



ISSN 2073-1329

МЕЖДУНАРОДНЫЙ  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ  
ЖУРНАЛ

ВКЛЮЧЕН  
В ПЕРЕЧЕНЬ ВАК

№ 2 (38)  
2014



# ТРАНСПОРТ НА АЛЬТЕРНАТИВНОМ ТОПЛИВЕ



Федеральная сеть газозаправочных станций  
ОАО «Газпром газэнергосеть» объединяет  
свыше 170 АГЗС/МАЗС в 17 регионах РФ



Национальной газомоторной ассоциации - 15 лет  
Обзор рынка топливных элементов и энергоустановок  
Многокомпонентные водотопливные эмульсии

Международный научно-технический журнал  
«Транспорт на альтернативном топливе»  
№ 2 (38) / 2014 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),  
аффилирована с Международным газовым союзом

#### 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  
природного и сжиженного нефтяного газа  
в качестве моторного топлива, д.т.н.

**В.И. Ерохов**  
профессор «МАМИ», д.т.н.

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

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

**С.И. Козлов**  
профессор, д.т.н.

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

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

**А.В. Николаенко**  
ректор «МАМИ», профессор, д.э.н.

**Ю.В. Панов**  
профессор МАДИ, к.т.н.

**Н.Н. Патрахальцев**  
профессор Российского университета  
дружбы народов, д.т.н.

**Е.Н. Пронин**  
член совета НГА

**В.Л. Стагивко**  
вице-президент НГА, к.т.н.

**В.Н. Фатеев**  
зам. директора НИЦ «Курчатовский институт», д.х.н.

#### Редактор

**О.А. Ершова**  
E-mail: transport.1@ngvrus.ru  
Тел.: +7 (498) 657 29 76

#### Отдел подписки и рекламы

E-mail: transport.2@ngvrus.ru  
Тел.: +7 (498) 657 29 77

#### Перевод

**А.И. Хлыстова**

#### Компьютерная верстка

**И.В. Шерстюк**

#### Адрес редакции:

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

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

Сдано на верстку 20.02.2014 г.  
Подписано в печать 20.03.2014 г.  
Формат 60x90 1/8. Тираж 3000 экз. Бумага мелованная.  
Печать офсетная, печ. л. 10,5

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

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

#### На обложке:

Реклама ОАО «Газпром газэнергосеть»

## В НОМЕРЕ

Обращение к читателям .....	3
Заседание совета НГА .....	5
<b>Козлов С.И., Фатеев В.Н.</b> Топливные элементы – перспективные химические источники электрической энергии. . .	7
<b>Марков В.А., Девянин С.Н., Шумовский В.А.</b> Работа дизелей на многокомпонентных водотопливных эмульсиях .....	23
<b>Акопова Г.С., Власенко Н.Л., Тетеревлев Р.В.</b> Индикаторы экологической результативности и безопасности эксплуатации автотранспортных средств на природном газе .....	33
«Газпром газомоторное топливо» и Приморский край будут совместно развивать рынок газомоторного топлива .....	44
«Великий Новгород» станет крупнейшим газовозом во флоте Газпрома .....	44
Газпром и Газпромбанк будут вместе реализовывать проекты «Балтийский СПГ» и «Владивосток СПГ» .....	46
<b>Шендрик А.М.</b> Альтернативный способ подготовки газа к транспортировке на истощенных месторождениях. ....	47
<b>Петров П.П.</b> Особенности применения газомоторного топлива на железнодорожном транспорте .....	57
Ведущие автомобильные организации объединили усилия в борьбе за чистоту окружающей среды .....	68
Канадские мастерские для средне- и большегрузных автомобилей, работающих на природном газе. ....	70
Развитие газомоторного рынка в Чехии .....	70
Автобусы в Осло будут заправлять сжиженным биометаном .....	72
Westport представила технологию двухтопливного двигателя GEMDi .....	74
Евросоюз: водородные гибридные автобусы .....	75
Открыта первая АГНКС в Мадриде .....	76
МАЗ презентует новинку .....	77
Abstracts of articles .....	78
Авторы статей в журнале № 2 (38) 2014 г. ....	79
Подписка – 2014 .....	80

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

#### Founder and Publisher

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

#### Published

6 issues a year

#### Editor-in-Chief

**Tsybulsky, P.G.**

*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*

**Kavtaradze, R.Z.**

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

**Klimova, T.V.**

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

**Kozlov, S.I.**

*Professor, Doctor of Engineering*

**Lyugai, S.V.**

*PhD, Director of the Centre «Gas Use»,*

*JSC «Gazprom VNIIGAZ»,*

*executive director, NGVRUS*

**Markov, V.A.**

*Professor of N.E. Bauman's 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), PhD*

**Patrakhaltsev, N.N.**

*Professor of People's Friendship University of Russia,*

*Doctor of Engineering*

**Pronin, E.N.**

*member of the Council, NGVRUS*

**Stativko, V.I.**

*vice-president, NGVRUS, Candidate of Science*

**Fateev, V.N.**

*Deputy Director of RNC Kurchatovsky Institute,*

*Doctor of Chemistry*

#### Editor

**Ershova, O.A.**

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

*Phone.: +7 (498) 657 29 76*

#### Subscription and Distribution Department

*E-mail: transport.2@ngvrus.ru*

*Phone.: +7 (498) 657 29 77*

#### Translation by

**Khlystova A.**

#### Computer imposition

**Sherstyuk, I.V.**

#### Editorial office address:

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

Moskovskaya obl, 142717

www.ngvrus.ru

Order number

Passed for press on 20.02.2014

Endorsed to be printed on 20.03.2014

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

Message for the readers .....	3
NGVA(rus) Board Meeting.....	5
<b>Sergey Kozlov, Vladimir Fateev</b> Fuel cells as perspective/potential/future chemical sources of electric energy .....	7
<b>Vladimir Markov, Sergey Devyanin, Vladimir Shumovsky</b> Diesel Engines Running on Multi-Component Emulsions.....	23
<b>Gretta Akopova, Nadezhda Vlasenko, Roman Teterevlev.</b> Indicators of Ecological Effectiveness and Safety Operations of Motor Vehicles on Natural Gas .....	33
Gazprom Gas-Engine Fuel in collaboration with Primorsk Krai on developing Gas-Engine Fuel Market .....	44
«Velikiy Novgorod» to be the largest LNG carrier in Gazprom fleet .....	44
Gasprom alongside of GaspromBank on projects «Baltic LNG» and «Vladivostok LNG» realization .....	46
<b>Alexey Shendrick</b> Alternative method of gas preparation to vehiculation in depleted fields .....	47
<b>Petr Petrov</b> Peculiarities of gas-engine fuel usage on railway sector/transport.....	57
Leading natural gas vehicles companies join forces on environmental purity providing.....	68
Canadian workshops to focus on medium and HD NGVs.....	70
Czech natural gas vehicle market progress/development .....	70
Oslo buses to be fueled by liquefied biomethane....	72
Westport introduces GEMDI Dual-Fuel Technology .....	74
EU talks about hydrogen hybrid buses .....	75
The First CNG fueling in Madrid.....	76
Minsk Automobile Plant presents a new product ...	77
Abstracts of articles .....	78
Contributors to journal issue No 2 (38) 2014 r.....	79
Subscription – 2014.....	80

### Уважаемые коллеги, читатели, друзья!

26 апреля 2014 года исполняется 15 лет со дня создания НП «Национальная газомоторная ассоциация». Идея объединения научных, учебных, производственных, проектных организаций и компаний, ратующих за развитие газомоторного рынка, окрепла более двух десятилетий назад, а к 1999 году стало совершенно очевидно, что в нашей стране сформировался уникальный и немалый опыт становления и развития газомоторного дела, выросло поколение замечательных специалистов в этой области.

Именно профессионалы, объединившись под эгидой Национальной газомоторной ассоциации, распространили знания, положительный опыт, научно-техническое предвидение на новые регионы, на примерах убедили в эффективности развития газомоторного рынка, оказали содействие дальнейшему развитию процессов разработки, совершенствования и популяризации новых технологий, материалов и оборудования для перевода автомобильного, железнодорожного, водного и воздушного транспорта на экологически более чистые и экономически более привлекательные виды топлива.

В результате Национальная газомоторная ассоциация в своей деятельности объединила несколько важных аспектов, необходимых для развития нового рынка: энергию специалистов, научно-методическое обеспечение процесса и информационную открытость, привлекающую новых заинтересованных участников.

Минувшие полтора десятилетия позволили ассоциации инициировать и осуществить целый ряд интересных проектов, вызвавших положительную динамику газомоторного сектора: способствовать разработке правовых инициатив по расширению федеральной и региональной законодательной базы, распространить опыт регионов с богатой и эффективной газомоторной инфраструктурой, перенести на российскую почву проект «Голубой коридор», стать учредителями ежегодной Международной выставки GasSUF и научно-технического журнала «Транспорт на альтернативном топливе», содействовать формированию экспертного отраслевого сообщества.

Объединение усилий организаций-членов ассоциации вызвало синергетический эффект для газомоторной отрасли. В настоящее время мы находимся на новом этапе ее развития. Правительственные решения о переводе на метан общественного транспорта, появление на газомоторном рынке новых мощных игроков, способных влиять на повышение коммерческой эффективности производства, распространение компримированного природного газа и других видов альтернативного топлива, интерес автопроизводителей к развитию газомоторного рынка, реализующийся в виде новых моделей газобаллонного транспорта, – все это, несомненно, благотворно сказывается на укреплении и популяризации газомоторного бизнеса. Нам особенно важно, что все нынешние участники высоко ценят консолидирующую роль ассоциации и ее инициатив. Это означает, что вместе мы сможем добиться новых высот, осуществить еще не один инфраструктурный проект, привлечь отраслевую науку, наладить взаимодействие с региональными и муниципальными структурами.

Сердечно приветствуем и поздравляем вас, уважаемые коллеги, с 15-летием НП «Национальная газомоторная ассоциация» и надеемся на дальнейшую плодотворную совместную работу!

*Некоммерческое партнерство «Национальная газомоторная ассоциация»  
Редакция журнала «Транспорт на альтернативном топливе»*



## 24 апреля 2014 г. НП «Национальная газомоторная ассоциация» проводит научно-практический семинар на тему «Рынок газомоторного топлива: состояние, проблемы и перспективные пути развития»

Основные темы, которые предполагается обсудить в ходе семинара:

- технологические аспекты строительства новых и модернизации действующих объектов газомоторной инфраструктуры;
- развитие нормативной и правовой базы газомоторной отрасли;
- инфраструктурные региональные проекты;
- опыт производства газобаллонного транспорта и техники.



С докладами выступают представители крупнейших отечественных структур, содействующих развитию газомоторного рынка:

ООО «Газпром газомоторное топливо», ООО «Газпром ВНИИГАЗ», ООО «Газпром трансгаз Екатеринбург», ОАО «Газпром газэнергосеть», ООО «Газпром трансгаз Томск», ООО «Газпром трансгаз Ставрополь», ООО «Газпром экспорт», ОАО «РЖД», ОАО «КАМАЗ», ФГБУ ВНИИПО МЧС России, Университета МАДИ, ФГУП «НАМИ» и др.



Семинар состоится в Конференц-центре

ООО «Газпром ВНИИГАЗ» по адресу:

Московская обл., Ленинский р-н, пос. Развилка.

**Приглашаем желающих к участию в работе семинара.**

Предложения по участию и доклады направлять электронной почтой на адрес: S\_Lyugai@ngvrus.ru.

## Каталог газоиспользующего и газозаправочного оборудования – 2014



Некоммерческое партнерство «Национальная газомоторная ассоциация» проводит работу по подготовке к изданию Каталога газоиспользующего и газозаправочного оборудования – 2014.

Планируемый срок выпуска Каталога – IV кв. 2014 года.

Тираж – 1000 экземпляров.

Формат: цветной буклет А-4.

Предлагаем вам разместить материалы о вашей организации в Каталоге.

По вопросам размещения информации просим обращаться:

на электронный адрес [catalog2014@ngvrus.ru](mailto:catalog2014@ngvrus.ru);

по телефонам: (498) 657-47-58; (498) 657-41-35.

Срок подачи материалов – до 30 мая 2014 года.

**Структура Каталога:**

- Газобаллонные автомобили серийного производства
- Газовая топливная аппаратура и её компоненты
- Сосуды высокого давления для КПП
- Передвижные и стационарные средства заправки
- Оборудование для освидетельствования баллонов
- Инжиниринговые и конструкторские услуги
- Услуги по переоборудованию автомобилей
- Проектирование и строительство АГНКС, АГЗС, КриоАЗС
- Сертификация газоиспользующего и газозаправочного оборудования
- Технологическое оборудование для малотоннажного производства, хранения, транспортировки и регазификации сжиженного природного газа (СПГ)
- Информационные услуги
- Транспортные предприятия, использующие газомоторное топливо

## Заседание совета НГА



В январе состоялось первое в 2014 году заседание совета НП «Национальная газомоторная ассоциация» (НГА) во главе с председателем совета – начальником Управления «Уралавтогаз» ООО «Газпром трансгаз Екатеринбург» Э.Д. Гайдтом и исполнительным директором НГА, директором Центра использования газа ООО «Газпром ВНИИГАЗ» С.В. Люгаем.

В ходе совещания члены совета заслушали отчет исполнительного директора о работе НГА и проанализировали ход выполнения решений, принятых на общем годовом собрании Партнерства. Совет Партнерства признал работу исполнительной дирекции НП «НГА» и редакции журнала «Транспорт на альтернативном топливе» удовлетворительной и сформулировал ряд задач на 2014 год.

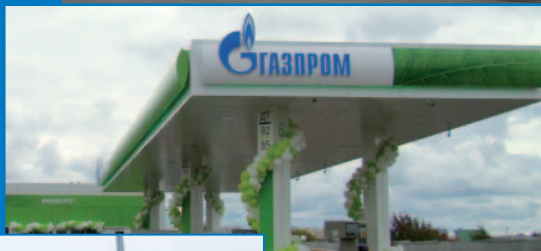
В процессе обсуждения членам совета Партнерства Э.Д. Гайдту, Д.М. Аннюку, Р.Р. Батыршину, П.В. Прохорову поручено сформировать план предложений по работе тематических секций НГА, ведущих мониторинг и анализирующих состояние дел по развитию инфраструктуры и оборудования для КПП и СУГ, осуществлению крупных инфраструктурных проектов, международному

сотрудничеству, взаимодействию с регионами и общественностью в рамках развития газомоторного рынка в стране.

Совет Партнерства поручил исполнительному директору НГА С.В. Люгаю подготовить предложения по изданию актуального Каталога газоиспользующего и газозаправочного оборудования в 2014 году, а также по организации тематического научно-технического семинара на базе ООО «Газпром ВНИИГАЗ». Членам совета Р.Р. Батыршину (генеральный директор ООО «РариТЭК») и А.М. Шуманну (руководитель представительства Э.Он Глобал Коммодитиз СЕ в РФ) поручено подготовить предложения об организации автопробега техники на природном газе в 2014 году. Члены совета партнерства выразили готовность лично содействовать формированию информационного потока для журнала «Транспорт на альтернативном топливе» и интернет-сайта НП «НГА» по теме использования газомоторного топлива в регионах.

Совет Партнерства проанализировал и принял к сведению рабочую информацию о деятельности НП «НГА» и развитии средств массовой информации, учрежденных ассоциацией, в текущем году.

## Знаменательные даты



### 21 апреля 2014 года ОАО «Газпром газэнергосеть» отмечает 15-летие

Открытое акционерное общество «Газпром газэнергосеть» – специализированный оператор ОАО «Газпром» по реализации нефтепродуктов, сжиженного углеводородного газа (СУГ), серы и гелия, а также уполномоченная компания по объектам автономного газоснабжения согласно «Концепции участия ОАО «Газпром» в газификации регионов РФ».

ОАО «Газпром газэнергосеть» осуществляет оптовые поставки СУГ и нефтепродуктов в 83 региона Российской Федерации. Компания владеет крупнейшей в стране сетью автомобильных газозаправочных станций, расположенных в 17 регионах нашей страны.

### ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ КОМПАНИИ:

- **1999 г.** – создание ОАО «Газэнергосеть» (с 2010 г. – ОАО «Газпром газэнергосеть»).
- **2004 г.** – ОАО «Газэнергосеть» получило статус единого оператора ОАО «Газпром» по реализации СУГ на рынке РФ.
- **2006-2007 гг.** – ОАО «Газэнергосеть» вышло на рынок оптовой и розничной реализации нефтепродуктов.
- **С 2007 г.** – компания также активно развивает розничную сеть АГЗС по реализации СУГ в качестве газомоторного топлива.
- **2009 г.** – ОАО «Газэнергосеть» включено в новую редакцию «Концепции участия ОАО «Газпром» в газификации регионов РФ» в качестве заказчика по объектам автономного газоснабжения на сжиженном природном газе (СПГ) и СУГ.
- **2012 г.** – ОАО «Газпром газэнергосеть» получило статус единого оператора ОАО «Газпром» по реализации гелия на территории Российской Федерации.
- **2013-2014 гг.** – реализация проектов автономной газификации СПГ в Пермском крае и строительства установки сжижения гелия в Оренбургской области.

# Топливные элементы – перспективные химические источники электрической энергии

**С.И. Козлов**, профессор, д.т.н.,

**В.Н. Фатеев**, заместитель директора Центра физико-химических технологий

НИЦ «Курчатовский институт», профессор, д.х.н.

Материал представляет собой краткий обзор современного состояния дел по основным типам топливных элементов и энергоустановок на их базе ведущих западных и отечественных фирм.

Химические источники тока разделены на три большие группы – гальванические элементы одноразового применения, аккумуляторы и топливные элементы. Приведены их достоинства и недостатки. Дано описание устройства и принципа работы топливных элементов (ТЭ). Принципиально все ТЭ устроены одинаково, а отличаются они типом электролита и конструкционных материалов, рабочими температурами, электродными реакциями, конструктивным исполнением. Приведены электродные реакции в твердополимерных, щелочных, фосфорнокислых, расплавкарбонатных и твердооксидных ТЭ, а также принципиальная схема энергоустановки на ТЭ.

Представлен термодинамический анализ параметра «термический КПД» для ТЭ и тепловых двигателей. Приведены особенности конструкции энергоустановок (ЭУ) различного назначения на ТЭ с щелочным электролитом. Даны параметры ЭУ космических кораблей «Аполлон», «Шаттл», «Буран», а также описание особенностей конструкции ЭУ для подводной лодки проекта 613Э, автомобилей ВАЗ и стационарной когенерационной ЭУ «ЭЛТЭГ».

Энергоустановки на ТЭ с твердым полимерным электролитом (ТЭТПЭ) в настоящее время являются наиболее перспективными для решения широкого круга задач. Кроме транспорта, ТЭТПЭ начинают использовать для систем резервного/аварийного энергообеспечения, автономного теплоэлектроснабжения зданий, сооружений. Разработкой и производством ТЭТПЭ занимается большое число компаний, среди которых можно выделить американские компании Plug Power, UTC, канадскую компанию Ballard Power Systems Inc., немецкую компанию Siemens. Подобные исследования и разработки ТЭТПЭ проводят ФГУ РНЦ «Курчатовский институт», РФЯЦ-ВННИИЭФ, ЦНИИ СЭТ, компания НИК НЭП, ФГУП «Красная Звезда», а также ряд других исследовательских организаций. Описаны главные проблемы на пути создания ЭУ на ТЭТПЭ.

Энергоустановки на ТЭ с фосфорнокислым электролитом достигли стадии промышленного мелкосерийного производства. Описан опыт применения в России таких ЭУ. Дано описание результатов работ ведущих фирм по созданию ЭУ на ТЭ с расплавленным карбонатным электролитом и ЭУ на ТЭ с твердым оксидным электролитом, а также ТЭ с прямым окислением реагентов или портативных топливных элементов.

