МПа/°ПКВ при увеличении  $\Theta_{впр\ ЭТЭ}$  до  $26^\circ$  и достигает 1,45 МПа/°ПКВ при  $\Theta_{впр\ ЭТЭ} = 29^\circ$ .

Угол  $\phi_i$  при  $\Theta_{впр\ ЭТЭ} = 20^\circ$  составляет 23,5 °ПКВ. При увеличении  $\Theta_{впр\ ЭТЭ}$  до  $23^\circ$  угол  $\phi_i$  повышается до 25,5 °ПКВ, растет до 26,5 °ПКВ ( $\Theta_{впр\ ЭТЭ} = 26^\circ$ ) и достигает 27,0 °ПКВ ( $\Theta_{впр\ ЭТЭ} = 29^\circ$ ), то есть увеличивается на 1,0 и 0,5 °ПКВ соответственно.

Сравнивая графики работы дизеля 4С 11,0/12,5 на двух видах топлива, можно отметить, что показатели процесса сгорания при работе на ЭТЭ увеличиваются по сравнению с работой на ДТ. При установочном УОВТ  $\Theta_{впр} = 23^\circ$  при переходе с ДТ на ЭТЭ наблюдаются следующие закономерности: температура  $T_{max}$  повышается от 2145 до 2542 К, то есть на 397 К; давление  $p_{z\ max}$  растет от 8,7 до 9,2 МПа, то есть на 0,5 МПа; степень

повышения давления  $\lambda$  возрастает от 2,33 до 2,36; значение  $(dp/d\varphi)_{\max}$  повышается от 0,73 до 1,19 МПа/°ПКВ, то есть увеличивается на 0,46 МПа/°ПКВ; угол  $\varphi_i$  повышается от 17,5 до 25,5 °ПКВ или на 8,0 °ПКВ.

Сравнивая графики работы дизеля 4С 11,0/12,5 на двух топливах, можно отметить рост значения характеристик тепловыделения при работе на альтернативном топливе по сравнению с работой на ДТ (рис. 2а). При оптимальном установочном УОВТ  $\Theta_{\text{впр}} = 23^\circ$  при переходе с ДТ на ЭТЭ наблюдаются следующие закономерности: значение  $\varphi_{T_{\max}}$  увеличивается от 7,0 до 11,5 °ПКВ после ВМТ, то есть на 4,5 °ПКВ; значение активного тепловыделения  $\chi_{i Pz \max}$  – от 0,60 до 0,68, то есть

на 0,02; значение  $\chi_{i T_{\max}}$  повышается от 0,70 до 0,76, то есть на 0,06;  $(d\chi/d\varphi)_{\max}$  возрастает от 0,097 до 0,161, то есть на 66,0 %.

При анализе графиков тепловыделения дизеля при работе на ДТ на режиме максимального крутящего момента (см. рис. 2б) можно сделать следующие выводы.

Угол  $\varphi_{T_{\max}}$ , соответствующий максимальной температуре цикла, при установочном УОВТ  $\Theta_{\text{впр ДТ}} = 20^\circ$  составляет 5,0 °ПКВ после ВМТ. При  $\Theta_{\text{впр ДТ}} = 23^\circ$  значение  $\varphi_{T_{\max}}$  снижается до 3,0 °ПКВ после ВМТ, то есть на 2,0 °ПКВ. При увеличении  $\Theta_{\text{впр ДТ}}$  до 26° значение  $\varphi_{T_{\max}}$  снижается до 2,5 °ПКВ после ВМТ, то есть на 0,5 °ПКВ. При увеличении  $\Theta_{\text{впр ДТ}}$  до 29° значение  $\varphi_{T_{\max}}$  снижается до 1,5 °ПКВ после ВМТ, то есть на 2,5 °ПКВ.

Активное выделение теплоты  $\chi_{i Pz \max}$ , соответствующее максимальному давлению сгорания, при  $\Theta_{\text{впр ДТ}} = 20^\circ$  составляет 0,63. При увеличении  $\Theta_{\text{впр ДТ}}$  до 23° этот показатель повышается до 0,65, при  $\Theta_{\text{впр ДТ}} = 26^\circ$  – до 0,67. При  $\Theta_{\text{впр ДТ}} = 29^\circ$  значение  $\chi_{i Pz \max}$  достигает 0,68. Активное тепловыделение  $\chi_{i T_{\max}}$ , соответствующее максимальной температуре цикла, при  $\Theta_{\text{впр ДТ}} = 20^\circ$  составляет 0,69 и повышается до 0,73 при увеличении  $\Theta_{\text{впр ДТ}}$  до 23°, а при увеличении  $\Theta_{\text{впр ДТ}}$  до 26° этот параметр повышается до 0,78. При  $\Theta_{\text{впр ДТ}} = 29^\circ$  значение  $\chi_{i T_{\max}}$  равно 0,80.

Значение максимума скорости активного тепловыделения  $(d\chi/d\varphi)_{\max}$  при  $\Theta_{\text{впр ДТ}} = 20^\circ$  составляет 0,110. При увеличении  $\Theta_{\text{впр ДТ}}$  до 23° этот показатель снижается до 0,106. При увеличении  $\Theta_{\text{впр ДТ}}$  до 26° его значение снижается до 0,098, а при  $\Theta_{\text{впр ДТ}} = 29^\circ$  значение  $(d\chi/d\varphi)_{\max}$  составляет 0,085.

Анализ характеристик тепловыделения дизеля 4С 11,0/12,5 при работе на

ЭТЭ позволяет сделать следующие выводы.

Угол  $\varphi_{T_{\max}}$  при установочном УОВТ  $\Theta_{\text{впр ЭТЭ}} = 20^\circ$  составляет 10,0 °ПКВ после ВМТ. При увеличении установочного УОВТ до  $\Theta_{\text{впр ЭТЭ}} = 23^\circ$  значение  $\varphi_{T_{\max}}$  снижается до 8,0 °ПКВ после ВМТ, то есть на 2,0 °ПКВ. При  $\Theta_{\text{впр ЭТЭ}} = 26^\circ$  значение  $\varphi_{T_{\max}}$  снижается до 6,5 °ПКВ после ВМТ, то есть на 1,5 °ПКВ. При увеличении  $\Theta_{\text{впр ЭТЭ}}$  до 29° значение  $\varphi_{T_{\max}}$  снижается до 3,5 °ПКВ после ВМТ, то есть на 3,0 °ПКВ.

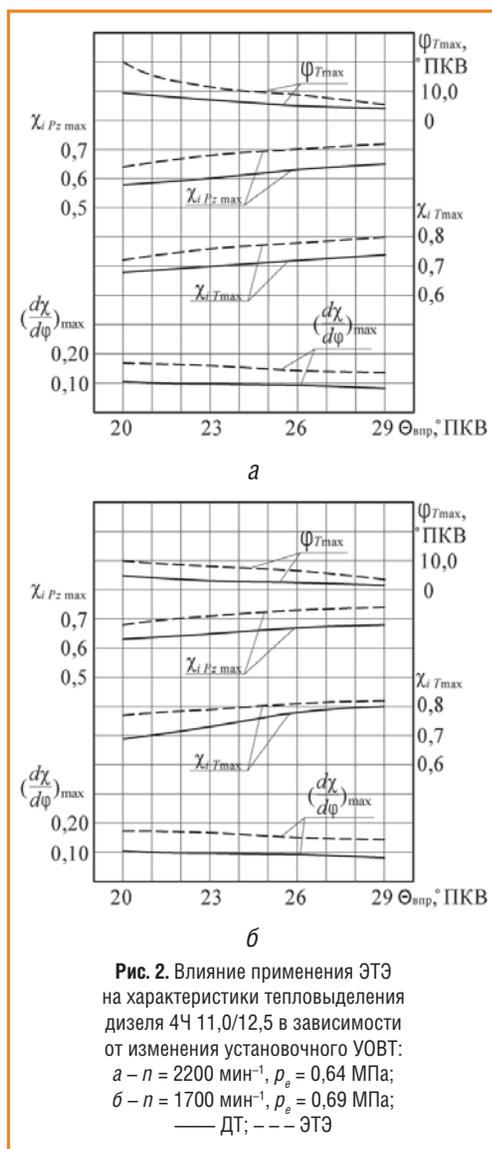
Значение  $\chi_{i Pz \max}$  при  $\Theta_{\text{впр ЭТЭ}} = 20^\circ$  составляет 0,68. При увеличении  $\Theta_{\text{впр ЭТЭ}}$  до 23° этот параметр повышается до 0,71, при  $\Theta_{\text{впр ЭТЭ}} = 26^\circ$  он возрастает до 0,73. При увеличении  $\Theta_{\text{впр ЭТЭ}}$  до 29° значение  $\chi_{i Pz \max}$  повышается до 0,74.