**Ключевые слова:**

топливные элементы, электродные материалы, катализаторы, энергоустановка.



**Т**опливные элементы – химический источник тока (ХИТ), в котором происходит непосредственное преобразование химической энергии топлива (горючее + окислитель) в электрическую энергию.

В 1791 г. Луиджи Гальвани – итальянский врач, анатом, физиолог и физик, один из основателей учения об электричестве (1737–1798) – обнаружил электрические явления в своеобразной электрохимической системе, составленной из мышц лягушки и двух разных металлов. Основоположником же научной электрохимии считается немецкий физик Иоганн Вильгельм Риттер (1776–1810), его экспериментальные работы показали возможность получения гальванических покрытий. Он впервые получил водород и кислород электролизом воды, предсказал существование термоэлектричества, фактически изобрел электрическую аккумуляторную батарею, хотя автором этого изобретения принято считать итальянского физика, химика и физиолога Александро Вольта (1745–1827), который в 1800 г. создал первый химический источник тока – «вольтов столб», состоявший из серебряных и оловянных пластин, разделенных пористыми перегородками, смоченными раствором соли.

Существуют три основных класса ХИТ:

1. Гальванические элементы – ХИТ, в которых активные материалы используются однократно.

2. Аккумуляторы – ХИТ многократного применения, при их подключении после разряда к внешнему источнику тока происходит регенерация исходного состояния.

3. Топливные элементы – ХИТ, в которых активные материалы (горючее и окислитель) непрерывно подводятся к электродам.

Каждый из типов ХИТ имеет свои достоинства и недостатки. При

относительно низких уровнях мощности (примерно до 0,5 кВт) и энергоемкости (до 5 кВт·ч), а также при относительно коротком времени работы гальванические элементы и аккумуляторы нашли широкое применение во многих областях техники. Но и в этом интервале мощностей ТЭ начинают с ними успешно конкурировать, а при возрастании потребной мощности ТЭ становятся предпочтительней из-за более высоких удельных характеристик. Так, для традиционного свинцового стартерного аккумулятора при мощности 100 кВт и времени работы всего 1–2 ч масса самого аккумулятора достигнет 2 т, в то время как размеры и масса топливного элемента не увеличиваются с ростом необходимого времени работы, а требуется лишь доставка топлива.

Топливный элемент изобрел английский физик и химик Уильям Роберт Грове (1811–1896), который в 1838 г. обнаружил, что в реакции кислорода и водорода происходит не только образование воды, но и генерируется электрический ток. Однако мощность лабораторной установки была очень маленькой даже по меркам того времени, поэтому на открытие Грове практически не обратили внимания.

Только в 1952 г. английский инженер Френсис Т. Бэкон создал первую, представляющую практический интерес, батарею водно-щелочных водородно-кислородных топливных элементов мощностью 5 кВт.

Как и гальванический элемент, ТЭ (рис. 1) состоит из двух электродов, разделенных электролитом. Реагенты к электродам подаются непрерывно. Для ускорения химических реакций на электродах используются катализаторы.

При работе ТЭ происходит окисление (холодное сгорание) топлива, но материалы электродов не расходуются в процессе химических реакции для генерации электрического тока.

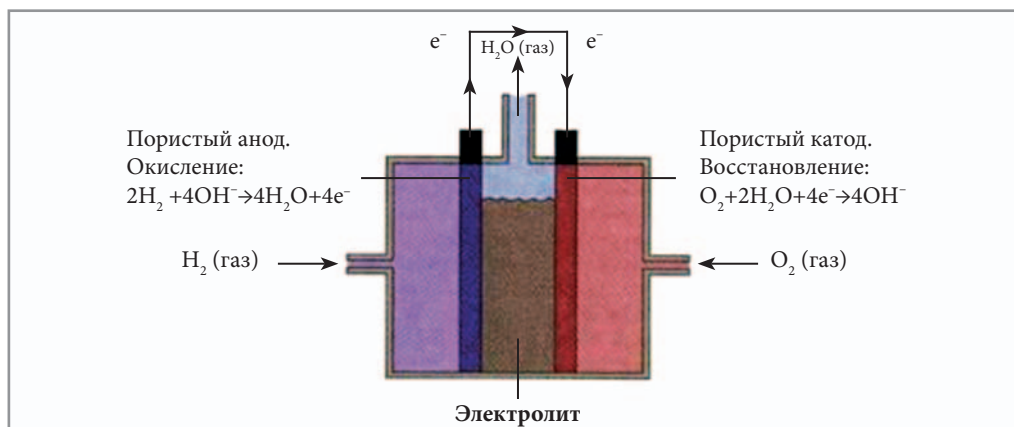


Рис. 1. Устройство топливного элемента

Горючим служит водород, который может быть получен из природного газа, метанола и др., или углерод, а окислителем служит чистый кислород или кислород воздуха (в принципе вместо кислорода может быть использован фтор, хлор и другие сильные окислители [1]). В ТЭ процесс горения (перенос электронов от восстановителя к окислителю) пространственно разделен и перенос электронов осуществляется не непосредственно между молекулами (атомами), а через внешнюю электрическую цепь (рис. 1). Следствием этого является генерация электрического тока и теплоты, сопровождающей процесс окисления.

Принципиально все ТЭ устроены одинаково, а отличаются типом электролита и конструкционных материалов (рис. 2), рабочими температурами, электродными реакциями, конструктивным исполнением [2]. Таким образом, химическая энергия топлива превращается в электричество не непосредственно, а довольно сложным и длинным путем. Поэтому важным вопросом является определение КПД ТЭ.

Термический КПД  $\eta_t$  электрогенератора с приводом от теплового двигателя подсчитывается как отношение полученной электроэнергии  $L_{эл}$  к затраченной теплоте сгорания использованного топлива  $\Delta H$ :  $\eta_t = L_{эл} / \Delta H$ . Строго говоря  $\eta_t$  представляет собой не

КПД, а коэффициент преобразования энергии, поскольку в нем сопоставляются качественно различные формы трансформации энергии – работа и теплота.

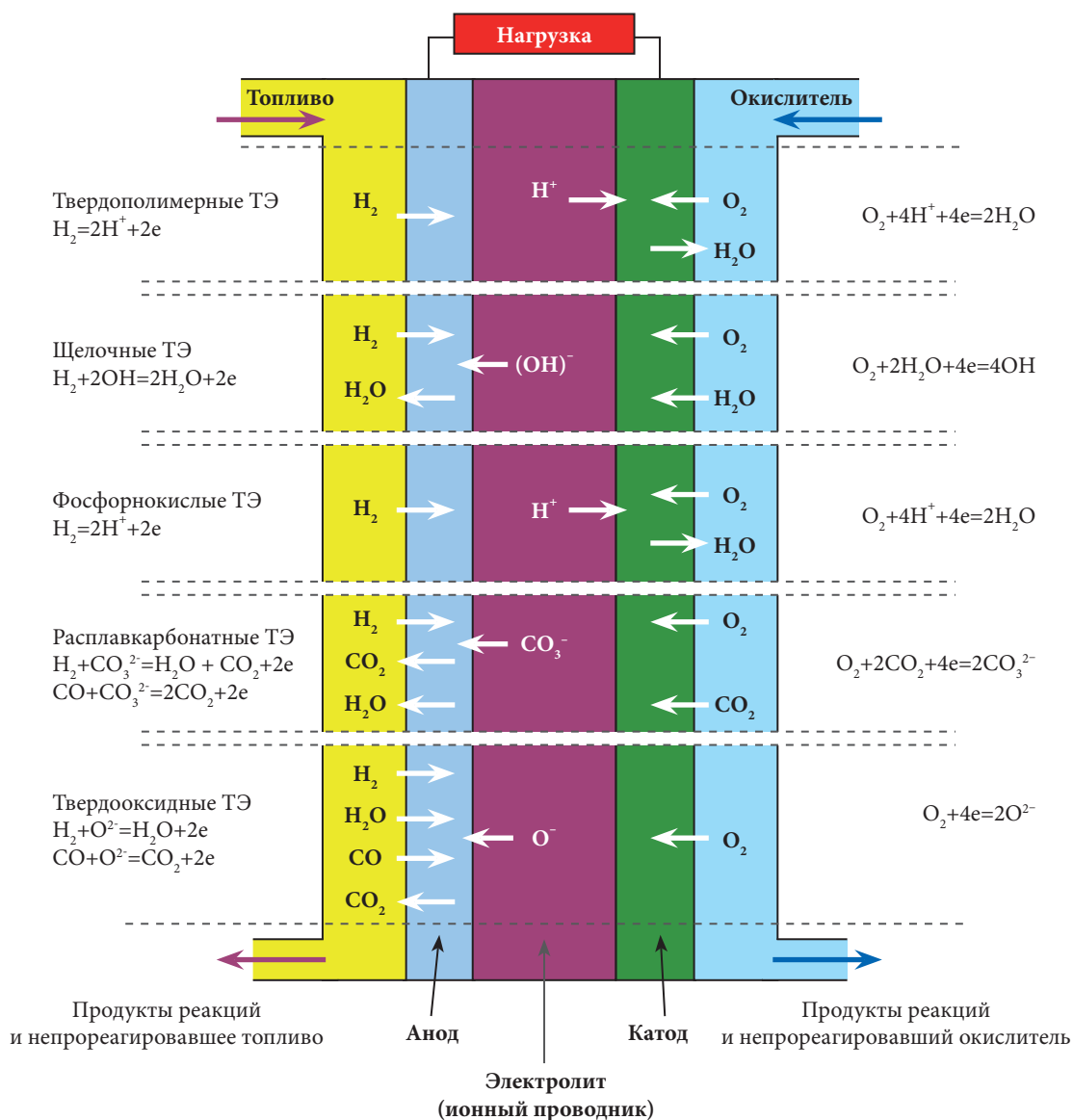
Для тепловых двигателей это различие не очень существенно, так как эксергия (работоспособность) топлива  $E_t$  примерно совпадает с его теплотой сгорания  $\Delta H$ . Поэтому эксергетический КПД  $\eta_e = L_{эл} / \Delta E$  примерно равен коэффициенту преобразования  $\eta_t = L_{эл} / \Delta H$ , который по традиции называют термическим КПД. Однако для ТЭ это не так.

В ТЭ разность эксергий  $\Delta E$  исходных химических реагентов ( $2\text{H}_2 + \text{O}_2$  или  $2\text{C} + \text{O}_2$ ) и продуктов реакции ( $\text{H}_2\text{O}$  или  $\text{CO}$ ) может существенно отличаться от теплоты реакции  $\Delta H$ , и максимальная работа процессов отличается от их теплового эффекта. Поэтому и значение коэффициента преобразования, полученное по формуле  $\eta_t = L_{эл} / \Delta H$  для ЭХГ, не равно КПД. Игнорирование этого различия приводит к недоразумениям, в частности к возможности создания вечного двигателя второго рода.

Действительно, максимальная электрическая работа  $L_{эл \max}$  определяется уменьшением величины  $G$  – потенциала Гиббса:

$$L_{эл \max} = -\Delta G = -(\Delta H - T\Delta S).$$

Из этой формулы видно, что  $L_{эл \max}$  может быть как больше  $\Delta H$



**Рис. 2.** Типы топливных элементов и электродные реакции

(если энтропия  $S$  при реакции уменьшается,  $\Delta S < 0$ ), так и меньше (если  $\Delta S$  положительна, то есть энтропия при реакции возрастает). В реальных конструкциях встречаются оба случая. Например, в водородно-кислородном ТЭ реакция протекает с уменьшением энтропии ( $\Delta S < 0$ ), что соответствует выделению теплоты. При этом  $L_{эл\ max}$  будет меньше  $\Delta H$ , и максимальное значение коэффициента преобразования будет меньше единицы. А вот в угольно-кислородном ТЭ  $\Delta G > \Delta H$ , поскольку энтропия в результате

реакции растет вследствие подвода теплоты из окружающей среды, и максимальный коэффициент преобразования будет больше единицы. Однако никакого нарушения второго закона термодинамики здесь нет, так как вся электрическая энергия в обоих случаях получается за счет химической энергии реагентов, а теплота (как подводимая, так и отводимая) идет на изменение энтропии реагентов. Если продукты реакции уходят с меньшей энтропией, чем поступают («более организованные»), – теплота отводится, а если с большей

энтропией («менее организованные») – теплота подводится, то есть величина коэффициента преобразования не дает правильной информации о термодинамическом совершенстве процесса [3].

Идеальный процесс в ТЭ должен всегда иметь КПД ровно 100 %. Действительно, строго определяемый КПД  $\eta_e$  топливного элемента имеет вид  $\eta_e = L_{эл} / \Delta E$ , где  $\Delta E$  – затраченная эксергия. Поскольку в ТЭ  $T = T_{oc}$ , то  $\Delta G = \Delta E = \Delta H - T_{oc} \Delta S$  и  $\eta_e = L_{эл} / \Delta G$ , и для идеального ТЭ получаем  $\eta_e = 1$ . Реальный КПД будет, естественно, меньше 100 %, поскольку  $L_{эл} < L_{эл\ max}$  вследствие потерь.

В ТЭ вся поступившая энтропия идет только на ее увеличение в реагентах ( $S_2 > S_1$ ). Безэнтропийная электроэнергия ее не уносит, а вся эксергия, необходимая для получения электроэнергии  $L_{эл}$ , образуется за счет разности входящих и выходящих потоков энтропии. Тепловой поток при  $T_{oc}$  не имеет эксергии ( $E_{oc} = 0$ ) и ничего не добавляет в баланс.

Таким образом, электрохимическое получение электричества проходит в полном соответствии со вторым началом термодинамики – ТЭ, выдающий  $L_{эл} < L_{эл\ max}$ , увеличивает энтропию, как и любое реальное устройство преобразования энергии.

Под термином «топливный элемент» следует понимать единичную электрохимическую ячейку (см. рис. 1). По температуре ТЭ условно делят на низкотемпературные (рабочая температура до 100...150 °С), среднетемпературные (200...400 °С) и высокотемпературные (500...1000 °С). По типу электролита различают пять основных видов топливных элементов: щелочные, с твердым полимерным электролитом (ТПЭ), фосфорнокислые, расплавкарбонатные и твердоокисдные топливные элементы (см. рис. 2).

Напряжение на единичной ячейке низкое (менее 1 В для большинства известных ТЭ), а ток может составлять

сотни ампер, что создает проблемы с использованием единичной ячейки ТЭ как для непосредственного питания потребителя, так и для трансформации электроэнергии столь низкого напряжения. Кроме того, плотность потока энергии в ТЭ настолько мала, что с квадратного метра электрода современных ТЭ можно снять около 200 Вт. В связи с этим единичные ячейки соединяют в батарею топливных элементов.

В англоязычной литературе для батареи ТЭ используется термин stack (стэк), который начал появляться и в русскоязычной технической литературе. Батарея с обвязкой и вспомогательным оборудованием, включая систему хранения или производства водорода, хранения или подготовки окислителя и т.п., образует энергоустановку (рис. 3).



Рис. 3. Схема энергоустановки на топливных элементах

В русскоязычной литературе часто используют термин «электрохимический генератор» (ЭХГ), под которым подразумевают батарею с обвязкой (вспомогательное оборудование), но без систем. Граница между ЭХГ и ЭУ довольно условна.

### Энергоустановки на ТЭ с щелочным электролитом

12

Щелочные топливные элементы (ЩТЭ) относятся к низкотемпературным – рабочие температуры до 100 °С. Электродные реакции приведены на рис. 2. Рабочие давления обычно близки к 1 кг/см<sup>2</sup>.

В качестве электролита в ЩТЭ используется 35–50%-ный водный раствор гидроксида калия КОН. Выбор КОН в качестве электролита обусловлен его более высокой электропроводностью, а также большим ресурсом по сравнению, например, с более дешевым NaOH. Выбор диапазона концентраций обусловлен максимумом проводимости растворов КОН, который смещается в сторону более высоких концентраций при повышении температуры.

Электролит в ЩТЭ может удерживаться в пористой матрице (обычно асбестовой) или циркулировать в замкнутом объеме. Первый тип ТЭ характеризуется более высокими значениями КПД (до 70 %), но меньшим ресурсом (гарантированный ресурс ЩТЭ не более 2000 ч), в частности, из-за вымывания электролита продуктом реакции – водой. Второй тип имеет несколько меньший КПД, но больший ресурс и кроме того допускает замену электролита, что позволяет использовать в качестве окислителя воздух, очищенный от CO<sub>2</sub>.

Необходимость очистки воздуха и топлива от CO<sub>2</sub> обусловлена тем, что это соединение ведет к карбонизации электролита по реакции

$$\text{KOH} + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{K}_2\text{CO}_3 \downarrow,$$
сопровождающейся увеличением его сопротивления из-за блокирования поверхности электродов нерастворимыми карбонатами. Для нормальной работы ЩТЭ максимально допустимая концентрация CO<sub>2</sub> в окислителе долж-

на быть менее 50 ppm (0,005 %), а концентрация CO<sub>2</sub> в воздухе составляет 300...500 ppm (3×10<sup>-2</sup>–5×10<sup>-2</sup> %). Для очистки поступающего воздуха от CO<sub>2</sub> используются регенеративные скрубберы – адсорберы с поглотителем двуокиси углерода, содержащие гидратированные оксиды переходных металлов, например, циркония, которые регенерируют отработанным в ТЭ воздухом при температуре 60...120 °С [2]. Они позволяют понизить концентрацию CO<sub>2</sub> в воздухе до 5...10 ppm (0,0005...0,001 %). Однако эти технологические решения неэффективны при использовании продуктов конверсии органического топлива, где концентрация CO<sub>2</sub> может превышать 20 %. Поэтому ЩТЭ работают на чистых реагентах – водороде и кислороде.

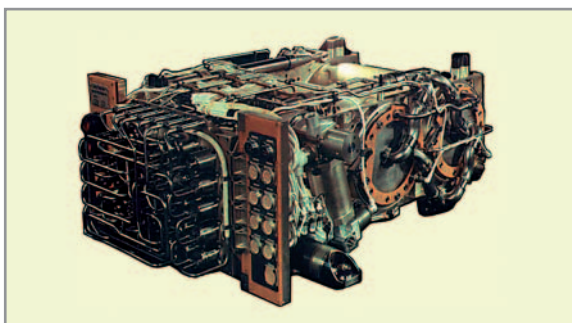
В качестве электродов используются пористый Ni, активированная Pt, Ag, Pd, Au. Использование электродов, не содержащих благородные металлы, ведет к существенному снижению КПД и удельной мощности. В настоящее время коммерчески доступные электроды для анода и катода (например, фирмы Zetek) содержат 0,3 мг/см<sup>2</sup> платины на углеродном носителе. Полностью исключить металлы платиновой группы пока не удалось.

Энергоустановки на водородных щелочных топливных элементах впервые были применены в космических аппаратах Apollo и Shuttle (табл. 1). Ведущие разработчики – корпорации UTC Fuel Cells, Siemens и Union Carbide.

В конце 80-х гг. прошлого века в СССР на Уральском электрохимическом комбинате (УЭХК) был создан модуль ЭХГ на ЩТЭ «Фотон» (рис. 4) с номинальной мощностью 10 кВт для многоазового орбитального корабля «Буран». ЭУ корабля состояла из четырех модулей для увеличения мощности за счет объединения нескольких модулей. КПД ЭУ достигал 60 %, гарантированный ресурс 2000 ч.

Таблица 1  
**Основные характеристики ЭУ на щелочных ТЭ  
 пилотируемых космических кораблей Apollo, Shuttle, «Буран»**

Параметр	Apollo	Shuttle	«Буран»
Мощность, кВт			
длительная	3×0,9	3×7	4×10
кратковременная	3×1,42	3×12	4×15
Напряжение, В	26,5...31	27,5...32,5	30,5...34
Тип электролита	Циркулирующий	Матричный	Матричный
Рабочая температура ТЭ, °С	200...260	82...110	85...100
КПД ЭУ, %	63	60	60
Удельный расход H <sub>2</sub> +O <sub>2</sub> , кг/кВт·ч	0,37	0,35	0,35
Удельная масса ЭУ, кг/кВт	125	16	16
Гарантированный ресурс ЭУ, ч	500	2000	2000
Удельная стоимость ЭУ, тыс. долл./кВт	80...100	40...50	30
Энергоемкость, кВт·ч	660	2000	2500
Удельная энергоемкость, Вт·ч/кг	800	880	860



**Рис. 4.** Электрохимический генератор «Фотон» космического корабля «Буран»

В СССР также велись работы по созданию подводной лодки с ЭУ на ЩТЭ, которые были начаты в первой половине 70-х гг., когда в ЦКБ «Лазурит» был разработан проект переоборудования дизель-электрической подводной лодки проекта 613 под размещение на ней опытной ЭУ. В разработках ЭУ на ЩТЭ для подводных лодок участвовали НПО «Квант», СКБ Котлостроения, ЦКБ МТ «Рубин», а в дальнейшем к ним присоединились и разработчики ЩТЭ для космических аппаратов.

Для подводной лодки «Катран» проекта 613Э была создана энергоустановка с ЩТЭ мощностью 280 кВт. Реагенты – жидкие кислород и водород – хранились в криогенных емкостях вне

основного корпуса подводной лодки. Был создан ряд наземных и плавучих стендов для отработки конструкции ЭУ, и в 1988 г. подводная лодка «Катран» (рис. 5) успешно прошла государственные испытания и подтвердила принципиальную возможность создания и эффективного использования ЩТЭ на подводных лодках.



**Рис. 5.** Подводная лодка «Катран» с ЩТЭ и криогенным хранением реагентов

К сожалению, работы по созданию энергоустановок для подводных лодок в дальнейшем у нас были приостановлены, в отличие от аналогичных разработок за рубежом. Правда, следует отметить, что разработки ЭУ для подводных лодок в странах НАТО в настоящее время ориентированы на ЭУ с твердотельными ТЭ.

В 70–80 гг. НПО «Квант» совместно с рижским автобусным заводом «РАФ» был разработан прототип мини-автобуса на ЩТЭ, который был изготовлен в 1982 г. и успешно продемонстрирован. Эти работы на долгое время были остановлены, и лишь в конце 90-х специалистами РКК «Энергия» совместно с Уральским электрохимическим комбинатом на основе ЭХГ «Фотон» была разработана ЭУ для автомобиля. На Автосалоне–2001 в Москве был представлен электромобиль «Лада – АНТЭЛ-1» (рис. 6), в котором использовалась ЭУ на ЩТЭ, работающая на сжатом водороде и кислороде.



**Рис. 6.** Электромобиль «Лада – АНТЭЛ-1» (АНТЭЛ – автомобиль на топливных элементах)

Следующей моделью автомобиля на ЩТЭ стал «ВАЗ-2111 АНТЭЛ-2» (рис. 7). Главное отличие этой машины от предшественника в том, что вместо громоздких кислородных баллонов были установлены компактный компрессор для забора воздуха из атмосферы и система его очистки от  $\text{CO}_2$ .

В 2006 г. компанией НИК «Новые энергетические проекты» была представлена стационарная когенерационная ЭУ «ЭЛТЭГ» (рис. 8) электрической мощностью 5,2 кВт и тепловой мощностью 6,0 кВт на ЩТЭ с проточным электролитом. В этой ЭУ электролит (раствор КОН) нагревался до 70 °С и подавался в утилизатор теплоты, что позволило использовать ее для обогрева

зданий. С учетом утилизации теплоты общий КПД достиг 87 %. На выработку 1 кВт·ч расходовалось 50 г водорода. ЭУ может быть использована в качестве резервного источника питания для различных систем. В качестве окислителя использовался воздух, и в состав ЭУ входила система его очистки от диоксида углерода.



**Рис. 7.** Электромобиль «ВАЗ-2111 АНТЭЛ-2»



**Рис. 8.** Стационарная когенерационная энергоустановка «ЭЛТЭГ»

Несмотря на определенный прогресс перспективность ЩТЭ для широкомасштабного применения для гражданских целей в целом остается сомнительной. Не раз анонсированные перспективы исключения благородных металлов из состава электродов так и остались декларациями. Стоимость предлагаемых на рынке энергоустановок не ниже стоимости аналогичных энергоустановок на основе

твердополимерных ТЭ, а существенные проблемы с очисткой реагентов от  $\text{CO}_2$ , использование канцерогенного асбеста и растворов щелочи делают их не очень привлекательными с точки зрения экологии. Во всем мире дальнейшие разработки ЩТЭ практически прекращены, а ведущиеся разработки в России в какой-то мере – проявление определенной инерции.

### Энергоустановки на ТЭ с твердым полимерным электролитом (ТЭТПЭ)

Первые топливные элементы с твердым полимерным электролитом (в англоязычной литературе принята аббревиатура PEM – Proton Exchange Membrane или Polymer Electrolyte Membrane) были созданы корпорацией General Electric в рамках американской космической программы Gemini в конце 60-х гг. прошлого века. В настоящее время ТЭ этого типа являются наиболее перспективными для решения широкого круга задач. Например, ведущие автомобилестроительные компании мира (Daimler-Chrysler, Ford, Mazda, Toyota, BMW, Renault, Peugeot и др.) ведут интенсивные разработки в этой области.

В России исследования и разработку ТЭТПЭ проводят ФГУ РНЦ «Курчатовский институт», РФЯЦ-ВННИИЭФ, ЦНИИ СЭТ, компания НИК НЭП, ФГУП «Красная Звезда», а также ряд других исследовательских организаций.

При рабочих температурах 80...90 °С максимальное напряжение единичной сборки ТЭ составляет ~1,0...1,1 В. В качестве электролита в ТЭТПЭ используется ионообменная мембрана, на поверхность которой нанесен каталитический слой (обычно Pt на углеродном носителе). К поверхности каталитического слоя плотно прижаты пористые газодиффузионные слои (коллекторы тока) из углеродного материала, образующие единое целое с мембраной – так

называемый мембранно-электродный блок (рис. 9). Подвод реагентов и отвод продуктов реакции осуществляются по каналам биполярной пластины, изготавливаемой из углерода или металла (титан, нержавеющая сталь). Отсутствие в системе жидкого электролита требует организации плотного контакта между электронными и ионными (мембрана) проводниками. Единичные сборки в батарее ТЭ разделены биполярной пластиной, которая является частью катодной камеры одной ячейки и одновременно частью анодной камеры другой ячейки. Биполярная пластина разделяет соседние ячейки в батарее ТЭ, являясь проводником электрического тока между ними, и служит для распределения потока реагентов вдоль поверхности газодиффузионного слоя и отвода продуктов реакции.

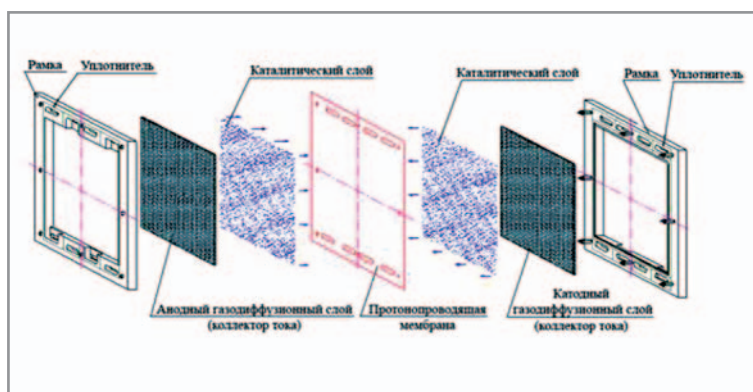


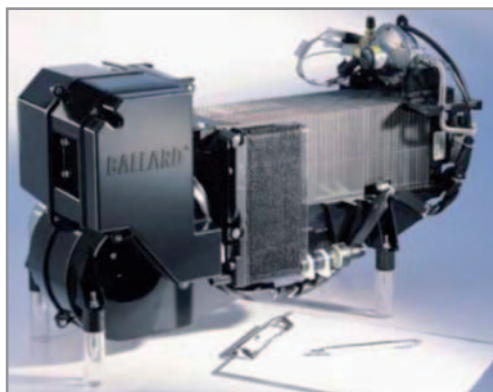
Рис. 9. Устройство единичной сборки (мембранно-электродный блок) ТЭТПЭ

В ТЭТПЭ используются перфорированные полимерные мембраны типа Nafion фирмы DuPont (США). Разработку, оптимизацию и производство протонообменных мембран ведут также другие крупнейшие компании США, Японии, Канады, такие как Ballard Advanced Materials, Asachi Glass Co., Fumatek (рис. 10). Разработка и опытное производство ТЭТПЭ ведется с середины 70-х гг. и в России в ОАО «Пластполимер».





а



б

**Рис. 10.** Системы энергоснабжения домов на ТЭПЭ (а) и батарея ТЭПЭ с электрической мощностью 1,2 кВт (б) фирмы Ballard Power Systems Inc. [4]

Особенностью перфторированных полимерных мембран является то, что их сопротивление существенно зависит от их влагосодержания и температуры. Перфторированная основа мембраны обуславливает ее относительно высокие гидрофобные свойства, и при повышении температуры мембрана при контакте с газовой фазой достаточно быстро теряет воду, что ведет к росту ее сопротивления. Именно этот фактор обуславливает относительно низкие температуры эксплуатации ТЭПЭ (до 80 °С) и существенные технические проблемы со стабилизацией водного баланса системы: поскольку ионы  $H^+$  переносятся к кислородному электроду в гидратированном состоянии (1-2 молекулы воды на ион), то это ведет к осушке и росту сопротивления в первую очередь слоя мембраны, контактирующего с водородным электродом. В связи с этим ведется интенсивный, но пока малоуспешный поиск перфторированных мембран с высокой химической стойкостью (например, мембраны на основе аморфного термопластичного полимера – полибензимидазола с сорбированной в матрице мембраны фосфорной кислотой, обеспечивающей протонную проводимость).

Для обеспечения стабилизации влагосодержания (увлажнение) разрабатываются самоувлажняющиеся мембраны.

Эффекта самоувлажнения добиваются введением в материал мембраны сорбентов воды (например,  $TiO_2$  и  $SiO_2$ ) или катализаторов реакции образования воды из водорода и кислорода, диффундирующих через мембрану, например, наночастицы Pt [2]. Решению проблемы водного баланса в мембране также способствует уменьшение ее толщины. В этом случае диффузионный перенос образующейся на кислородном электроде воды к водородному электроду компенсирует ее потери. Однако снижение толщины мембраны до менее 30...50 мкм маловероятно из-за увеличения скорости диффузионного переноса водорода через мембрану (уменьшение коэффициента использования топлива) и недостаточной механической прочности мембраны.

Относительно низкие рабочие температуры ТЭПЭ создают определенные проблемы с организацией теплоотвода, например, при установке ТЭПЭ на автомобиле. Кроме того, температурные ограничения обуславливают еще одну проблему – отравление платинового катализатора монооксидом углерода, присутствующим в топливе, полученном конверсией органического топлива. Оксид углерода прочно адсорбируется на поверхности платины, препятствуя адсорбции и окислению водорода, что снижает ток ТЭПЭ.

Катализаторы – важнейший компонент ТЭПЭ, обеспечивающий высоко-развитую поверхность раздела между катализатором и полимерным электролитом, и представляют собой сложную многокомпонентную структуру из частиц катализатора на носителе (электронные проводники), ионообменного полимера (протонный проводник) и системы газовых и жидкостных пор, ответственных за подвод/отвод реагентов и воды.

В качестве катализаторов для ТЭПЭ используется либо платина, либо ее сплавы с другими благородными металлами. Это обусловлено тем, что мембрана имеет ярко выраженные кислотные свойства, и такие металлы, как Ni, Co, Cr и т.п., оказываются химически нестойкими, особенно на кислородном электроде. Разрабатываемые комплексные соединения типа порфиринов, фталоцианинов и химически стойкие соединения металлов пока не достигли необходимой каталитической активности и стабильности.

Традиционными материалами для коллекторов тока являются гидрофобизированная углеродная бумага и углеграфитовая ткань с общей пористостью 50...70 %. Наиболее известными производителями являются фирма E-TEK (США), выпускающая коллекторы тока толщиной 0,09...0,35 мм под торговой маркой Toray Carbon Paper, SGL Carbon Group (Германия) и др.

Именно материалы компонентов мембранно-электродных блоков ТЭПЭ во многом определяют стоимость батарей ТЭПЭ и их ресурс. Основными причинами деградации характеристик батареи ТЭ являются окисление углеродного носителя катализатора и окислительная деструкция мембраны из ПЭ.

В настоящее время разработаны и изготавливаются ТЭПЭ мощностью до 500 кВт для различных областей применения. Стоимость батареи ТЭПЭ

составляет около 50 % стоимости всей установки. Современные ЭУ стоят более 3000 долларов США за 1 кВт мощности. Однако снижение цены в 2 раза возможно уже в ближайшем будущем при увеличении объемов производства ЭУ.

Для ЭУ на ТЭПЭ характерны быстрый пуск и останов, хорошие пусковые свойства сохраняются до температуры  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а также высокая маневренность по производительности (возможность работы при плотностях тока от нуля до  $1\text{ А/см}^2$ ). Наиболее перспективные области применения – транспорт, резервное/аварийное энергообеспечение, децентрализованная энергетика на основе возобновляемых источников энергии, а также портативные зарядные устройства.

На автомобилях и автобусах устанавливают практически только ТЭПЭ. К 2020 г. департамент энергетики США планирует снизить стоимость ТЭПЭ до 30 долл. за 1 кВт мощности. Это означает, что силовая установка мощностью 100 кВт будет стоить 3000 долл. США, что сопоставимо со стоимостью двигателя внутреннего сгорания.

Одним из безусловных лидеров в производстве ТЭ для транспорта является компания Ballard. ТЭПЭ производства этой компании используют Daimler-Chrysler, Ford, Honda, Nissan и др. На рис. 11 показан автомобиль NECAR-5 (Mercedes-Benz A Class), разработанный корпорацией Daimler-Chrysler. В автомобиле использовался ТЭПЭ Ballard Mark 900. Топливом для автомобиля NECAR-5 служил метанол с использованием риформера. Мощность топливных элементов 75 кВт. Достигнутая скорость автомобиля – 150 км/ч [2].

Кроме легковых автомобилей, создаются прототипы автобусов, армейских джипов, локомотивов, прогулочных катеров, военных кораблей с силовыми установками на ТЭПЭ (рис. 12) [2].



Рис. 11. Автомобиль NECAR-5 с силовой установкой на ТЭПЭ



Рис. 13. ЭУ SU-1 для децентрализованного энергообеспечения на ТЭПЭ



Рис. 12. Подводная лодка класса U-212 с ЭУ на ТЭПЭ производства Siemens AG

Применение ЭУ с ТЭПЭ для децентрализованного энергообеспечения стационарных объектов развивается не столь интенсивно (хотя это направление считается наиболее перспективным), однако и такие ЭУ, работающие на продуктах конверсии природного газа, успешно прошли натурные испытания.

Примером использования ТЭПЭ для энергообеспечения зданий может служить ЭУ SU-1 с конвертером природного газа производства компании Plug Power Corporation (рис. 13). Мощность ЭУ 5 кВт, рабочее напряжение 120/240 В, частота 60 Гц. ЭУ установлена параллельно основной системе электроснабжения здания.

Расширяется применение ТЭПЭ в качестве портативных источников электропитания и в первую очередь для зарядных устройств портативной оргтехники. На рис. 14 показано зарядное устройство компании Voller energy мощностью 70 Вт и напряжением на выходе 13,8 В. Рабочая температура от 5 до 40 °С, масса 8 кг, размеры 178×448×410 мм. Топливо – водород чистотой 99,99 %, который может получаться из гидридных соединений при давлении 1,6 МПа или из борогидрида натрия.



Рис. 14. Зарядное устройство компании Voller energy

Относительно новым направлением является применение ТЭПЭ в авиации. Так, в рамках европейского проекта New Configured Aircraft (CELINA) Airbus разрабатывает конструкцию самолета A330-300, где 40...60 % электроэнергии будут вырабатывать ТЭПЭ [6, 7].

## Энергоустановки на ТЭ с фосфорнокислым электролитом

ЭУ такого типа – единственные машины гражданского назначения, достигшие стадии промышленного мелкосерийного производства. Пионер в разработке и производстве ЭУ на фосфорнокислых топливных элементах (ФКТЭ) – американская компания United Technology Corporation (UTC). Дочерняя компания UTC Fuel Cell (UTC Power) производит ЭУ на ФКТЭ PC-25C™ (PureCell 200) мощностью в одном агрегате 200 кВт (рис. 15). Цифра в названии установки означает порядковый номер разработанной конструкции, то есть данная ЭУ имела большой ряд предшественников.



Рис. 15. Первая в России энергетическая установка PC-25™ на ФКТЭ на промышленной площадке организации ОАО «Газпром»

Интенсивная разработка ТЭ этого типа началась с конца 60-х гг. прошлого века в Японии, Европе и США для автономного теплоэлектроснабжения стационарных объектов средней мощности (до 200 кВт) – банков, гостиниц, больниц и т.п. В настоящее время наряду с ЩТЭ это наиболее отработанные ТЭ, прошедшие испытания в различных областях применения. Именно на их основе в США и Японии созданы демонстрационные электростанции мощностью до 11 МВт (рис. 16).

Рабочая температура ФКТЭ

170...210 °С. Электролит – 95–98%-ный водный раствор фосфорной кислоты ( $H_3PO_4$ ) в пористой термостойкой матрице из карбида кремния с фторопластовым связующим. Выбор фосфорной кислоты обусловлен ее более высокой химической стабильностью при рабочих температурах эксплуатации и меньшей коррозионной активностью по сравнению с другими неорганическими кислотами, которые можно было использовать в качестве электролита ( $HCl$ ,  $H_2SO_4$  и т.д.). Электроды – пластины из стеклографитового волокна, активированные катализатором. В качестве катализаторов на обоих электродах используется платина на углеродном носителе (сажа) или ее сплавы (например, тройной сплав платины, иридия и железа Pt-Ir-Fe). В настоящее время стандартные коммерчески доступные электроды для ФКТЭ содержат  $0,35 \pm 0,05$  мг/см<sup>2</sup> платины.



а



б

Рис. 16. Энергетические комплексы с ЭУ на ФКТЭ:

а – система энергоснабжения из пяти установок PC-25 почтового предприятия в Анкоридже (США); б – энергетический комплекс мощностью 11 МВт с ЭУ PC-25 (Япония)

## Научные тренды

20

Однако кислая среда и повышенные температуры интенсифицируют коррозионные процессы, в частности, окисление углеродного носителя катализатора и материала электродов. При этом окисление углерода протекает и при взаимодействии с парами воды в условиях разомкнутой цепи. В связи с этим рекомендуемое рабочее напряжение на ячейке составляет не более 0,70...0,75 В. Удельная мощность и плотность тока заметно ниже, чем для ТЭПЭ и ЩТЭ, что, в частности, обусловлено более высоким сопротивлением пористой матрицы с электролитом.

На рис. 17 приведена схема работы ЭУ РС-25 на ФКТЭ, а в табл. 2 – ее основные параметры.