Значение  $\chi_{i T_{\max}}$  при  $\Theta_{\text{впр ЭТЭ}} = 20^\circ$  составляет 0,77. При увеличении  $\Theta_{\text{впр ЭТЭ}}$  до 23° этот параметр возрастает до 0,79, а при  $\Theta_{\text{впр ЭТЭ}} = 26^\circ$  он повышается до 0,81. При увеличении  $\Theta_{\text{впр ЭТЭ}}$  до 29° значение  $\chi_{i T_{\max}}$  повышается до 0,82.

Значение  $(d\chi/d\varphi)_{\max}$  при  $\Theta_{\text{впр ЭТЭ}} = 20^\circ$  составляет 0,172. С увеличением  $\Theta_{\text{впр ЭТЭ}}$  до 23° значение  $(d\chi/d\varphi)_{\max}$  снижается до 0,168 и до 0,151 при  $\Theta_{\text{впр ЭТЭ}} = 26^\circ$ . При  $\Theta_{\text{впр ЭТЭ}} = 29^\circ$  значение  $(d\chi/d\varphi)_{\max}$  достигает 0,143.

При сравнении графиков работы дизеля 4С 11,0/12,5 на двух видах топлива можно отметить, что значения характеристик тепловыделения при работе на ЭТЭ несколько увеличиваются по сравнению с работой на ДТ. При установке оптимального УОВТ  $\Theta_{\text{впр}} = 23^\circ$  и переходе с ДТ на ЭТЭ можно выделить следующие закономерности: значение  $\varphi_{T_{\max}}$  повышается от 3,0 до 8,0 °ПКВ после ВМТ, то есть на 5,0 °ПКВ; значение  $\chi_{i Pz \max}$  увеличивается на 0,06 от 0,65 до 0,71; параметр  $\chi_{i T_{\max}}$  повышается от 0,73 до 0,79, то есть на 0,06; значение  $(d\chi/d\varphi)_{\max}$  возрастает от 0,106 до 0,168, то есть на 0,062.

Таким образом, при переводе дизеля на ЭТЭ сохраняются закономерности показателей процесса сгорания и тепловыделения.



## Авторы статей в журнале № 3 (27) 2012 г.

**Аджиев Али Юсупович,**

советник генерального директора ОАО  
НИПИГазпереработка», главный научный сотрудник,  
e-mail: AYAdzhiev@nipigas.ru

**Азаров Вадим Константинович,**

магистр ФГУП «НАМИ»,  
м.т. 8 915 137-07-86

**Александров Игорь Константинович,**

д.т.н., профессор, зав. кафедрой ГОУ ВПО Вологодский  
государственный технический университет,  
Вологда, 3 Интернационала, д. 5-80,  
м.т. 8 921 714-91-40, e-mail: alex@mh.vstu.edu.ru

**Астановский Дмитрий Львович,**

президент ООО «ФАСТ ИНЖИНИРИНГ М», к.т.н.,  
м.т. 8 916 623-58-62

**Барабанов Андрей Александрович,**

директор производства оборудования для СУГ ОАО  
«Промприбор»,  
Россия, 303858, Орловская обл., г. Ливны, ул. Мира, 40,  
т. (48677) 3-15-07, м.т. 8 910 300-61-09,  
e-mail: a.barabanov@prompribor.ru