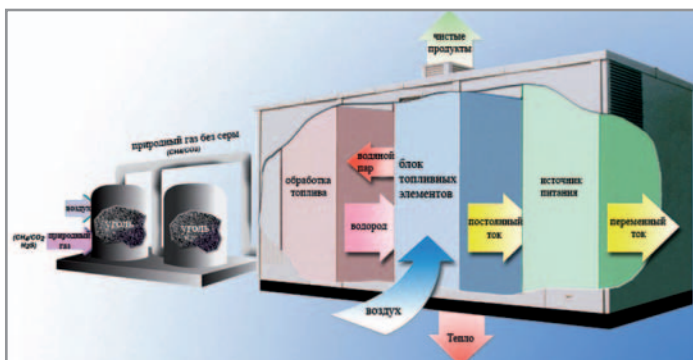


Рис. 17. Схема работы ЭУ на ФКТЭ

Дальнейшим развитием ЭУ на ФКТЭ компании UTC является ЭУ РС-400 мощностью 400 кВт (рис. 18).



Рис. 18. ЭУ РС-400 компании UTC

Коммерческие ЭУ различных модификаций компании UTC мощностью 200 кВт работают в США, Канаде, Европе, Японии и России. Первые установленные ЭУ уже наработали десятки тысяч часов, некоторые из них работают более 40 тыс. ч без капитального ремонта. Большинство ЭУ эксплуатируются параллельно сети, но отдельные работают автономно.

ЭУ на ФКТЭ имеют уникальные показатели по выбросам вредных веществ в атмосферу (табл. 3), а уровень вибрации и шума энергоустановок сравним с бытовым кондиционером.

Таблица 2

Основные технические показатели установки РС-25™ (PureCell 200)

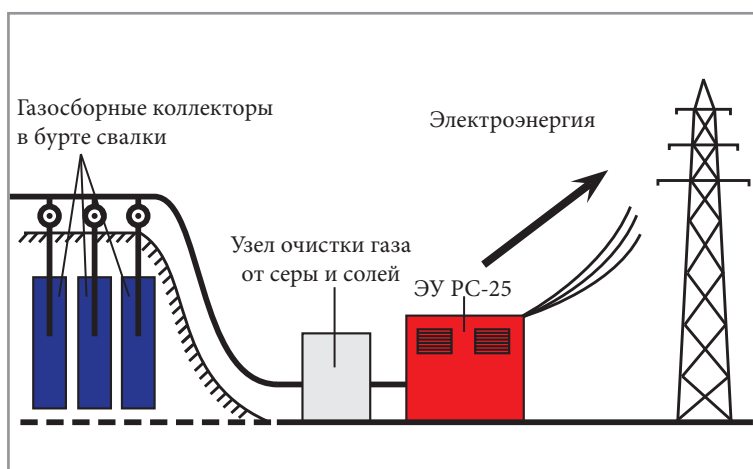
Параметры	Значение
Мощность, кВт	200
Электрическая энергия	480 В, 60 Гц, или 400 В, 50 Гц, 3 фазы
Потребление топлива, м <sup>3</sup> /ч	58 (природный газ)
Выбросы, ppm	
CO	Менее 2
NO <sub>x</sub>	Менее 1
SO <sub>x</sub>	–
Тепловая энергия, кВт·ч	132 (при температуре 120 °С)
Уровень шума, дБ	60 (допускается установка внутри здания)
Габаритные размеры, мм	3070 × 2900 × 5380
Масса, т	18,144

Таблица 3  
Загрязняющие выбросы тепловых электростанций и ЭУ на основе ФКТЭ

Энергетические установки	Концентрация, мг/м <sup>3</sup> (при α=1,4)				
	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	CH <sub>4</sub>	Твердые частицы
ТЭС на буром угле	200	200	50	7	10
ТЭС на природном газе	5	100	100	10	2
ЭУ на ФКТЭ на природном газе	0	3...5	7...10	3...8	0



а



б

Рис. 19. ЭУ РС-25, работающая на анаэробно переработанном газе городской свалки:  
а – ЭУ РС-25 С<sup>TM</sup> на закрытой свалке г. Гротон в штате Коннектикут (США);  
б – схема работы ЭУ на анаэробно переработанном газе

Применение ЭУ на ФКТЭ открыло возможность создания очистных сооружений принципиально нового типа. На рис. 19 показана ЭУ РС-25, работающая на анаэробно переработанном газе городской свалки. В Нью-Йорке 8 ЭУ работают на газе от канализационно-очистных сооружений, который состоит из метана (примерно 60 %) и диоксида углерода (примерно 40 %)

В области разработки ЭУ на ФКТЭ различной мощности работают такие компании как Wesinghause (США), Siemens (Германия), Toshiba, Mitsubishi, Hitachi (Япония) и др. (рис. 20).

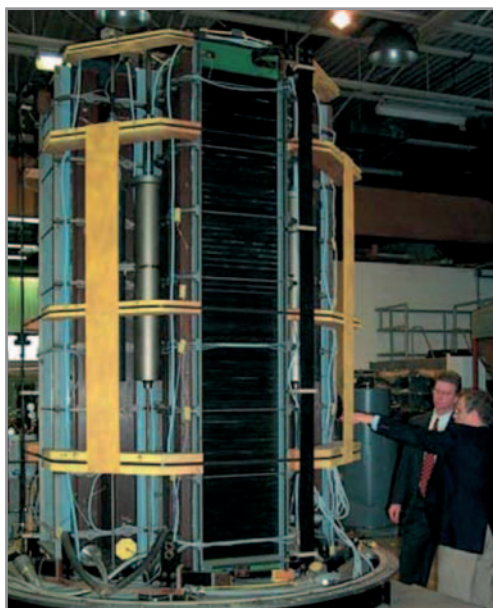
Несмотря на высокий уровень до-

стижений в области ФКТЭ перспективы их дальнейшего развития и широкой коммерциализации остаются не совсем ясными. В какой-то мере это обусловлено их средним по температуре положением среди других типов ТЭ. Так, при транспортном применении (особенно, если речь идет о городском транспорте) их во многом превосходят ТЭТПЭ, имеющие почти в 2 раза более высокую удельную мощность, меньшие массогабаритные показатели и что немаловажно – меньшее время пуска и тепловые потери.

При этом расход металлов платиновой группы в этих ТЭ сопоставим.



а



б

**Рис. 20.** Батареи ФКТЭ:

а – сборка батареи ФКТЭ мощностью 200 кВт;  
б – батарея ФКТЭ мощностью 400 кВт

При стационарном энергоснабжении более привлекательными смотрятся установки на основе высокотемпературных ТЭ, обеспечивающие возможность эффективной конверсии природного газа за счет отходящей теплоты и позволяющие исключить применение благородных металлов. Тем не менее, установки на основе ФКТЭ являются наиболее надежными для решения задач децентрализованного энергообеспечения и представляют несомненный интерес для

транспортных средств большой мощности, работающих в основном в базовом режиме (речные и морские суда, локомотивы). Если анонсируемый компаниями-изготовителями ресурс до 80 тыс. ч (по наиболее оптимистическим прогнозам) при стоимости 2000 долл. США/кВт и менее будет реализован в ближайшем будущем, то ФКТЭ смогут занять достаточно большую нишу на рынке топливных элементов.

*Окончание в следующем номере.*

## Литература

1. Фильштих В. Топливные элементы. – М.: Мир, 1968. – 416 с.
2. Козлов С.И., Фатеев В.Н. Водородная энергетика: современное состояние, проблемы, перспективы / Под ред. Е.П. Велихова. – М.: Газпром ВНИИГАЗ, 2009. – 520 с.
3. Бродянский В.М. Вечный двигатель – прежде и теперь. – М.: Энергоиздат, 1989. – 252 с.
4. <http://www.ballard.com>
5. Smitha B., Sridhar S., Khan A.A. Synthesis and characterization of proton conducting polymer membranes for fuel cells // Journal of Membrane Science. – 2003. – № 225. – P. 63–76. <http://www.siemenswestinghouse.com>
6. Fuel Cell – HFP Brussels 17/18 March 2005 – EEV – Ref. PR0501855 – Issue 1.
7. Евстифеев А.А., Заева М.А., Хетагуров Я.А. Применение математического моделирования при испытаниях и отработке сложных технических систем // Вестник Национального исследовательского ядерного университета МИФИ. – 2013. – Т. 2. – № 1. – С. 115.

# Работа дизелей на многокомпонентных водотопливных эмульсиях

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

Рассмотрены возможные пути использования рапсового масла в качестве топлива для дизелей. Проведены экспериментальные исследования работы дизеля Д-245.12С на многокомпонентных топливных эмульсиях различного состава. Показана возможность улучшения показателей токсичности отработавших газов при использовании многокомпонентных эмульсий в качестве топлива для автомобильных дизелей.

**Ключевые слова:**

дизельный двигатель, дизельное топливо, водотопливная эмульсия, рапсовое масло, многокомпонентная эмульсия.

**В** последние годы в качестве реальной альтернативы нефтяным дизельным топливам рассматриваются топлива, получаемые из различных растительных масел: подсолнечного, рапсового, хлопкового, соевого, льняного, пальмового, арахисового, сурепного и некоторых других. Объем производства растительных масел в мире к 2000 г. достиг уровня 80 млн т/год, а к 2020 г. по прогнозам он составит уже около 220 млн т [1, 2].

Применительно к условиям европейской части России одной из наиболее перспективных масличных культур является рапс. С одного гектара пахотных земель можно получить около 3 т рапсового масла (РМ), стоимость которого соизмерима с ценой нефтяного дизельного топлива. Причем рапсовое масло как топливо для дизельных двигателей можно произвести не только методом

прессования (отжим), но и экстрагированием [2, 3]. Экстрагирование растительных масел проводят в специальных аппаратах при температуре 50...55 °С растворителем (бензин, гексан или этанол). Эта технология может применяться уже после прямого отжима, что позволяет достичь наиболее полного извлечения масла из маслосемян.

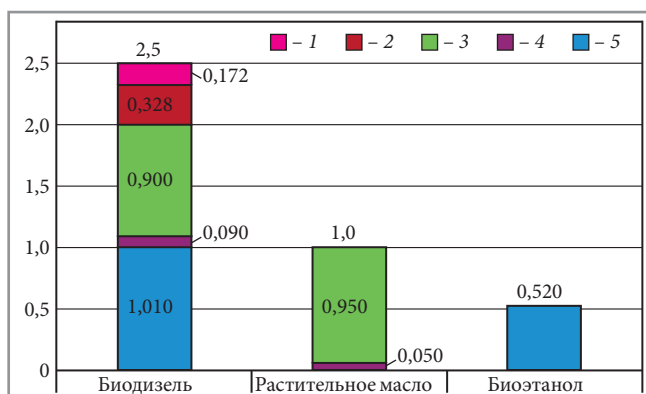
Получаемое при той или иной технологии переработки рапсовое масло может быть использовано как самостоятельное топливо для дизелей, в смесях различного состава со стандартным дизельным топливом (ДТ) или переработано в метиловый эфир рапсового масла (МЭРМ). Возможно получение и более сложных эфиров – этилового и бутилового, но они дороже по сравнению с МЭРМ. Все перечисленные эфиры, в свою очередь, применяются как самостоятельное биотопливо или как





смесевое (в смеси с дизельным топливом).

В качестве примера можно привести направления реализации биотоплива в Германии, где ежемесячно около 80 тыс. т РМ используется как прямой заменитель моторного топлива. И это без учета еще более значительных объемов потребления рапсового масла отраслью для производства МЭРМ. В 2006 г. сбыт биодизельного топлива (биодизель или метиловые эфиры растительных масел) в Германии составил 2,5 млн т, в том числе 1,01 млн т было использовано как примесь к нефтяному дизельному топливу и 0,5 млн т реализовано через бензоколонки для легковых и грузовых автомобилей. Кроме этого, в качестве моторного топлива был использован 1 млн т рапсового масла (рис. 1) [2].



**Рис. 1.** Объемы и направления реализации биотоплива в Германии, млн т:

1 – через бензоколонки для легковых автомобилей; 2 – через бензоколонки для грузовых автомобилей; 3 – для транспортных компаний и грузоперевозчиков; 4 – на нужды сельского хозяйства; 5 – как добавка к традиционному нефтяному топливу

Еще одним направлением использования рапсового масла как моторного топлива является его эмульгирование с водой или другими альтернативными топливами (спирты, эфиры и др.). Применение указанных эмульсий позволяет решить ряд проблем, возникаю-

щих при работе дизельных двигателей на растительных маслах и их производных. В частности, эмульгирование растительных масел водой является эффективным средством улучшения качества распыливания топлива и смесеобразования. При впрыскивании такого топлива в камеру сгорания дизеля и его нагреве легкокипящие частицы воды взрывоподобно превращаются в пар, подвергая окружающие их частицы топлива дополнительному дроблению и турбулентному перемешиванию за счет выбросов паров воды из капель топлива. Поэтому время существования капелек эмульгированного топлива сокращается по сравнению с существованием капелек чистого ДТ, что уменьшает продолжительность процесса смесеобразования и улучшает его качество. Вследствие этого отмечается уменьшение дымности отработавших газов (ОГ). Другим положительным эффектом, возникающим при использовании эмульгированных топлив, является возможность снижения выбросов с ОГ наиболее значимого токсичного компонента – оксидов азота  $NO_x$ . Это объясняется тем, что впрыскивание в камеру сгорания дизеля водотопливных эмульсий позволяет снизить температуру конца сжатия, среднюю и максимальную температуры цикла, что благоприятно сказывается на эмиссии  $NO_x$ .

Следует также отметить, что при работе дизельных двигателей на растительных маслах и их производных отмечается повышенное закоксовывание распылителей форсунок [2, 4]. Эффективным путем решения этой проблемы является использование эмульгированных топлив. Вода, содержащаяся в водотопливных эмульсиях, способствует очищению распыливающих отверстий форсунок от коксовых отложений.

Применяемые в дизелях эмульгированные топлива обычно представляют собой эмульсии нефтяного дизельного топлива и воды. Также в качестве топлива для дизелей могут использоваться

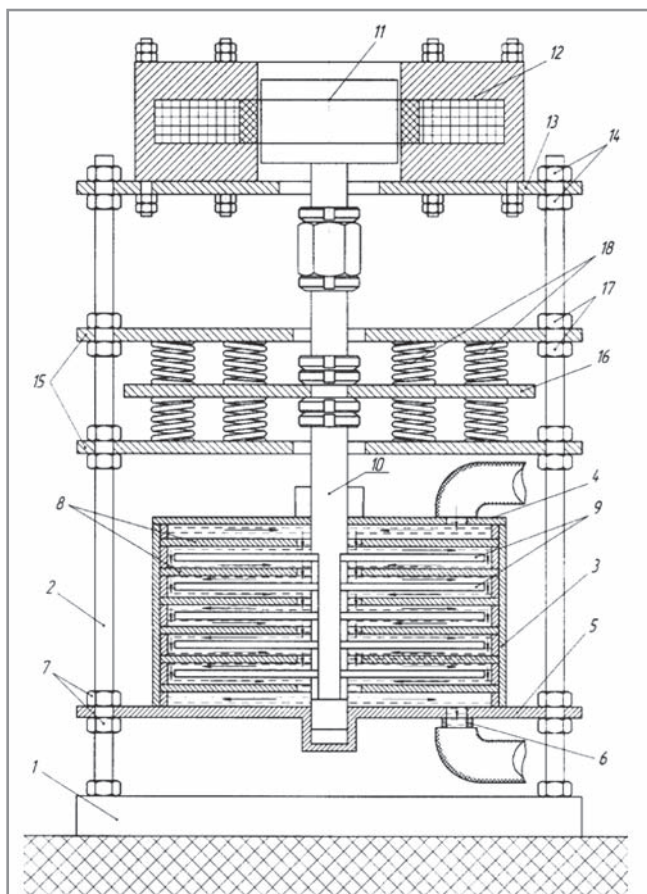
и многокомпонентные эмульсии, содержащие, кроме воды и дизельного топлива, ряд других компонентов, например, растительные масла, эфиры растительных масел и спирты [5–7].

При создании многокомпонентных эмульсий появляется больше возможностей для получения топлива с необходимыми свойствами. В результате можно значительно улучшить показатели дизеля, работающего на этих топливах. Для оценки возможности улучшения экологических показателей современного отечественного транспортного дизельного двигателя проведены экспериментальные исследования дизеля Д-245.12С (4 ЧН 11/12,5), выпускаемого Минским моторным заводом. В этом дизеле с камерой сгорания типа ЦНИДИ реализуется объемно-пленочное смесеобразование. Двигатель был оснащен топливной системой, которая включала ТНВД фирмы Motorpal (Чехия) типа PR4M10U1f с диаметром плунжеров  $d_{пл} = 10$  мм и их полным ходом  $h_{пл} = 10$  мм, топливопроводы высокого давления с внутренним диаметром 2,0 мм и длиной  $L_T = 540$  мм, а также форсунки ФДМ-22 производства АО «Куроаппаратура» (г. Вильнюс, Литва), которые были отрегулированы на давление начала впрыскивания  $p_{ф0} = 21,5$  МПа. Суммарная эффективная площадь распылителей составляла  $\mu_r f_p = 0,25$  мм<sup>2</sup>.

Целью исследований являлась оценка показателей топливной экономичности и токсичности ОГ дизеля при его работе на многокомпонентных эмульгированных топливах различного состава. Дизель типа Д-245.12С испытывался на чистом ДТ и на многокомпонентных эмульсиях. При этом исследовано два вида многокомпонентных эмульсий. Первая из них была получена путем смешивания двух объемных частей нефтяного дизельного топлива марки Л по ГОСТ 305–82 и одной объемной части эмульсии, содержащей 70 % (об.) рапсового масла и 30 % воды. В результате

эмульсия № 1 содержала 67 % ДТ (об.), 23 % РМ и 10 % воды. Вторая многокомпонентная эмульсия представляла собой смесь четырех объемных частей дизельного топлива марки Л по ГОСТ 305–82 и трех объемных частей эмульсии, содержащей 70 % (об.) рапсового масла и 30 % воды. Эта эмульсия № 2 содержала 57 % ДТ (об.), 30 % РМ и 13 % воды.

Необходимо отметить, что указанная исходная эмульсия РМ и воды хорошо смешивалась с нефтяным дизельным топливом без привлечения дополнительных устройств для смешивания этих компонентов. Для получения исходной эмульсии РМ и воды использовано эмульгирующее устройство (рис. 2) [8]. Оно включает основание 1 в виде массивной плиты, на которой закреплены четыре направляющие стойки 2, выполненные в виде прутков, снабженных метрической резьбой по всей длине. Реактор 3 выполнен в виде цилиндрической емкости с верхней 4 и нижней 5 крышками. Каждая из крышек снабжена патрубком 6, предназначенным для впуска и выпуска реакционных сред. Нижняя крышка 5 имеет фланец, выходящий за габарит реактора 3, с четырьмя отверстиями для стоек 2. Фиксация реактора 3 осуществляется с помощью гаек 7. В реакторе 3 установлен ряд чередующихся неподвижных 8 и подвижных 9 дисков. Последние посредством штока 10 связаны с якорем 11 электромагнитного двигателя, статор 12 которого посредством фланца 13 связан со стойками 2 с помощью гаек 14. Между якорем 11 и реактором 3 на стойках 2 смонтированы три параллельных диска: внешние 15 и внутренний 16. Внешние диски фиксируются на стойках 2 с помощью гаек 17, а внутренний диск закреплен на штоке 10 на равном расстоянии от внешних дисков. В промежутках между дисками установлены пружины 18, в совокупности с дисками образующие упругую систему устройства.



**Рис. 2.** Схема эмульгирующего устройства: 1 – основание; 2 – направляющие стойки; 3 – реактор; 4 – верхняя крышка; 5 – нижняя крышка; 6 – патрубок; 7, 14, 17 – гайки; 8 – неподвижные диски; 9 – подвижные диски; 10 – шток; 11 – якорь электромагнитного двигателя; 12 – статор электромагнитного двигателя; 13 – фланец; 15 – внешние диски; 16 – внутренний диск; 18 – пружины

Эмульгирующее устройство работает следующим образом. Через верхний патрубок 6 (см. рис. 2) в реактор вводятся среды, подлежащие перемешиванию, – РМ и вода. При поступлении их в реактор включают электромагнитный двигатель, якорь 11 которого совершает колебательные движения с заданной частотой и амплитудой. Они, в конечном итоге, и определяют свойства получаемой эмульсии. Колебательные движения якоря 11 через шток 10 передаются на подвижные диски 9, которые

перемещаются между неподвижными дисками 8, изменяя объем пространства между ними. Это вызывает попеременное растяжение и сжатие сред, находящихся между дисками, их турбулизацию и возбуждение в средах кавитационных пузырьков. Все это способствует тщательному перемешиванию ДТ и воды.

Для снижения энергоемкости процесса перемешивания расчетным или экспериментальными методами определяется частота собственных колебаний подвижной части устройства путем изменения затяжки пружин 18 упругой системы. За счет перемещения внешних дисков 15 относительно внутреннего диска 16 осуществляется корректировка собственной частоты подвижной части устройства для приближения ее к фиксированной частоте вынуждающей силы, развиваемой якорем 11, и достижения резонансного режима работы устройства. Размещение устройства на направляющих стойках с возможностью перемещения его основных узлов значительно облегчает сборку устройства и осуществление различных регулировок, например, установку расстояния между подвижными и неподвижными дисками в реакторе, регулирование магнитного зазора между якорем и статором электромагнитного двигателя и др.

Для получения стойких эмульсий РМ и воды применен эмульгатор – алкенилсукцинимид мочевины (СИМ), производимый по ТУ 38.1011039–85. Он представляет собой вязкую, прозрачную, растворимую в углеводородах жидкость светло-коричневого цвета. Содержание эмульгатора в эмульгированном топливе не превышало 0,5 % (масс.). Полученная эмульсия была достаточно стабильна: расслоение ее на две фракции происходило лишь после нескольких недель хранения. Однако первоначальные вид и свойства эмульсии восстанавливались путем ее простого взбалтывания. Физико-химические свойства исследуемых топлив представлены в табл. 1.

Таблица 1  
**Физико-химические свойства дизельного топлива,  
 воды и эмульгированных топлив**

Физико-химические свойства	Топлива				
	ДТ	РМ	Вода	Эмульсия № 1 (67% ДТ, 23% РМ и 10% воды)	Эмульсия № 2 (57% ДТ, 30% РМ и 13% воды)
Плотность при 20 °С, кг/м <sup>3</sup>	830	916	998,2	866,6	877,7
Вязкость кинематическая при 20 °С, мм <sup>2</sup> /с	3,8	75,0	1,006	–	–
Коэффициент поверхностного натяжения $\sigma$ при 20 °С, мН/м	27,1	33,2	72,7	–	–
Теплота сгорания низшая, МДж/кг	42,5	37,3	–	36,75	35,07
Цетановое число	45	36	–	–	–
Количество воздуха, необходимое для сгорания 1 кг вещества, кг	14,3	12,5	–	12,46	11,92
Содержание, % по массе					
С	87,0	77,0		76,0	72,7
Н	12,6	12,0		11,2	10,8
О	0,4	11,0		2,8	3,5
H <sub>2</sub> O	0	0	100	10,0	13,0
Общее содержание серы, % по массе	0,200	0,002	0	0,134	0,115

**Примечание.** «–» – свойства не определялись; для смесей ДТ, РМ и воды указано объемное процентное содержание компонентов.

При определении нижней теплоты сгорания эмульсий применялась эмпирическая формула Д.И. Менделеева в виде

$$H_U = [81 C + 246 H - 26 (O - S) - 6 W] \times 4,1868 \text{ [кДж/кг]},$$

где С, Н, О, S, W – содержание углерода, водорода, кислорода, серы и воды W, % (масс.).

Последняя формула, записанная для массовых долей С, Н, О, S, W, принимает вид

$$H_U = 33913 C + 102995 H - 10886 O + 10886 S - 2512 W \text{ [кДж/кг]}.$$

Количество воздуха, необходимое для сгорания 1 кг топлива, определялось из выражений

$$L_0 = (1/0,21) \times (C/12 + H/4 - O/32) \text{ [кмоль воздуха/кг топлива]},$$

и

$$l_0 = L_0 \mu_v \text{ [кг воздуха/кг топлива]},$$

где  $\mu_v = 28,93$  – молекулярная масса воздуха.

Испытания дизеля Д-245.12С проведены на моторном стенде АМО ЗИЛ, оборудованном необходимой измерительной

аппаратурой. Дымность ОГ измерялась с помощью ручного дымомера МК-3 фирмы Hartridge (Великобритания) с погрешностью измерения  $\pm 1\%$ . Концентрации NO<sub>x</sub>, CO, CH в ОГ определялись газоанализатором SAE-7532 японской фирмы YANACO с погрешностями измерения  $\pm 1\%$ .

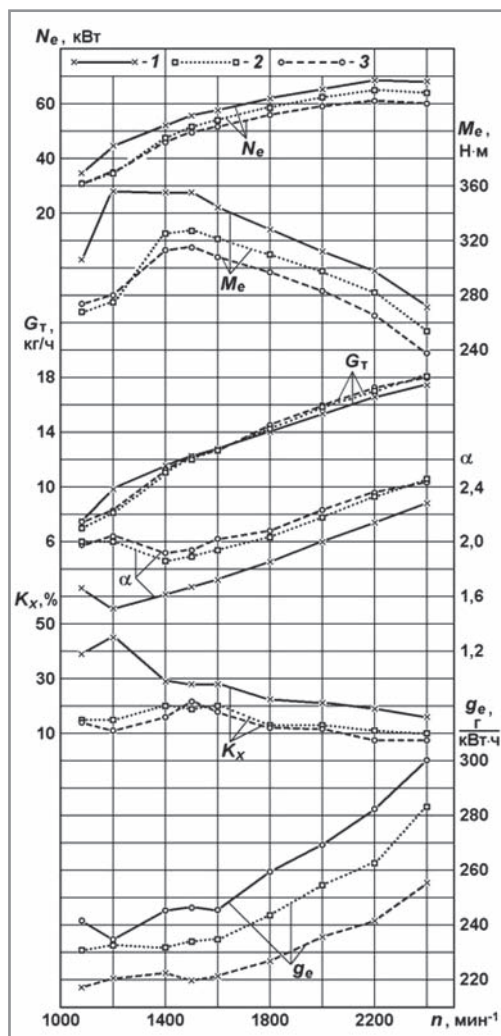
Программа исследований дизеля Д-245.12С предусматривала его работу на различных установившихся режимах, с частотой вращения коленчатого вала  $n$  от 850 до 2400 мин<sup>-1</sup> и крутящим моментом дизеля  $M_e$  от 0 до 360 Н·м. Дизель исследовался при неизменном положении упора дозирующей рейки ТНВД (упор максимальной подачи топлива) с постоянным штатным для исследуемого дизеля установочным углом опережения впрыскивания топлива, равным  $\theta = 13^\circ$  поворота коленчатого вала до верхней мертвой точки (ВМТ). На первом этапе проведены исследования на режимах внешней скоростной характеристики дизеля в диапазоне частот вращения коленчатого

вала двигателя  $n$  от 1000 до 2400 мин<sup>-1</sup>. Затем были определены показатели дизеля при его работе на режимах 13-ступенчатого испытательного цикла Правил 49 ЕЭК ООН.

Результаты экспериментальных исследований дизеля Д-245.12С, проведенных на режимах внешней скоростной характеристики, представлены на рис. 3. Эти данные свидетельствуют о том, что перевод дизеля с ДТ на эмульгированные топлива не приводит к существенному изменению часового расхода топлива  $G_T$  (за исключением режимов с низкой частотой вращения при  $n < 1400$  мин<sup>-1</sup>). Но при этом из-за пониженного содержания горючих компонентов (углерод и водород) в исследуемых эмульгированных топливах при их использовании мощностные показатели дизеля (эффективная мощность  $N_e$  и крутящий момент  $M_e$ ) заметно снижаются (табл. 2). Вследствие пониженного содержания горючих компонентов в эмульгированных топливах отмечается и рост коэффициента избытка воздуха  $\alpha$  (см. рис. 3).

Пониженная теплотворная способность исследуемых эмульсий при питании двигателя этими эмульгированными топливами приводит к увеличению удельного эффективного расхода топлива  $g_e$  (см. рис. 3 и табл. 2). Однако при этом эффективность процесса сгорания, характеризуемая эффективным КПД двигателя  $\eta_e$ , даже повышается. Так, на режиме максимального крутящего момента при  $n = 1500$  мин<sup>-1</sup> переход с ДТ на эмульгированное топливо № 1 привел к росту  $\eta_e$  от 0,386 до 0,419 (на 8,5 %), а на режиме максимальной мощности при  $n = 2400$  мин<sup>-1</sup> – от 0,332 до 0,346 (на 4,2 %).

Использование исследуемых эмульгированных топлив позволяет заметно снизить дымность ОГ. Так, при переходе от ДТ на эмульсию № 1 на режиме максимального крутящего момента при  $n = 1500$  мин<sup>-1</sup> дымность ОГ  $K_x$



**Рис. 3.** 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  $n$  коленчатого вала дизеля типа Д-245.12С на режимах внешней скоростной характеристики при использовании различных топлив:

1 – ДТ; 2 – эмульсия 67 % ДТ, 23 % РМ и 10 % воды; 3 – эмульсия 57 % ДТ, 30 % РМ и 13 % воды

снизилась с 28,0 до 19,0 % по шкале Хартриджа, а на режиме максимальной мощности при  $n = 2400$  мин<sup>-1</sup> – с 16,0 до 10,0 % (см. рис. 3 и табл. 2).

Оценка показателей двигателя при его работе на режимах с различной

Таблица 2  
Показатели дизеля Д-245.12С, работающего на различных топливах

Наименование	Вид топлива		
	ДТ	67% ДТ, 23% РМ и 10% воды	57% ДТ, 30% РМ и 13% воды
Часовой расход топлива $G_T$ , кг/ч на режиме максимальной мощности на режиме максимального крутящего момента	17,42 12,25	18,07 12,01	17,97 12,20
Крутящий момент $M_e$ , Н·м на режиме максимальной мощности на режиме максимального крутящего момента	271 355	254 327	238 315
Дымность ОГ $K_x$ , % по шкале Хартриджа на режиме максимальной мощности на режиме максимального крутящего момента	16,0 28,0	10,0 19,0	7,5 21,5
Удельный эффективный расход топлива $g_e$ , г/(кВт·ч) на режиме максимальной мощности на режиме максимального крутящего момента	255,5 219,7	283,1 233,9	300,2 246,3
Эффективный КПД дизеля $\eta_e$ на режиме максимальной мощности на режиме максимального крутящего момента	0,332 0,386	0,346 0,419	0,342 0,417
Условные (средние) показатели топливной экономичности дизеля на режимах 13-ступенчатого цикла эффективный расход топлива $g_{e,усл}$ , г/(кВт·ч) эффективный КПД $\eta_{e,усл}$	248,12 0,341	260,79 0,376	273,82 0,374
Интегральные удельные выбросы токсичных компонентов на режимах 13-ступенчатого цикла, г/(кВт·ч) оксиды азота $e_{NO_x}$ монооксид углерода $e_{CO}$ несгоревшие углеводороды $e_{CH}$	6,610 3,612 1,638	6,153 2,988 2,543	5,552 3,316 2,071

нагрузкой проведена по экспериментальным данным, полученным при работе дизеля на режимах 13-ступенчатого испытательного цикла. Такие данные по часовому расходу топлива  $G_T$  (рис. 4а) свидетельствуют о том, что на большинстве исследуемых режимов при использовании рассматриваемых эмульгированных топлив часовой расход топлива несколько возрастает, что связано, в первую очередь, с большей плотностью эмульгированных топлив.

Тип применяемого топлива оказывает определяющее влияние на токсичность ОГ двигателя, то есть на выбросы нормируемых газообразных токсичных компонентов ОГ – оксидов азота  $NO_x$ , монооксида углерода  $CO$  и легких несгоревших углеводородов  $CH$ . Характеристики концентрации в ОГ оксидов

азота  $C_{NO_x}$  (рис. 4б) подтверждают возможность значительного снижения эмиссии этого токсичного компонента ОГ за счет подачи эмульгированных топлив в камеру сгорания дизеля. В частности, на режиме максимального крутящего момента при  $n=1500 \text{ мин}^{-1}$  переход с ДТ на эмульсию № 1 привел к уменьшению концентрации  $C_{NO_x}$  от 0,0750 до 0,0700 %, а на режиме максимальной мощности при  $n=2400 \text{ мин}^{-1}$  – от 0,0495 до 0,0465 %.

Тип применяемого топлива оказывает заметное влияние и на эмиссию с ОГ продуктов неполного сгорания топлива – монооксида углерода  $CO$  и несгоревших углеводородов  $CH$ . Из данных по содержанию в ОГ монооксида углерода  $C_{CO}$  (рис. 4в) следует, что на режиме максимального крутящего момента при  $n=1500 \text{ мин}^{-1}$  переход с ДТ

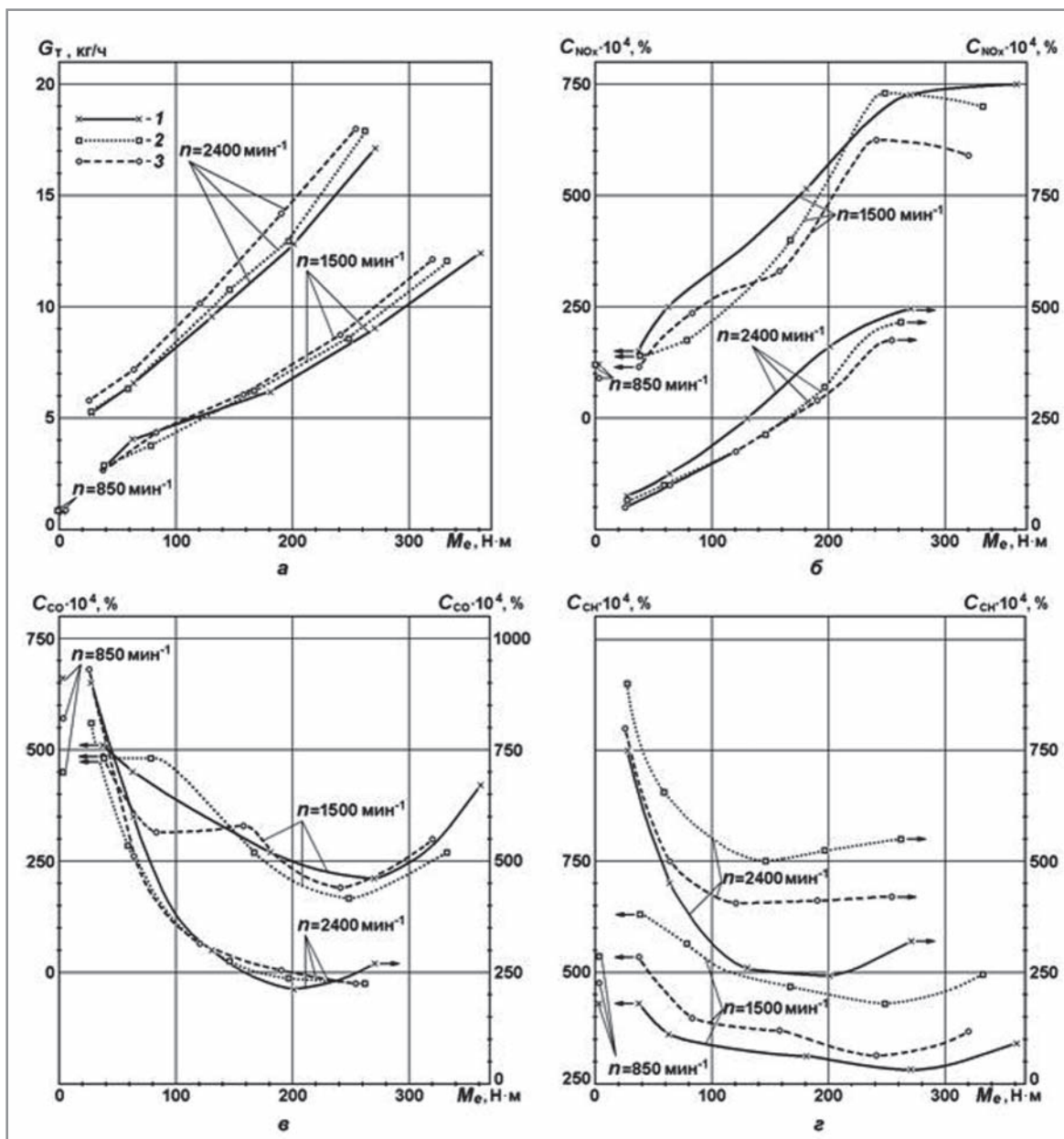


Рис. 4. Зависимость часового расхода топлива  $G_t$  (а), объемной концентрации в ОГ оксидов азота  $C_{NOx}$  (б), монооксида углерода  $C_{CO}$  (в) и несгоревших углеводородов  $C_{CH}$  (г) от частоты вращения  $n$  и крутящего момента  $M_e$  дизеля типа Д-245.12С при использовании различных топлив:

1 – ДТ; 2 – эмульсия 67 % ДТ, 23 % РМ и 10 % воды; 3 – эмульсия 57 % ДТ, 30 % РМ и 13 % воды

на эмульсию № 1 сопровождается снижением концентрации  $C_{CO}$  от 0,0420 до 0,0270 %, а на режиме максимальной мощности при  $n=2400$  мин<sup>-1</sup> – от 0,0270 до 0,0225 %.

При питании исследуемого дизеля эмульгированными топливами выбросы

несгоревших углеводородов  $C_{CH}$  практически на всех режимах возрастают (рис. 4г). В частности, на режиме максимального крутящего момента при  $n=1500$  мин<sup>-1</sup> переход с ДТ на эмульсию № 1 привел к росту концентрации  $C_{CH}$  от 0,0340 до 0,0494 %, а на

режиме максимальной мощности при  $n=2400 \text{ мин}^{-1}$  – от 0,0320 до 0,0550 %.

По приведенным на рис. 4 (б, в, г) характеристикам содержания в ОГ нормируемых токсичных компонентов (оксиды азота  $\text{NO}_x$ , монооксид углерода  $\text{CO}$ , несгоревшие углеводороды  $\text{CH}$ ) с использованием общепринятых методик рассчитаны их интегральные удельные массовые выбросы на режимах 13-ступенчатого цикла Правил R49 (соответственно  $e_{\text{NO}_x}$ ,  $e_{\text{CO}}$ ,  $e_{\text{CH}}$ ). Оценка эксплуатационного расхода топлива на режимах 13-ступенчатого цикла проведена по среднему (условный) удельному эффективному расходу топлива, который определялся с использованием зависимости [4]

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

где  $G_{\text{ти}}$  – часовой расход топлива на  $i$ -м режиме;  $K_i$  – весовой коэффициент (доля времени) данного режима.