**Бащенко Наталья Сергеевна,**

зав. группой технологического отдела ОАО  
«НИПИГазпереработка», e-mail: NSBAschenko@nipigas.ru

**Блянкинштейн Игорь Михайлович,**

к.т.н., доцент кафедры транспорта Сибирского  
федерального университета,  
адрес: 660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 79.  
Тел.: 8 913-529-36-47, e-mail: blyankinstein@mail.ru

**Бочкарев Сергей Васильевич,**

д.т.н., профессор Пермского ГТУ,  
тел./факс (342) 2391200, м.т. 8 912 881-00-77,  
e-mail: bochkarev@msa.pstu.ru

**Воеводин Евгений Сергеевич,**

к.т.н., доцент кафедры транспорта Сибирского  
федерального университета,  
адрес: 660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 79.  
Тел. 8 913-191-80-95, e-mail: ves\_1981@mail.ru

**Вольнов Юрий Николаевич,**

начальник технического отдела, помощник технического  
директора ОАО «Гипрониюгаз»,  
раб. тел. (8452) 74-95-71, 410000, Саратов, проспект  
Кирова, 54, ОАО «Гипрониюгаз»,  
научно-исследовательская часть.

**Гордеева Роза Петровна,**

консультант по проектированию, строительству и  
эксплуатации объектов СУГ ОАО «Гипрониюгаз»,  
технический директор ООО «Еврогалс»,  
раб. тел. (8452) 27-10-49, 72-17-40,  
410000, Саратов, проспект Кирова, 54,  
ОАО «Гипрониюгаз», научно-исследовательская часть

**Григорьев Сергей Александрович,**

начальник лаборатории Федерального государственного  
бюджетного учреждения «Национальный  
исследовательский центр «Курчатовский институт»,  
123182, Москва, пл. Академика Курчатова, 1,  
тел.: 8 499 196 94 44, 8 905 736-56-20,  
e-mail: grig@hepti.kiae.ru или  
sergei\_grigoriev@yahoo.com

**Гуров Михаил Николаевич,**

зав. лабораторией МГУПИ, м.т. 8 926 764-94-89

**Девянин Сергей Николаевич,**

доктор технических наук, заведующий кафедрой  
«Тракторы и автомобили» Московского государственного  
агроинженерного университета им. В.П. Горячкина  
(МГАУ им. В.П. Горячкина), м.т. 8 917 51-96-394

**Друзьякин Игорь Георгиевич,**

к.т.н., доцент кафедры «Микропроцессорные  
средства автоматизации» Пермского национального  
исследовательского политехнического университета,  
614990, г. Пермь, Комсомольский проспект, д. 29,  
р.т. (8342) 239-12-00; м.т. 8 919 488-05-26;  
e-mail: druzak@msa.pstu.ru

**Зайцев Вячеслав Петрович,**

генеральный директор ОАО «Интервиагаз»,  
действительный член Российской академии  
космонавтики им. К.Э. Циолковского,  
тел.: 8 (903) 700-61-21

**Зонов Антон Васильевич,**

аспирант, инженер кафедры ДВС ФГОУ ВПО «Вятская  
государственная сельскохозяйственная академия»,  
610017, г. Киров, Октябрьский проспект, 133,  
м.т. 8 (912) 366-12-72, р.т. 8 (8332) 67-54-90

**Кириллов Николай Геннадьевич,**

профессор, старший научный сотрудник Военного  
инженерно-технического института (ВИТИ),  
заслуженный изобретатель РФ, д.т.н.,  
Россия, 191123, г. Санкт-Петербург, ул. Захарьевская,  
д. 22, тел. (812) 272-95-15, факс (812) 272-95-15,  
м.т. 8 911-950-83-26, e-mail: kirillov\_ng@mail.ru

**Ковалев Игорь Евгеньевич,**

заместитель директора ФГУП «ЦАГИ», д.т.н.,  
тел.: (495) 556-42-05.