Поскольку эмульгированные топлива имеют меньшую теплотворную способность, топливную экономичность дизеля при его работе на этих топливах целесообразно оценивать не удельным эффективным расходом топлива  $g_e$ , а эффективным КПД дизеля  $\eta_e$ . Причем, для интегральной оценки работы дизеля на режимах 13-ступенчатого цикла использован условный эффективный КПД, определяемый из соотношения [4]

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

Результаты расчетов, проведенных по изложенной методике, представлены в табл. 2. Данные этой таблицы подтверждают возможность снижения эмиссии оксидов азота с ОГ дизеля Д-245.12С при его переводе с ДТ на

эмульгированные топлива. Так, при работе дизеля на режимах 13-ступенчатого цикла и переходе с ДТ на эмульсию № 1 удельный массовый выброс оксидов азота  $e_{\text{NO}_x}$  уменьшился с 6,610 до 6,153 г/(кВт·ч), то есть на 6,9 %. При этом эффективный КПД дизеля  $\eta_{e \text{ усл}}$  повысился с 0,341 до 0,376, или на 10,3 %. Следует также отметить, что при переходе с ДТ на эмульгированное топливо № 1 интегральный на режимах 13-ступенчатого цикла удельный массовый выброс монооксида углерода  $e_{\text{CO}}$  уменьшился с 3,612 до 2,988 г/(кВт·ч), то есть на 17,3 %. Однако отмечено одновременное увеличение эмиссии несгоревших углеводородов. При переходе с ДТ на эмульсию № 1 интегральный на режимах 13-ступенчатого цикла удельный массовый выброс несгоревших углеводородов  $e_{\text{CH}}$  возрос с 1,638 до 2,513 г/(кВт·ч), или на 55,3 %.

Рост эффективности процесса сгорания (эффективный КПД дизеля  $\eta_e$ ) и снижение дымности ОГ  $K_x$  при работе на эмульгированных топливах объясняются улучшением качества процесса смесеобразования за счет возникновения так называемых микро-взрывов, наблюдающихся при повышенных температурах в камере сгорания дизеля [4]. Их появление обусловлено тем, что капли эмульгированного топлива состоят из частиц, внутри которых располагается большое количество хаотически движущихся включений воды. При температурах, превышающих температуру кипения воды ( $t > 100 \text{ }^\circ\text{C}$ ), эти включения быстро испаряются, что приводит к микротурбулизации топливовоздушной смеси, снижению расхода топлива, уменьшению содержания в ОГ сажевых частиц. Кроме того, присутствие значительного количества паров воды в зонах камеры сгорания с недостатком кислорода препятствует крекингу топлива при высоких температурах, а также



способствует газификации образовавшегося ранее углерода, что также приводит к значительному уменьшению сажеобразования.

Наблюдаемое при подаче воды в цилиндры дизеля снижение температур сгорания, вызванное повышенной теплотой парообразования воды ( $Q_{\text{п}}=2260$  кДж/кг при  $t=100$  °С; у дизельных топлив –  $Q_{\text{п}}=220\dots300$  кДж/кг), благоприятно сказывается на выбросах с ОГ оксидов азота. Отмеченный при испытаниях существенный рост выбросов несгоревших углеводородов может быть устранен путем совместной оптимизации геометрии струй распыливаемого топлива и формы камеры сгорания, а также установкой в выпускной системе каталитического нейтрализатора, эффективно очищающего ОГ от содержащихся в них монооксида углерода и легких несгоревших углеводородов.

Необходима и оптимизация угла опережения впрыскивания топлива. Одновременная реализация этих мероприятий позволит удовлетворить современные жесткие требования к токсичности ОГ исследуемого двигателя.

Следует отметить, что наилучшее сочетание показателей топливной экономичности и токсичности ОГ достигнуто при использовании эмульсии № 1, содержащей 67 % ДТ, 23 % РМ и 10 % воды. Но требуется проведение дополнительных исследований для определения оптимального состава рассматриваемых многокомпонентных эмульгированных топлив. В целом, проведенный комплекс экспериментальных исследований подтвердил возможность и эффективность использования многокомпонентных эмульгированных топлив в отечественных транспортных дизелях.

## Литература

1. **Девянин С.Н., Марков В.А., Семенов В.Г.** Растительные масла и топлива на их основе для дизельных двигателей внутреннего сгорания. – М.: ИЦ ФГОУ ВПО МГАУ, 2008. – 340 с.
2. Использование растительных масел и топлив на их основе в дизельных двигателях // В.А. Марков, С.Н. Девянин, В.Г. Семенов и др. – М.: ООО НИЦ «Инженер», ООО «Онико-М», 2011. – 536 с.
3. Биоэнергетика: Мировой опыт и прогнозы развития / Л.С. Орсики, Н.Т. Сорочкин, В.Ф. Федоренко и др. Под ред. В.Ф. Федоренко. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2008. – 404 с.
4. **Марков В.А., Баширов Р.М., Габитов И.И.** Токсичность отработавших газов дизелей. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 376 с.
5. **Maxson T., Logan B., O'Brien S.** Performance in Diesel and Biodiesels of Fluorosilicone Rubber Materials user for Automotive Quick Connector Fuel Line ORings and Other Sealing Applications // SAE Technical Paper Series. – 2001. – № 2001-01-1124. – 9 p.
6. **Yoshimoto Y., Tamaki H.** Reduction of  $\text{NO}_x$  and Smoke Emissions in a Diesel Engine Fueled by Biodiesel Emulsion Combined with EGR // SAE Technical Paper Series. – 2001. – № 2001-01-0649. – 9 p.
7. **Goering C.E., Fry B.** Engine Durability Screening Test of a Diesel Oil / Soy Oil / Alcohol Microemulsion Fuel // Journal of the American Oil Chemists' Society. – 1984. – Vol. 61. – № 10. – P. 1627-1632.
8. **Марков В.А., Девянин С.Н., Шумовский В.А.** Работа дизелей на водотопливных эмульсиях // Транспорт на альтернативном топливе. – 2012. – № 3. – С. 67-71.

# Индикаторы экологической результативности и безопасности эксплуатации автотранспортных средств на природном газе

Г.С. Акопова, начальник лаборатории ОАО «Газпром ВНИИГАЗ», к.т.н.,  
Н.Л. Власенко, ведущий научный сотрудник ОАО «Газпром ВНИИГАЗ», к.биол.н.,  
Р.В. Тетеревлев, главный технолог ОАО «Газпром»

Рассмотрено воздействие на окружающую среду автотранспортных средств, использующих разные виды органического топлива, при эксплуатации. Приведены сравнительные характеристики удельных выбросов загрязняющих веществ в составе отработавших газов двигателей при сжигании моторных топлив. Для решения проблемы загрязнения атмосферного воздуха городов наиболее целесообразным является путь перевода транспорта, в первую очередь автомобильного, на метан, поскольку это топливо безопасно и обладает экологическими и экономическими преимуществами среди традиционных видов моторных топлив.

**Ключевые слова:**

экологическая безопасность, автотранспортные средства, моторные топлива, выбросы загрязняющих веществ, природный газ, воздействие на окружающую среду.

## Энергоносители в мировом топливно-энергетическом балансе

**Р**оссийская транспортная отрасль в последние годы все-речь озабочена проблемой топливной экономичности и экологичности автотранспорта. Так, в рамках VII Международного форума «Транспорт России», проходившего в Москве в декабре 2013 г., отмечено, что ключевым инструментом решения проблемы является, прежде всего, переход на газ как моторное топливо.

Топливо-энергетический комплекс

(ТЭК) является сложной межотраслевой системой добычи и производства топлива и энергии, их транспортировки, распределения и использования. Анализ перспектив развития мировой топливной энергетики свидетельствует о заметном смещении приоритетных проблем в сторону всесторонней оценки возможных последствий влияния использования топлива и энергетики на окружающую среду, жизнь и здоровье населения. ТЭК в целом и его

энергопотребляющие установки, оборадование, транспортные средства по степени влияния на окружающую среду принадлежат к числу наиболее интенсивно воздействующих на биосферу и представляют собой источники неизбежного, потенциального, до настоящего времени практически не учитываемого риска. Поэтому поиск экономически и экологически эффективных видов топлива становится глобальной задачей государственной важности во всем мире.

Функционирование и развитие современной топливно-энергетической сферы, основанные на потреблении ископаемых видов топлива, должны обеспечивать экологическую безопасность, поскольку ТЭК является одним из основных источников загрязнения окружающей природной среды.

Динамика показателей экологической безопасности энергетики в целом представлена в табл. 1 и показывает уровни снижения характеристик в соответствии с продвижением этапов Энергетической стратегии России [1].

При этом следует отметить, что уровень использования попутного нефтяного газа (ПНГ) в 2012 г. по Группе «Газпром» составил около 70 %:

- месторождения ОАО «Газпром» – 85 %;

- Группа «Газпром нефть» – 65,3 %.

Максимального уровня использования ПНГ (95 %) по месторождениям ОАО «Газпром» планируется достичь к 2014 г., а по Группе «Газпром нефть» – к 2016 г. [2].

### Воздействие на окружающую среду автотранспортных средств

В многочисленных исследованиях показано, что основным загрязнителем окружающей среды в городах является не промышленность, а автотранспорт, на долю которого приходится по разным данным до 70 % загрязнений воздушного бассейна. Кроме того, транспорт является одним из основных источников шума в городах и вносит значительный вклад в тепловое загрязнение окружающей среды.

Воздействие на атмосферный воздух при эксплуатации автотранспортных средств включает выбросы продуктов возгонки и терморазложения масла, износа резины и металла (26 %), загрязняющих веществ в составе отработавших газов (ОГ) двигателей внутреннего сгорания (65 %), а также испарения моторного топлива (9 %) [3].

В отработавших газах двигателей

Таблица 1

### Индикаторы экологической безопасности энергетики России

Индикаторы	Первый этап	Второй этап	Третий этап
Снижение удельных показателей выбросов загрязняющих веществ (ЗВ) в атмосферный воздух, сброса загрязненных сточных вод в водоемы, образования отходов предприятиями энергетического сектора, % к уровню 2005 г.	Не менее 15 %	Не менее 30 %	Не менее 50 %
Обеспечение уровня эмиссии парниковых газов, % к уровню 2005 г.	Не более 83 %	Не более 90 %	Не более 105 %
Коэффициент утилизации ПНГ (в 2005 г. – 75 %)	95 %	95 %	95 %

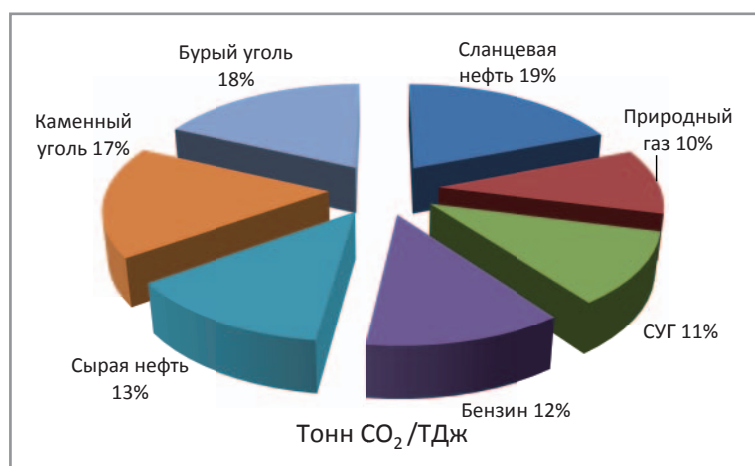
внутреннего сгорания содержится более 200 наименований загрязняющих веществ, в том числе канцерогенных, мутагенных и эмбриотоксичных. Наиболее экологически значимыми ЗВ, для которых устанавливаются удельные нормативы выбросов при сжигании различных видов топлива, являются оксиды азота и углерода, диоксид серы, а также твердые частицы (сажа и зола). Показатели удельных выбросов ЗВ, образующихся при сжигании различных видов топлива, являются важным параметром выбросов, характеризующим воздействие различных видов топлива на окружающую среду и позволяющим провести сравнительный анализ с расчетом эколого-экономической эффективности топлив.

В работе Коняева С.В. и соавторов [4] обобщены и систематизированы данные, полученные российскими и зарубежными исследователями, по удельным выбросам газообразных веществ и твердых частиц в атмосферу, образующихся при сжигании традиционных видов топлива (торф, дрова, каменный и бурый уголь, мазут, природный газ). Приведенные показатели по удельным выбросам твердых частиц, продуктов неполного сгорания топлива (канцерогенный бенз(а)пирен и оксид углерода), тяжелых металлов при сжигании основных видов топлива изменяются в широких пределах даже для одного вида топлива,

в том числе для природного газа.

Обобщенные данные по удельным выбросам ЗВ при сжигании угля, мазута и природного газа, представленные в табл. 2, указывают на экологические преимущества природного газа перед углем и мазутом по общему количеству ЗВ, в том числе твердым ЗВ и тяжелым металлам [4].

По данным межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) при сжигании природного газа образуется наименьшее количество парниковых газов (рис. 1).



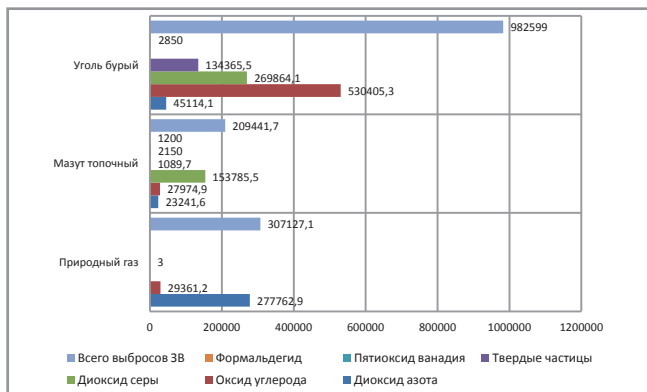
**Рис. 1.** Выбросы CO<sub>2</sub> при сжигании разных видов топлива

В то же время данные аналитиков компании CCGS показывают, что автомобильный транспорт стал основным источником дополнительных выбросов CO<sub>2</sub> в 2011 г., когда общий

Таблица 2

**Обобщенные данные по сумме удельных выбросов ЗВ при сжигании угля, мазута и природного газа**

Выбросы ЗВ	Вид углеводородного топлива		
	Уголь	Нефть	Природный газ
Общее количество ЗВ, кг/т у.т.	305	50	3
В том числе твердые ЗВ, кг/т у.т.	231	0,1	0,0002
тяжелые металлы, г/т у.т.	0,7...1,1	0,6...0,9	Отсутствуют

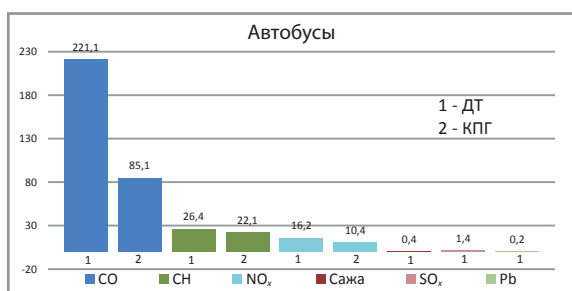


**Рис. 2.** Сравнение выбросов в атмосферу (т/год) при сжигании разных видов топлива по перечню основных загрязняющих веществ

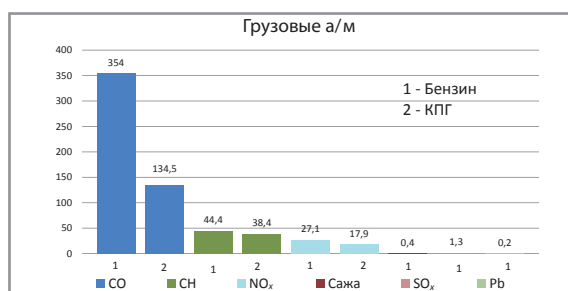
объем выбросов РФ вырос на 4,47 % (до 2,32 млрд т CO<sub>2</sub> экв.). Выбросы CO<sub>2</sub> от автотранспорта увеличились в 2011 г. в сравнении с 2010 г. на 48,8 млн т (36,8 %) и достигли 181,4 млн т, а в сравнении с последним докризисным годом (2008 г.) они возросли на 64,7 млн т (55 %) [5].

Данные по удельным выбросам в атмосферный воздух всех исследованных в работе [6] ЗВ, образующихся при сжигании разных видов топлива, также являются подтверждением экологических преимуществ сжигания природного газа (рис. 2).

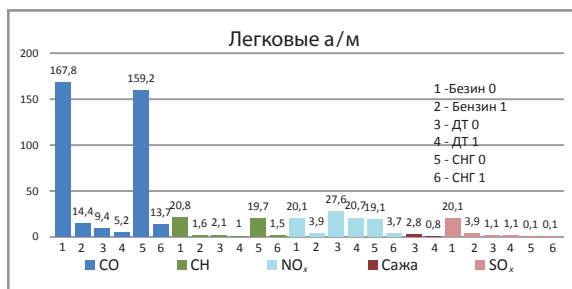
## Удельные выбросы загрязняющих веществ при сжигании моторных топлив



а



б



в

**Рис. 3.** Выбросы загрязняющих веществ (кг/т у.т.) с отработавшими газами автобусов (а), грузовых (б) и легковых (в) автомобилей

В табл. 3 представлены данные Европейского агентства по охране окружающей среды, характеризующие вклад транспортного сектора Европы

Таблица 3

### Выбросы транспортного сектора Европы в атмосферный воздух

Показатели	Выбросы ЗВ транспортного сектора (% от всех выбросов)					
	CO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	Летучие органические соединения	Твердые частицы	SO <sub>x</sub>
Транспортный сектор	20	58	30	18	27	21
В том числе автотранспорт	Отсутствие данных	33	27	13	10	Отсутствие данных

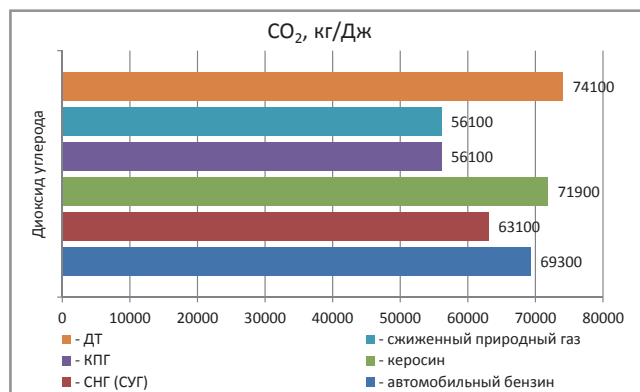
(автомобильный, железнодорожный, морской и речной транспорт, международная и местная авиация) в выбросы ЗВ в атмосферный воздух. Данные табл. 3 свидетельствуют о значительной доле выбросов ЗВ транспортным сектором относительно общего количества выбросов.

Сравнительные значения удельных выбросов основных ЗВ с отработавшими газами автотранспорта при сжигании дизельного топлива (ДТ), сжатого природного газа (КПГ) и бензинов [7] представлены на рис. 3.

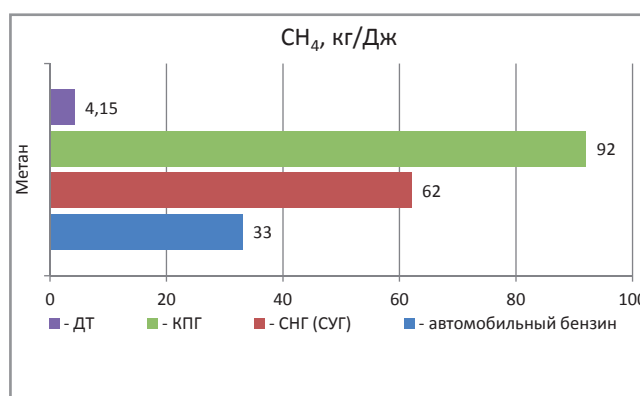
Анализ выбросов ЗВ с отработавшими газами для автобусов и грузовых автомобилей при сжигании бензина, ДТ и КПГ (рис. 3) показывает несомненные экологические преимущества использования КПГ в качестве моторного топлива.

Удельные значения выбросов парниковых газов при сжигании моторного топлива, как показано выше, а также подтверждено данными (рис. 4), свидетельствуют о наименьших выбросах  $\text{CO}_2$  и отсутствии выбросов  $\text{CH}_4$ , характерных для СПГ [8].