**Кутнев Вадим Федорович,**

д.т.н., профессор, заместитель генерального директора  
по научной работе ФГУП «НАМИ», тел: (495) 456-40-60

**Лазарев Александр Николаевич,**

к.т.н., доцент, начальник Военного инженерно-  
технического института (ВИТИ),  
Россия, 191123, г. Санкт-Петербург, ул. Захарьевская,  
д. 22, академик Международной академии  
изобретательства,  
тел. (812) 272-95-15, факс (812) 272-95-15;  
e-mail: Lazarevalnik@yandex.ru

**Лиханов Виталий Анатольевич,**

д.т.н., академик РАТ, профессор, заведующий  
кафедрой ДВС ФГОУ ВПО «Вятская государственная  
сельскохозяйственная академия»,  
610017, г. Киров, Октябрьский проспект, 133,  
р.т. 8 (8332) 57-43-07

**Лозовецкий Вячеслав Владимирович,**

д.т.н., профессор, Московский государственный  
университет леса. 141018 Мытищи,  
Московская область, ул. Летная, д. 23, кв. 123.  
Тел. 581-41-26; e-mail: lozovetsky@mail.ru

**Маврицкий Владимир Иванович,**

начальник НИО-10 ФГУП «ЦАГИ», к.т.н.,  
тел.: (495) 556-49-49

**Марков Владимир Анатольевич,**

профессор Московского государственного  
технического университета им. Н.Э. Баумана  
(МГТУ им. Н.Э. Баумана), д.т.н.,  
моб. тел. 8 917 584-49-54, р.т. (499) 263 69 18

**Мартirosян Ашот Аркадьевич,**

инженер МГТУ им. Н.Э. Баумана, к.т.н.,  
р.т. (499) 263-69-17

**Московкин Виктор Владимирович,**

д.т.н., профессор, главный научный сотрудник НАМИ,  
ведущий научный сотрудник НИИАТ, профессор МГУПИ,  
тел. 574-71-48, м.т. 8 910 425-53-08

**Недлин Михаил Самуилович,**

зам. генерального директора ОАО «Гипрониюгаз», к.э.н.,  
тел. (8452) 74-94-55

**Пелевин Федор Викторович,**

профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана, д.т.н.,  
м.т. 8 916 014-28-43

**Порожняков Сергей Александрович,**

заместитель начальника лаборатории Центра  
использования газа, ООО «Газпром ВНИИГАЗ»,  
р.т. (495) 719 21 52,  
e-mail: s.porozhnyakov@gazprom.ru

**Пронин Евгений Николаевич,**

заместитель начальника Управления – начальник отдела  
использования газа в качестве моторного топлива ОАО  
«Газпром»; руководитель исследовательской группы 5.3

Международного газового союза, исполнительный

директор НГА,

ул. Наметкина, д. 16, Москва, В-420, ГСП-7, р.т. 719-14-81,  
e-mail: E.Pronin@adm.gazprom.ru

**Пуртов Павел Анатольевич,**

генеральный директор ОАО «НИПИГазпереработка»,  
тел. (861) 238 60 61, e-mail: PAPurtov@nipigas.ru

**Скворцова Мария Александровна,**

дизайнер ОАО «МЕРА-НН», аспирант  
Нижегородского государственного технического  
университета им. П.Е. Алексеева,  
тел. 8 905 013-13-61, e-mail: maryskvortsova@rambler.ru

**Скрипко Леонид Александрович,**

инженер-электротехник Московского автомобильно-  
дорожного института (МАДИ), к.т.н., тел. (495) 589-84-17,  
e-mail: leonid-skrpiko@yandex.ru

**Солнцев Алексей Александрович,**

к.т.н., доцент, декан факультета Автомобильный  
транспорт Московского автомобильно-дорожного  
государственного технического университета (МАДИ),  
м.т. 8 (495) 764-52-23

**Статкевич Игорь Викторович,**

аспирант Российского государственного университета  
туризма и сервиса, м.т. 8 916 391-29-83