Данные табл. 4 по выбросам токсичных веществ в составе ОГ бензинового и дизельного двигателей на разных видах топлива по ряду показателей показывают преимущество СПГ [6]. Однако



а



б

Рис. 4. Удельные выбросы  $\text{CO}_2$  (а) и  $\text{CH}_4$  (б) автомобильным транспортом, кг/Дж

по результатам этой работы наличие полиароматических углеводородов (ПАУ) в выбросах двигателя при сжигании СПГ в отсутствие образования сажи является дискуссионным.

Таблица 4

#### Выбросы токсичных веществ при работе бензинового и дизельного двигателей на разных видах топлива, г/км пробега

Вещество	Бензиновый двигатель			Дизельный двигатель	
	Бензин	Бензин (двигатель с системой снижения токсичности ОГ)	КПГ	Дизельное топливо	Двухтопливная система
Оксид углерода	2,5...10	1...2,5	0,5...1,5	0,2...1,6	0,2...1,0
Оксиды азота	1...1,8	0,25...0,45	0,5...0,9	0,5...1,8	0,5...1,8
Неметановые углеводороды	1,0...2,0	0,1...0,2	0,1...0,2	0,1...0,2	0,1...0,2
Сажа (дымность по Хартриджу, %)	-	-	-	4...40	2...15
ПАУ	0,003...0,03	0,0015...0,02	0,003...0,009	-	-

В качестве справочных данных в табл. 5–7 представлены удельные выбросы ЗВ при сгорании весовой или объемной единицы (кг, м<sup>3</sup>) моторного топлива в двигателях легковых и грузовых автотранспортных средств разных экологических классов.

Таблица 5

### Удельный выброс ЗВ при сгорании 1 кг дизельного топлива

Тип АТС	Экологический класс АТС	Удельный выброс, г/кг					
		CO	VOC	NO <sub>x</sub>	PM	SO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>
Легковые автомобили	Евро-0	13,6	3,0	40,0	4,0	1,6	3070
	Евро-1 и выше	7,5	1,4	30,0	1,1	1,6	3100
Грузовые автомобили и автобусы полной массой до 3500 кг	Евро-0	30,0	10,0	50,0	4,0	1,6	3020
	Евро-1 и выше	8,6	4,3	25,0	1,1	1,6	3090
Грузовые автомобили и автобусы полной массой более 3500 кг	Евро-0	30,0	10,0	50,0	4,0	1,6	3020
	Евро-1 и выше	8,6	4,3	25,0	1,4	1,6	3090

Таблица 6

### Удельный выброс ЗВ при сгорании 1 кг сжиженного нефтяного газа

Тип АТС	Экологический класс АТС	Удельный выброс, г/кг				
		CO	VOC	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>
Легковые автомобили	Евро-0	250,0	31,0	30,0	0,12	2520
	Евро-1 и выше	21,5	2,4	5,8	0,12	2970
Грузовые автомобили и автобусы полной массой до 3500 кг	Евро-0	250,0	31,0	30,0	0,12	2520
	Евро-1 и выше	21,5	2,4	5,8	0,12	2970
Грузовые автомобили и автобусы полной массой более 3500 кг	Евро-0	360,0	39,0	30,0	0,12	2350

Таблица 7

### Удельный выброс ЗВ при сгорании 1 м<sup>3</sup> КПГ

Тип АТС	Экологический класс АТС	Удельный выброс, г/м <sup>3</sup>				
		CO	VOC	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>
Грузовые автомобили и автобусы полной массой более 3500 кг	Евро-0	140,0	14,0	20,0	0,08	2500

Таблица 8

### Сравнение удельных выбросов ЗВ с ОГ при работе дизеля на ДТ и БТ

Удельные выбросы, г/(элс·ч)	ДТ	БТ	Отличие, %
NO <sub>x</sub>	5	5,5	10
ТЧ	0,05	0,015	70
CO	15,5	7,5	52
CH	1,3	0,75	42,3
SO <sub>2</sub>	0,17	0	
CO <sub>2</sub> (минеральное происхождение)	563	27	
CO <sub>2</sub> (растительное происхождение)	0	548	
ΣCO <sub>2</sub>	563	575	2,1

Добавление к ДТ биотоплива (БТ) влияет на его экологические показатели, что продемонстрировано в работе [9] сравнением удельных выбросов ЗВ в составе отработавших газов дизеля при работе на ДТ и БТ (табл. 8).

При определении выбросов  $\text{CO}_2$  были рассчитаны доли углерода минерального и растительного происхождения, участвующего в образовании  $\text{CO}_2$ , для ДТ и БТ по полному жизненному циклу. Для ДТ эта величина составила 633 г, для БТ – 136 г. При использовании ДТ  $\text{CO}_2$  образуется полностью из углерода минерального происхождения. При использовании БТ  $\text{CO}_2$  образуется из углерода растительного происхождения. Считается, что он полностью поглощается растениями на полях. Но для производства БТ применяется метанол, и если он получен из природного газа, то используется углерод минерального происхождения. Поэтому происходит только частичное преобразование  $\text{CO}_2$ . В работе [9] приводится вывод о том, что при добавлении БТ выбросы  $\text{CO}_2$  снижаются не на 100, а только на 79 %.

Согласно графику, приведенному на рис. 5, при увеличении доли биотоплива в составе ДТ пропорционально снижаются выбросы твердых частиц, СО и СН. При работе на БТ наблюдается снижение выбросов твердых частиц на 48 %, СО на 48 %, СН на 70 %. Но при этом наблюдается рост выделения  $\text{NO}_x$ , которые при полном переводе двигателя на БТ составляют 10 %.

Приведенные данные показывают преимущества природного газа среди моторных топлив ввиду наличия больших объемов сырья и сравнительно низкой стоимости, а также благодаря теплофизическим свойствам и полноте сгорания. Содержание ЗВ в составе отработавших газов двигателей существенно ниже, чем при использовании бензина и ДТ: оксида углерода – в 5–20, оксидов азота – в 3–4, несгоревших углеводородов – в 2–3 раза [7].

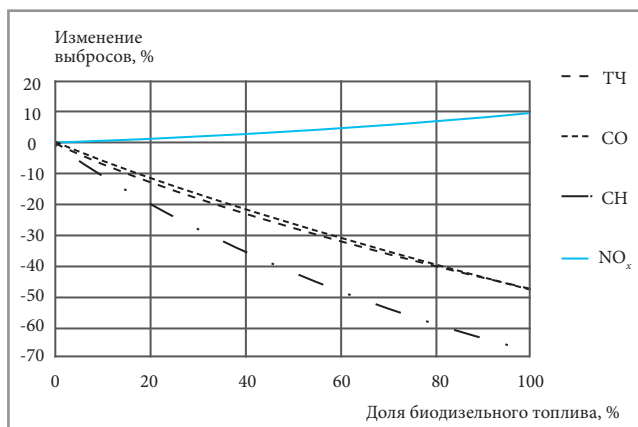


Рис. 5. Влияние добавки биотоплива на выбросы ЗВ с отработавшими газами

## Использование КПГ в мире

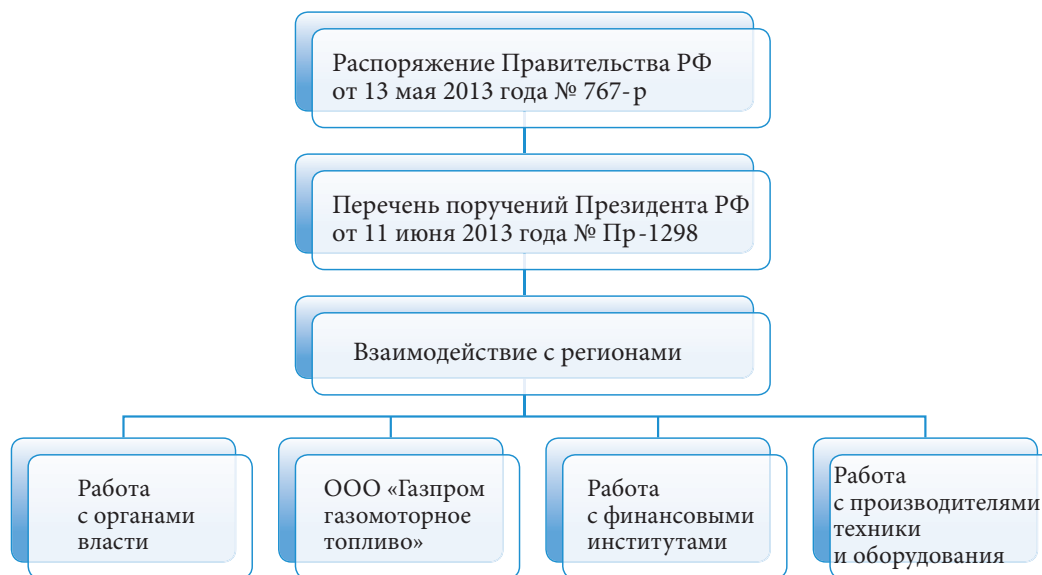
Во всем мире резко возрос интерес к использованию природного газа.

В условиях поиска эффективных способов использования энергоресурсов развитие газомоторного рынка и разработка экономичных видов топлива в России становятся программой государственного значения (рис. 6), что отражено в следующих документах:

- Распоряжении Правительства РФ от 13.05.2013 г. № 767-р по вопросам использования природного газа в качестве моторного топлива;
- поручениях ООО «Газпром газомоторное топливо» по разработке комплексного плана расширения использования газа в качестве моторного топлива, где предусмотрен перевод на газ железнодорожного, речного, морского транспорта и сельскохозяйственной техники (Общество ведет работу с федеральными и региональными властями, банками и лизинговыми компаниями, производителями техники на метане и газобаллонного оборудования).

В 2013 г. в ОАО «Газпром» начали реализацию масштабной программы газификации автотранспорта, которая кардинально решает экологические проблемы крупнейших городов России.





**Рис. 6.** Развитие рынка газомоторного топлива в России

Европейская экономическая комиссия ООН рекомендует перевести к 2020 г. 23 % автомобилей на альтернативные виды моторного топлива, в том числе на природный газ – 10 % парка стран Европы. В настоящее время уже более 50 автомобильных компаний мира продают более 150 модификаций автомобилей, работающих на природном газе. Страны-лидеры – Пакистан, Иран, Аргентина, Бразилия, Индия, Италия, Китай, Германия, США, а в целом газ используется в качестве моторного топлива более чем в 80 странах мира. Россия также должна войти в число лидеров по использованию газомоторного топлива [10]. В транспортной стратегии экологичность заявлена как один из шести приоритетов развития транспортной системы Российской Федерации. Правительство РФ приняло постановление, которое, в частности, предполагает к 2020 г. перевести на газ до 50 % общественного и дорожно-коммунального транспорта в городах-миллионниках [5].

Природный газ по экономическим, экологическим, ресурсным и техническим критериям еще долго будет оставаться наилучшим моторным топливом.

В настоящее время на КПП работают 14,7 млн автомобилей, что составляет 1,63 % мирового парка (900 млн ед.). В последние годы мировой парк автомобилей, работающих на природном газе, увеличивается на 25...30 % (см. рис. 1).

Согласно прогнозу Международного газового союза парк газобаллонного автотранспорта к 2020 г. будет насчитывать 50 млн ед., а к 2030 г. – более 100 млн. Сегодня в мире насчитывается уже более 20 тыс. автомобильных газонаполнительных компрессорных станций (АГНКС), из них 250 расположены на территории 59 субъектов РФ.

Инфраструктура заправочных станций уже существует или быстро развивается в ряде стран, например, в Германии, Швеции, Швейцарии, Австрии, Италии. В Южной Корее 95 % муниципальных автобусов работают на КПП. В Риме транспорт на альтернативном топливе освобожден от уплаты налогов на 3 года. Во Франции действует запрет на использование нефтяного топлива на муниципальных автобусах. В Швеции «газобусы» освобождены от сборов на платных стоянках. На сегодняшний день многие мировые автопроизводители

осуществляют серийный выпуск автомобилей, использующих КПП (Audi, BMW, Cadillac, Ford, Mercedes-Benz, Chrysler, Honda, KIA, Toyota, Volkswagen и другие).

Бурное развитие этого направления объясняется тем, что перевод автомобилей с бензина на природный газ обусловлен физико-химическими свойствами газа, наиболее безопасными выбросами ОГ автотранспорта и снижением шумового воздействия.

Преимущества метана по экономическим, экологическим, ресурсным и техническим критериям в сравнении с другими источниками энергии приближают его к понятию идеального моторного топлива.

За последнее десятилетие объемы использования природного газа (метан) в качестве топлива для автотранспорта во всем мире выросли на порядок. В качестве моторного топлива природный газ широко используется, прежде всего, в странах, имеющих собственные газовые месторождения, а также озабоченных проблемами экономической стабильности, энергетической и экологической безопасности. К таким странам относятся Пакистан, Аргентина, Бразилия, Индия, Китай и США. Причем в первых трех число газобаллонных автомобилей на порядок превышает газовые автопарки других стран. Набирает обороты потребление природного газа и в России.

Также природный газ активно используется в Западной Европе, но здесь основной стимул для его применения в качестве моторного топлива – экологическая составляющая, цена топлива отходит на второй план.

Число автомобилей на метане продолжает увеличиваться. Основными причинами стремительного роста являются:

- экономические преимущества;
- экологические показатели;
- безопасность.

## Экономические преимущества использования метана

Метан – самое дешевое моторное топливо во всем мире, и на ближайшую перспективу его запасы не исчерпаются.

Несмотря на свободный рынок в нашей стране КПП является единственным видом моторного топлива, цена которого в России ограничена законодательно (постановление Правительства Российской Федерации от 15.01.1993 г. № 31) и не может превышать 50 % стоимости низкооктанового бензина (А-80). Данное ограничение действует без изменений с 1993 г.

Помимо стоимости, важным конкурентным преимуществом метана является бесперебойность его поставок. При росте цен на бензин и возможности возникновения дефицита топлива на АЗС автобусы на метане не испытывают проблем ни с ценой, ни с наличием топлива в силу того, что к АГНКС он поступает по трубопроводу.

Кроме того, важными преимуществами метана являются независимость его физико-химических свойств от низких температур, а также стабильность свойств при транспортировке и хранении. Метан по сути из недр земли попадает сразу в «бак» автомобиля, проводится только его обязательная очистка и осушка с отсутствием сложных химических процессов.

## Экологические показатели

Как уже было сказано, на долю автотранспорта приходится по разным данным от 70 до 90 % загрязнений атмосферы городов. Именно поэтому во всем мире ужесточают требования к экологической безопасности автомобилей, действуют жесткие стандарты Евро-4, Евро-5 и ожидается в дальнейшем введение разрабатываемого стандарта Евро-6. Экологический эффект от использования метана в качестве

моторного топлива сложно переоценить.

Важным этапом реализации государственной программы развития газомоторного рынка, экономически и экологически оправданным, станет внедрение природного газа в качестве моторного топлива в сегментах общественного, коммерческого и личного автотранспорта. Программа по повсеместному переходу на экологичный метан стартовала в 2013 г. и предусматривает расширение ассортимента транспортных средств, использующих метан в качестве моторного топлива.

Таким образом, природный газ имеет следующие экологические преимущества:

- самый низкий «индекс глобального потепления» и самую низкую массу расхода топлива на километр пробега в сравнении с расходом бензина и дизельного топлива;
- самые низкие выбросы CO<sub>2</sub>;
- самое слабое влияние на разрушение озонового слоя;
- отсутствие в выхлопе серы, токсичных и канцерогенных компонентов (по сравнению с бензином) – альдегидов, формальдегидов, ароматических УВ и бутадиенов;
- самую низкую эмиссию оксида углерода, оксидов азота;
- уменьшенные в 2 раза выбросы твердых частиц и копоти в сравнении с дизельным топливом;
- уменьшенный уровень шума при работе двигателя.

Показатели экологичности природного газа имеют весомое социальное значение, так как при массовом его использовании в качестве моторного топлива будет достигнуто значительное снижение заболеваемости жителей городов России, расходов на лекарственные препараты, что приведет к увеличению доходов населения, продолжительности жизни, и в итоге – к благосостоянию страны.

### Безопасность

При разгерметизации оборудования метан улетучивается, что делает его безопасным для человека и окружающей среды, в то время как использование в автомобилях пропан-бутановой смеси представляет собой большую опасность вследствие оседания ее на поверхности. В случае пожара баллоны, наполненные метаном, не взрываются, газ выгорает и стравливается через специальные вставки.

Следует отметить, что по утвержденной Приказом МЧС от 10.07.2009 г. № 404 «Классификации горючих веществ по степени чувствительности» метан относится к наиболее безопасному 4-му классу (к слабочувствительным веществам). Самым опасным по данной классификации является пропан-бутан, отнесенный ко 2-му классу, бензин в свою очередь относится к 3-му классу.

Основные потребители метана – это автомобили, работающие ежедневно, имеющие большие пробеги и большой расход топлива. Прежде всего – это автобусы и коммунально-дорожная техника. Использовать метан на автотранспорте можно двумя путями:

1. Приобретать серийную газовую технику вместо дизельных аналогов. При этом необходимо оценивать экономическую эффективность за весь срок плановой эксплуатации автотранспорта. Серийные автомобили с газовыми двигателями можно приобретать вместо дизельных аналогов в порядке планового обновления автопарка предприятий.

2. Переводить на метан автотранспорт с бензиновыми двигателями, при этом автомобиль может работать как на газе, так и на бензине (устаревший вариант).

## О переводе парка автомобилей ОАО «Газпром» на КПП

Центральная комплексная программа (ЦКП) развития газозаправочной сети и парка техники, работающей на природном газе на 2007–2015 гг., утвержденная 20.03.2007 г. приказом № 71, предусматривает перевод парка автомобилей ОАО «Газпром» на КПП. С позиций эколого-экономической эффективности замещения нефтяных топлив на природный газ она включает следующие показатели:

- число планируемых к переводу единиц техники;
- стоимость переоборудования на КПП;
- экологическая эффективность перевода на КПП;
- прогноз экономии от замещения нефтяных топлив.

По программе ЦКП прогнозируется значительная экономия от замещения

нефтяных топлив метаном для парка автомобилей ОАО «Газпром» в 2011–2015 гг. Экологическая эффективность перевода техники на КПП определяется сокращением объемов выбросов ЗВ в атмосферный воздух при использовании такой техники и соответственно снижением платы за эти выбросы. Таким образом, при решении задачи снижения воздействия на окружающую среду использование природного газа является экономически, экологически и социально оправданным, что усиливается также надежностью, безопасностью и эффективностью. Результаты работы дают научное и практическое обоснование создания новых инфраструктурных рынков газомоторного топлива, открывают новые возможности для автомобилестроения, производства газовых двигателей и газобаллонного оборудования, внедрения инновационных идей развития газомоторного транспорта в России и Европе.