**Тарантин Сергей Анатольевич,**

аспирант кафедры «Теплофизика» МГТУ им. Н.Э.  
Баумана, р.т. (499) 263-69-18

**Теренченко Алексей Станиславович,**

заведующий лабораторией ФГУП «НАМИ», к.т.н.,  
р.т. (495) 454-01-91

**Тихомиров Станислав Александрович,**

руководитель отдела технической экспертизы  
ООО «Финанс-оценка», аспирант кафедры  
Нижегородского государственного технического  
университета им. П.Е. Алексеева,  
тел. 8 950 620-92-96, e-mail: adolfsax@yandex.ru

**Хренков Николай Вальтерович,**

заместитель директора Института национальной  
энергетики, р.т. (495) 718-67-13

**Худяков Дмитрий Александрович,**

магистрант кафедры транспорта Сибирского  
федерального университета,  
адрес: 660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 79.  
Тел.: 8 962-071-86-52, e-mail: scr.88@mail.ru

**Цаплин Алексей Иванович,**

д.т.н., декан факультета Пермского ГТУ, профессор,  
р.т. (342) 219-82-12, м.т. 8 902 801-20-83,  
e-mail: tai@pstu.ru

**Черкина Вера Михайловна,**

доцент Российского государственного университета  
туризма и сервиса, м.т. 8 915 362-17-49

**Черняк Сергей Вадимович,**

изобретатель, Москва, м.т. 8 916 737-10-72

**Чупраков Андрей Иванович,**

аспирант, инженер кафедры ДВС ФГОУ ВПО «Вятская  
государственная сельскохозяйственная академия»,  
610017, г. Киров, Октябрьский проспект, 133,  
м.т. 8 (922) 900-32-98, р.т. 8 (8332) 67-54-90

**Шаромов Иван Михайлович,**

аспирант, инженер кафедры ДВС ФГОУ ВПО «Вятская  
государственная сельскохозяйственная академия»,  
610017, г. Киров, Октябрьский проспект, 133,  
м.т. 8 (922) 915-29-07, р.т. 8 (8332) 67-54-90

**Шумовский Владимир Алексеевич,**

аспирант кафедры «Теплофизика»  
МГТУ им. Н.Э. Баумана, р.т. (499) 263-69-18

**Ягупов Сергей Вячеславович,**

инженер исследователь ФГУП «НАМИ»,  
р.т. (495) 456-31-97, e-mail: Sergey.Yagupov@nami.ru

**Янченко Виктор Степанович,**

доцент Брянской государственной инженерно-  
технологической академии, к.т.н.,  
241037, Брянск, пр. Станке-Димитрова, 3,  
тел.: 8 (4832) 74 05 13, e-mail: vsy50@mail.ru

## Contributors to journal issue No. 3 (27) 2012

### Azhiev Aly Y.,

Advisor of JSC «NIPGaspererabotka» General Director,  
Chief Research Scientist,  
e-mail: AYAzhiev@nipigas.ru

### Alexandrov Igor K.,

PhD. Tekhn. Sciences, professor of Technical University  
(Vologda), phone: + 7 921 714-91-40,  
e-mail: alex@mh.vstu.edu.ru

### Astanovsky Dmitry L.,

Ph.D., president of «FAST ENGINEERING M», Ltd.,  
phone: +7 916 623-58-62

### Azarov Vadim K.,

master of NAMI, phone: +7 915 137-07-86

### Barabanov Andrey A.,

Director of LPG equipment production JSC Prompribor,  
Orlovskaya region, Mira street, 40, Prompribor,  
phone: + 7 910 300 61 09,  
e-mail: a.barabanov@prompribor.ru

### Bashchenko Natalya S.,

Group Head, Process department,  
JSC «NIPGaspererabotka»,  
e-mail: NSBaschenko@nipigas.ru

### Blyankinshteyn Igor M.,

Ph.D., Associate Professor of Transport,  
Siberian Federal University,  
Address: 660041, Krasnoyarsk, etc. Svobodny, 79,  
tel.: +7-913-529-36-47, e-mail: blyankinshteyn@mail.ru

### Bochkarev Sergey V.,

Dr. Sci. Tech., professor of Perm State Technical  
University, t/f + 7 (342) 2391200,  
e-mail: bochkarev@msa.pstu.ru

### Cherkina Vera M.,

lecturer of Russian State University  
for Tourism and Service,  
phone: + 7 915 362-17-49

### Chernyak Sergey V.,

inventor, Moscow, phone: + 7 916 737-10-72

### Chuprakov Andrey I.,

engineer of Vyatka State Agricultural Academy,  
phone: +7 (922) 900-32-98, p.t. 8 (8332) 67-54-90

### Devyanin Sergey N.,

D. Sc. (Eng.), professor, head of «Tractors and Auto-  
mobiles» department of the Moscow State University for  
Agriculture and Engineering n.a. V.P. Goryachkin,  
m.t. + 7 917 519-63-94

### Druzyakin Igor G.,

Ph. D. (Eng.), Associate Professor of dean of the Perm  
State Technical University,  
office phone: + 7 (8342) 239-12-00;  
phone: + 7 919 488-05-26; e-mail: druzakin@msa.pstu.ru

### Gordeyeva Roza P.,

Consultant on designing, building and operation of LHG  
facilities, Giproniigaz Plc, Technical director, Evrogals  
Ltd., office number: (8452) 27-10-49, 72-17-40

### Grigoriev Sergey A.,

PhD, Hydrogen Energy and Plasma Technology Institute,  
Federal State Institution Russian Research Center  
«Kurchatov Institute», Associate Professor,  
phone: 8 499 196 94 44, e-mail: grig@hepti.kiae.ru  
sergei\_grigoriev@yahoo.com

### Gurov Mikhail N.,

Head of the Laboratory, MGUPI,  
phone: + 7 926 764-94-89

### Khrenkov Nikolay V.,

Deputy Director of the National Energy Institute,  
phone: + 7 (495) 718-67-13

### Khudyakov Dmitry A.,

Graduate Department of Transport,  
Siberian Federal University,  
Address: 660041, Krasnoyarsk, etc. Svobodny, 79,  
tel.: +7 962-071-86-52, e-mail: scr.88@mail.ru

### Kirillov Nikolay G.,

PhD, Engng, the Deserved inventor  
of the Russian Federation, academician of ABN, Military  
Technical Institute, phone: + 7 (812) 272-95-15,  
m. phone: 8-911-950-83-26, e-mail: kirillov-ng@mail.ru

### Kovalev Igor E.,

Central Aerohydrodynamic Institute (FGUP TsAGI),  
Doctor of Engineering,  
phone: + 7 (495) 556-42-05

### Kutenev Vadim F.,

Tech. Dr, Deputy Director General external economic,  
scientific & technological relations, Professor, NAMI,  
office phone: +7 (495) 456-40-60,  
e-mail: vakutenev@nami.ru

### Likhanov Vitaly A.,

head of the chair of Vyatka State Agricultural Academy,  
Dr. Sci. Tech., phone: +7 (8332) 57-43-07

### Lazarev Alexander N.,

Ph. D. (Eng.), the senior lecturer, academician of MAI,  
Military Technical Institute,  
phone: tel./fax: + 7 (812) 272-95-15;  
e-mail: Lazarevalnik@yandex.ru

### Lozovetsky Vyacheslav,

Doctor (Tech.), professor,  
Moscow State Forest University.  
Phone + 7 (495) 581-41-26; e-mail lozovetsky@mail.ru

### Markov Vladimir A.,

PhD, Engng, professor of «Heat Physics» department of  
the Bauman Moscow State Technical University,  
phone: + 7 917 584-49-54

### Martirosyan Ashot A.,

engineer, the Bauman Moscow State Technical  
University, candidate of science, phone + 7 (499) 263-69-17

### Mavritskiy Vladimir,

Central Aerohydrodynamic Institute (FGUP TsAGI),  
Ph. D. (Eng.), phone: + 7 (495) 556-49-49

### Moskovkin Viktor V.,

phD, prof., the main research assistant NAMI, the leading  
research assistant NIAT, prof. MGUPI,  
phone: + 7 (495) 574-71-48, + 7 910-425-53-08

### Nedlin Mikhail S.,

PhD, Giproniigaz Plc., Deputy director general,  
phone: + 7 (8452) 74-94-55

### Pelevin Fedor V.,

D. Sc. (Eng.), professor of the Bauman Moscow State  
Technical University. Phone + 7 916 014-28-43

### Porozhnyakov Sergey A.,

deputy head, gas motor fuel use forecasting and econom-  
ics Laboratory, Gazprom VNIIGAZ,  
office phone: + 7 (495) 719 21 52,  
e-mail: s.porozhnyakov@gazprom.ru

### Pronin Evgeny N.,

Deputy Head of Directorate, JSC Gazprom,  
office phone: 7 (495) 719-14-81,  
e-mail: E.Pronin@adm.gazprom.ru

### Purtov Pavel A.,

General Director of JSC «NIPGaspererabotka»,  
phone: +7 (861) 238 60 61, e-mail: PAPurtov@nipigaz.ru

### Sharomov Ivan M.,

engineer of Vyatka State Agricultural Academy,  
phone: +7 (922) 915-29-07,  
office phone: + 7 (8332) 67-54-90

### Shumovsky Vladimir A.,

post-graduate of «Heat Physics» department  
of the Bauman Moscow State Technical University,  
phone: + 7 (499) 263-69-18

### Skripko Leonid A.,

PhD, engineer, MADI, phone + 7 (495) 589-84-17,  
e-mail: leonid-skripko@yandex.ru

### Skvortsova Maria A.,

post graduate student of the "Power plants and heat  
engines" department, Nizhny Novgorod state technical  
university named after R.E. Alekseev,  
phone + 7 905 013-13-61,  
e-mail: maryskvortsova@rambler.ru

### Sointsev Alexey A.,

PhD, Associate Professor of Transport, MADI,  
phone + 7 (495) 764-52-23

### Statkevich Igor V.,

graduate of Russian State University for Tourism and  
Service, phone: + 7 916 391-29-83

### Tarantin Sergey A.,

post-graduate of «Heat Physics» department  
of the Bauman Moscow State Technical University,  
phone: + 7 (499) 263-69-18

### Terenchenko Aleksey S.,

PhD, Engng, Head of Laboratory NAMI,  
office phone: + 7 (495) 454-01-91

### Tikhomirov Stanislav A.,

post graduate student of the "Power plants and heat  
engines" department, Nizhny Novgorod state technical  
university named after R.E. Alekseev,  
phone + 7 950 620-92-96, e-mail: adolfsax@yandex.ru

### Tsaplin Aleksey I.,

Dr. Sci. Tech., professor, dean of the Perm State  
Technical University,  
office phone: + 7 (342) 2198212,  
phone: + 902 801-20-83, e-mail: tai@pstu.ru

### Voevodin Eugene S.,

Ph.D., Associate Professor of Transport,  
Siberian Federal University,  
Address: 660041, Krasnoyarsk, etc. Svobodny, 79,  
tel. +7-913-191-80-95, e-mail: ves\_1981@mail.ru

### Volnov Yury N.,

Chief of technical department,  
Assistant technical director, Giproniigaz Plc.,  
office number: (8452) 74-95-71

### Yagupov Sergey V.,

research engineer of NAMI,  
office phone: +7 (495) 456-31-97,  
e-mail: Sergey.Yagupov@nami.ru

### Yanchenko Viktor S.,

PhD, Associate Professor, Bryansk State Technological  
Academy of Engineering,  
phone: +7 (4832) 74 05 13, e-mail: vsy50@mail.ru

### Zajtsev Vyacheslav,

General Director of «Interaviagaz»,  
phone: + 7 8 (903) 700-61-21

### Zonov Anton V.,

engineer of Vyatka State Agricultural Academy,  
phone: + (912) 366-12-72,  
office phone: + 7 (8332) 67-54-90

# Подписка – 2012

## 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 2012 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 за 2011 г. (формат PDF, 6 номеров):

- для РФ и стран СНГ – 1700 руб., включая НДС 18 %.
- для стран дальнего зарубежья – 100 евро / 140 долл. США.

Годовую подписку на 2010 г. (шесть номеров) 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.