## Литература

1. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года (утв. распоряжением Правительства от 13 ноября 2009 г. № 1715-р).
2. Экологический отчет ОАО «Газпром», 2012.
3. **Мельников А.А.** Проблемы окружающей среды и стратегия ее сохранения: учеб. пособие для вузов /А.А. Мельников. –М.: Академический Проект; Гаудеамус, 2009. – 720 с.
4. **Коняев С.В., Романов К.В., Акопова Г.С., Власенко Н.Л., Шарихина Л.В., Тетеревлев Р.В.** Эколого-экономический анализ использования различных видов топлива на объектах нефтегазового комплекса. Обзорная информация. – М.: ООО «Газпром ВНИИГАЗ», 2012. – 129 с.
5. РИА Новости, 06.12.2013. «Парниковую» проблему автотранспорта РФ надеются решить с помощью газа. [www.ria.ru](http://www.ria.ru).
6. **Данилов А.М., Каминский Э.Ф., Хавкин В.А.** Альтернативные топлива: достоинства и недостатки. Проблемы применения // Российский химический журнал. – 2003. – Т. XL VII. – № 6. – С. 4–11.
7. **Шеховцев А.А., Чижов С.Г.** Воздействие предприятий топливно-энергетического комплекса на окружающую среду // Энергетическая политика. – 2009. – № 1. – С. 32–42.
8. Программа ТАСИС Европейского союза для Российской Федерации. Методология Кадастра антропогенных выбросов парниковых газов для региона, 2009.
9. **Клюс О., Васильев И., Ростовская Н.** Анализ показателей дизеля при работе на многокомпонентных смесях растительных масел с дизельным топливом // Szczecin: politechnika szczecińska (Poland). – 2004. – № 11. – С. 45–54.
10. Совещание по вопросу расширения использования газа в качестве моторного топлива // Транспорт на альтернативном топливе. – 2013. – №3 (33). – С. 3–4.

### «Газпром газомоторное топливо» и Приморский край будут совместно развивать рынок газомоторного топлива

Председатель правления – генеральный директор ООО «Газпром газомоторное топливо» Михаил Лихачев и губернатор Приморского края Владимир Миклушевский подписали Соглашение о расширении использования природного газа в качестве моторного топлива.

Документом предусмотрен комплекс мер, направленных на применение в регионе природного газа на пассажирском транспорте, специальной, коммунальной, сельскохозяйственной и иной технике. Эти меры позволят повысить экономическую эффективность транспортных перевозок и снизить негативное воздействие на окружающую среду.

ООО «Газпром газомоторное топливо», как единый оператор по развитию рынка газомоторного топлива в России, обеспечит строительство и ввод в эксплуатацию автомобильных газонаполнительных компрессорных станций (АГНКС), многотопливных автомобильных заправочных станций. В случае необходимости будет предусмотрена возможность заправки техники с помощью передвижных автомобильных газовых заправщиков.

Строительство газомоторной инфраструктуры будет синхронизировано с работой региона по расширению парка техники, использующей метан в качестве моторного топлива. Согласно принятому документу, Приморский край должен обеспечить загрузку новых АГНКС не менее чем на 30 % к моменту ввода их в эксплуатацию. Власти региона будут содействовать принятию нормативных правовых актов, направленных на развитие рынка газомоторного топлива, обеспечат создание парка газомоторной техники для государственных и муниципальных нужд, оснащение производственно-технической базы и подготовку водителей и инженерно-технического персонала на автотранспортных предприятиях, использующих газомоторные автомобили.

Стороны сформируют рабочую группу, которая определит перечень первоочередных и перспективных объектов строительства газозаправочных мощностей в регионе.

[www.gazprom.gmt.ru](http://www.gazprom.gmt.ru)

### «Великий Новгород» станет крупнейшим газовозом во флоте Газпрома

20 января в г. Чинхэ (Южная Корея) на верфи STX O&S состоялась церемония именнаяречения газовоза сжиженного природного газа. Танкеру было дано имя «Великий Новгород». Он станет пятым в танкерном флоте Газпрома.

На церемонии присутствовали заместитель председателя правления ОАО «Газпром» Александр Медведев и генеральный директор ОАО «Совкомфлот» Сергей Франк.

«Великий Новгород» – газовоз с грузовой системой мембранного типа грузоподъемностью 170,2 тыс. м<sup>3</sup>. Он оснащен дизель-электрической силовой установкой, способной работать на СПГ, мазуте или газойле. Судно сертифицировано по ледовому классу Ice2 и может осуществлять транспортировку грузов в условиях низких температур, включая проход по Северному морскому пути в период навигации по открытой воде. Судно классифицировано в соответствии со стандартами Российского морского регистра судоходства и регистра Ллойда.

Экипаж газовоза будет полностью состоять из российских моряков.

Компания Gazprom Marketing & Trading (GM&T) зафрахтует «Великий Новгород» у российской судоходной компании «Совкомфлот». Данный танкер станет первым судном серии высокотехнологичных газовозов СПГ ледового класса, разработанного по заказу Газпрома.

В настоящее время «Совкомфлот» ведет строительство аналогичного газовоза – «Псков», передача которого Газпрому ожидается в сентябре текущего года.

ОАО «Газпром» поэтапно реализует стратегию в области производства и поставок сжиженного природного газа. В рамках этой работы формируется собственный танкерный флот, готовый обеспечить транспортировку СПГ в любую точку мира, в том числе по Северному морскому пути.

«Танкеры «Великий Новгород» и «Псков» дают возможность Газпрому серьезно увеличить объем торговых операций и усилить свои позиции на глобальном рынке сжиженного природного газа», – сказал Александр Медведев.

Доля Газпрома в мировом производстве СПГ составляет около 5 %. Компания поставляет СПГ в десять стран мира: Японию, Корею, Китай, Индию, Тайвань, Великобританию, США, Кувейт, ОАЭ, Мексику. Танкерный флот компании состоит из четырех зафрахтованных газовозов: LNG Pioneer (грузовместимость 138 тыс. м<sup>3</sup>), «Река Енисей» (149 тыс. м<sup>3</sup>), «Река Лена» и «Река Обь» (по 155 тыс. м<sup>3</sup> каждый).

### Справка

Gazprom Marketing & Trading Limited – 100%-ное дочернее предприятие ОАО «Газпром», которое выполняет задачи по реализации российского СПГ за рубежом и торговле сжиженным природным газом из третьих стран.

Группа компаний «Совкомфлот» – одно из ведущих в мире судоходных предприятий, специализирующееся на морской транспортировке углеводородов, а также обслуживании шельфовой разведки и добычи нефти и газа. Компания является крупнейшим в мире оператором газовозов СПГ ледового класса. Собственный и зафрахтованный флот включает 158 судов общим дедвейтом около 12 млн т.

К классу Ice2, согласно Российскому морскому регистру судоходства, относятся суда ледового плавания. Он подразумевает самостоятельное плавание в мелкобитом разряженном льду неарктических морей и в сплошном за ледоколом при толщине льда до 0,55 м.

Регистр Ллойда – старейшее и крупнейшее в мире классификационное общество, добровольная ассоциация судовладельцев, судостроительных фирм, изготовителей судовых механизмов и страховых компаний.

Управление информации ОАО «Газпром»



Газовоз «Великий Новгород»

### Газпром и Газпромбанк будут вместе реализовывать проекты «Балтийский СПГ» и «Владивосток СПГ»

46

5 марта в центральном офисе ОАО «Газпром» председатель правления Алексей Миллер и председатель правления ОАО «Газпромбанк» Андрей Акимов подписали Соглашение о сотрудничестве в области реализации проектов производства сжиженного природного газа (СПГ). Соглашение предусматривает сотрудничество сторон в рамках проектов «Балтийский СПГ» и «Владивосток СПГ».

ОАО «Газпром» успешно развивает сегмент торговли и транспортировки СПГ. Сегодня компания поставляет СПГ в десять стран. Нарастив присутствие на перспективных рынках планируется, прежде всего, за счет увеличения собственного производства. В планах компании – увеличение доли СПГ на мировом рынке с 5 до 15 % после реализации проектов «Владивосток СПГ» и «Балтийский СПГ».

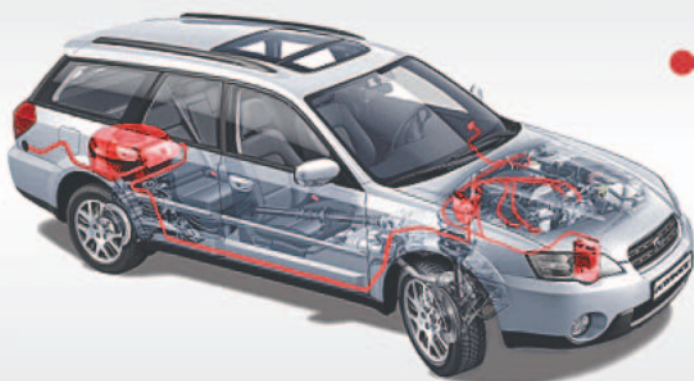
Проект «Владивосток СПГ» предполагает строительство в Приморском крае завода по производству сжиженного природного газа мощностью 10 млн т/год с возможностью дальнейшего расширения. Проект перешел в инвестиционную стадию в феврале 2013 г. Первая линия завода будет введена в эксплуатацию в 2018 г.

Проект «Балтийский СПГ» предусматривает строительство в Ленинградской области завода по производству СПГ мощностью до 10 млн т/год. Разработка обоснования инвестиций по проекту будет завершена в первом полугодии текущего года.

Управление информации ОАО «Газпром»

# БАЛСИТИ

**ООО «Балсити»** – ведущий производитель автомобильных баллонов для сжиженного углеводородного газа, занимающий лидирующую позицию на российском рынке. Компания является эксклюзивным поставщиком газовых баллонов на конвейер Горьковского автомобильного завода (ГАЗ).



### ПРОДУКЦИЯ:

#### **АВТОМОБИЛЬНЫЕ БАЛЛОНЫ ДЛЯ СЖИЖЕННОГО УГЛЕВОДОРОДНОГО ГАЗА:**

Тороидальные и спаренные баллоны – от 42 до 95 л.  
Цилиндрические баллоны – от 30 до 220 л.  
Газгольдер: 480 л.



г.Москва, 119071, Ленинский проспект 29,  
офис № 628 +7 (495) 955-41-95  
balcity@balcity.ru [www.balcity.ru](http://www.balcity.ru)

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».

# Альтернативный способ подготовки газа к транспортировке на истощенных месторождениях

**А.М. Шендик**, начальник оперативно-производственной службы  
ГПУ «Шебелинкагаздобыча» (Украина)

Одной из значительных проблем газовой промышленности Украины является подготовка к транспортировке газа истощенных месторождений. Падение пластовых давлений и дебитов скважин делают невозможной организацию низкотемпературной сепарации пластового газа на пунктах его первичного сбора и подготовки. Это требует дополнительных оборудования и эксплуатационных затрат. В условиях падения добычи газа на истощенных месторождениях это существенно снижает экономическую эффективность газодобывающих предприятий.

В работе рассматривается новый подход к технологии подготовки газа в условиях разработки истощенных месторождений, возрастания удельных затрат на «классическую» подготовку газа и соответственного снижения экономической эффективности добычи газа. Предложен новый способ очищения природного газа, который является важной составляющей подготовки сжатого газа и дает возможность повысить прибыльность добычи газа на истощенных месторождениях.

Требования к подготовке газа для транспортировки контейнерным способом значительно ниже, чем для трубопроводного транспорта, и могут быть удовлетворены барическим способом подготовки сжатого газа. Использование барического способа вместе с контейнерным способом транспортировки сжатого газа обладает большими перспективами при разработке истощенных месторождений. Возникновение мировых систем добычи, транспортировки и реализации газа требует внедрения соответствующих технологий, одной из которых может стать барический способ подготовки газа.

### Ключевые слова:

барический способ подготовки, контейнерный способ транспортировки, динамичные системы газоснабжения, компрессорные блоки, SCADA-системы.

**В** настоящее время мировая газодобывающая промышленность находится на пике развития. Основные континентальные газозонные бассейны разведаны, ведется их разработка. Проведена оценка мировых запасов природного газа, сформированы рынки потребления газа и газотранспортные магистрали, разработаны

и усовершенствованы технологии добычи и транспортировки газа. Все это делалось исходя из тех тенденций и процессов, которые сопровождали становление газовой промышленности, открытие крупных газовых месторождений (на Украине Шебелинское, в России Уренгойское), формирование стратегических потребителей газа,



появление необходимости быстро и надежно организовывать транспортировку гигантских объемов газа.

Открытие таких современных гигантских месторождений как Штокмановское, Северное/Южный Парс дало толчок к новым технико-экономическим решениям в газотранспортной системе. Строятся новые газопроводы и формируются новые газовые рынки, разрабатываются новые технологии добычи газа.

Все это больше направлено на обеспечение обслуживания крупных месторождений и газовых рынков. Но существует еще и значительный потенциал малодобитных, линзовых и истощенных месторождений, которые экономически нецелесообразно подключать к магистральным газопроводам и где впоследствии не будет смысла использовать дожимные компрессорные станции в связи со снижением объемов транспортируемого газа.

Кроме того, рост динамики разведки, обустройства и разработки газовых месторождений (как новых, так и старых), развитие финансовых и сырьевых рынков, формирование новых гигантских газотранспортных потоков выдвигают принципиально новые требования к эффективности современной газовой промышленности, образуя динамичные рынки услуг по добыче, поставке и реализации газа.

Поэтому разработка новых способов и подходов к подготовке и транспортировке газа в настоящее время очень актуальный вопрос.

Современные условия разработки газовых месторождений требуют рассмотрения процессов добычи, подготовки, транспортировки и реализации газа в комплексе. Сейчас почти весь газ добычи транспортируется через магистральные газопроводы. Поэтому и требования к подготовке газа обуславливаются не потребителем, а газотранспортной системой (отсутствие гидратов при транспортировке, конденсации и накопления

жидкости в застойных зонах газопровода). Но для конечных потребителей эти требования обычно не так критичны, ведь в стационарных условиях всегда есть возможность обогрева оборудования для редуцирования газа или введения ингибитора. И это при условии, что газ действительно влажный. Конечно, это не относится к тем случаям, где нужна дополнительная подготовка (удаление  $H_2S$ ,  $CO_2$  или других вредных примесей при их наличии), но такие ситуации довольно редки.

Подготовка газа на начальных стадиях разработки месторождений, как правило, не создает проблем – высокие пластовые давления позволяют подавать газ в газопровод без дополнительного компримирования, а подготовка происходит за счет обеспечения низкотемпературной сепарации.

Проблема возникает, когда газоносные пласты истощаются настолько, что без дополнительных мер газ невозможно подавать в газопровод. К тому же снижение депрессий газа (из-за снижения давления газа в пласте) приводит к существенному снижению добычи газа. Возникает необходимость в наращивании мощностей дожимных компрессорных станций, использовании специальных систем охлаждения и очистки газа (аммиачные, турбодетандерные и холодильные установки), усовершенствовании систем сепарации. И все это на фоне необходимости ремонтов и замены изношенного и устаревшего оборудования, естественного снижения дебитов скважин и осложнений при разработке истощенных месторождений. Возникает ситуация, когда эффективность капитальных вложений в разработку снижается, а необходимость инвестиций постоянно увеличивается.

Следует отметить, что истощение газовых месторождений сопровождается притоком пластовой воды к забою скважин и накоплением жидкости на забое, а снижение пластового давления

способствует повышению влагосодержания газа [1]. Потенциальное влагосодержание растет с 0,02 до 1 кг/1000 м<sup>3</sup> уже при снижении пластового давления с 20 до 1,5 МПа (рис. 1).

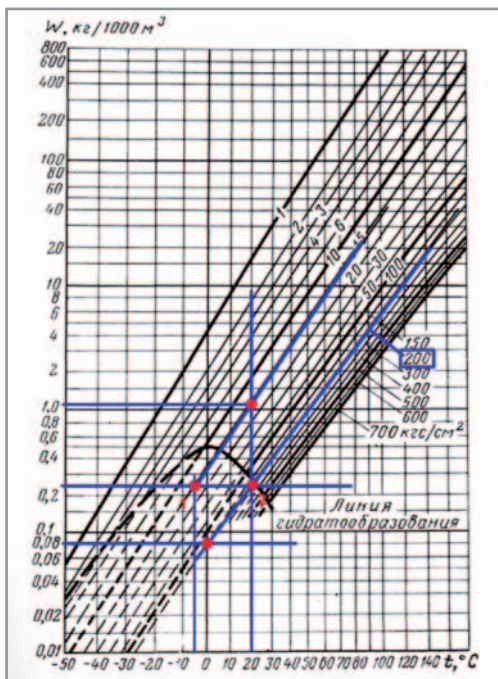


Рис. 1. Зависимость влагосодержания метана от термобарических параметров

Вместе с тем снижение давления газа уменьшает его способность растворять в себе высшие углеводороды, которые обычно составляют углеводородный конденсат. Подготовка газа истощенных месторождений осложняется и необходимостью изъятия значительного количества воды, которое обуславливается ухудшением барических условий формирования состава флюида на забое истощенных месторождений.

Обычно подготовка таких насыщенных влагой газов ведется с помощью модернизации сепарационного оборудования и дополнительного охлаждения газа, то есть через термическое воздействие на добытый газ и изменение агрегатного состояния компонентов флюида. Это обусловлено потоковым характером подготовки и транспортировки

газа по газопроводам. При этом в научной литературе практически не рассматривается барический способ очистки газа, который может стать реальной альтернативой для месторождений с незначительными дебитами.

Барический способ очистки газа реализуется за счет особенностей фазовых переходов отдельных составляющих флюида при изменении его давления, а именно – конденсации воды при росте давления газа [2]. Для этого нужно лишь поднять давление газа до 20...25 МПа, и влага сама сконденсируется в результате фазовой стабилизации примесей при новых барических параметрах. После фазовой стабилизации газа следует лишь дренировать жидкость. Остатки же углеводородных примесей только увеличат калорийность газа, а содержание остаточной влаги в «сухом» газе (при использовании топливного газа с низким давлением) будет настолько незначительным, что она не будет провоцировать гидратообразования. К тому же добавление незначительного количества метанола или обогрев редуцирующего оборудования на входе в сети низкого давления вообще могут решить вопрос качества газа, необходимого для конкретного технологического процесса (приготовление пищи, отопление, парогенерация, плавка стали).

Например, согласно требованиям подготовки газа его влагосодержание при давлении 1,5 МПа и температуре  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  не должно превышать  $0,24\text{ г/м}^3$  (см. рис. 1, позиция 1). Если определить давление газа с аналогичным влагосодержанием при нормальной температуре ( $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), то оно достигнет 20 МПа (см. рис. 1, позиция 2). Но из рис. 1 видно также, что при температуре газа от  $-5$  до  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  необходимое давление подготовки газа растет пропорционально температуре. То есть для качественной подготовки газа [3–5] достаточно компримировать его до давления, которое соответствует

выпадению влаги при термобарических условиях транспортировки или потребления. Таким образом, в нашем случае вся сложная система подготовки газа с его дросселированием, промежуточным охлаждением, нагревом ингибированием и компримированием заменяется на управляемый процесс стабилизации флюида в необходимых термобарических условиях.

С учетом особенностей современных технологий и существующего оборудования наиболее приемлемой является контейнерная перевозка газа. Это связано с необходимостью определенной минимальной выдержки газа при высоких барических параметрах и незначительными дебитами истощенных скважин. Следует отметить, что все необходимое для реализации этого способа уже существует – газовые контейнеры высокого давления, газовые компрессоры, которые в состоянии поднять давление газа с почти 0,01 до 20...25 МПа, средства транспортировки (автомобильные, железнодорожные и морские), международные стандарты как для контейнеров, так и для компрессоров. Все это создано для сжатого

метана. Разница лишь в том, что для заправки автомобилей используют очищенный газ, а в нашем случае можно использовать сырой газ непосредственно из скважин.

Неотъемлемой частью добычи газа с малодебитных скважин является эффективная организация процесса отбора газа, мониторинг работы скважин и обеспечение оптимального использования всего газодобывающего оборудования. Особенно это важно для истощенных месторождений. С этой целью на Украине ведутся интенсивная разработка и внедрение технологий управления работой скважин с периодическим отбором газа (СПОГ) [6]. Цель – организация мониторинга работы СПОГ и их эффективной эксплуатации в пределах месторождения. Было запатентовано устройство для индивидуального автоматического отбора газа скважины [7], а также разработан и создан комплекс автоматического отбора (КАОГ) на входе шлейфа к установке комплексной подготовки газа, который позволяет проводить мониторинг и управление работой скважины (рис. 2).

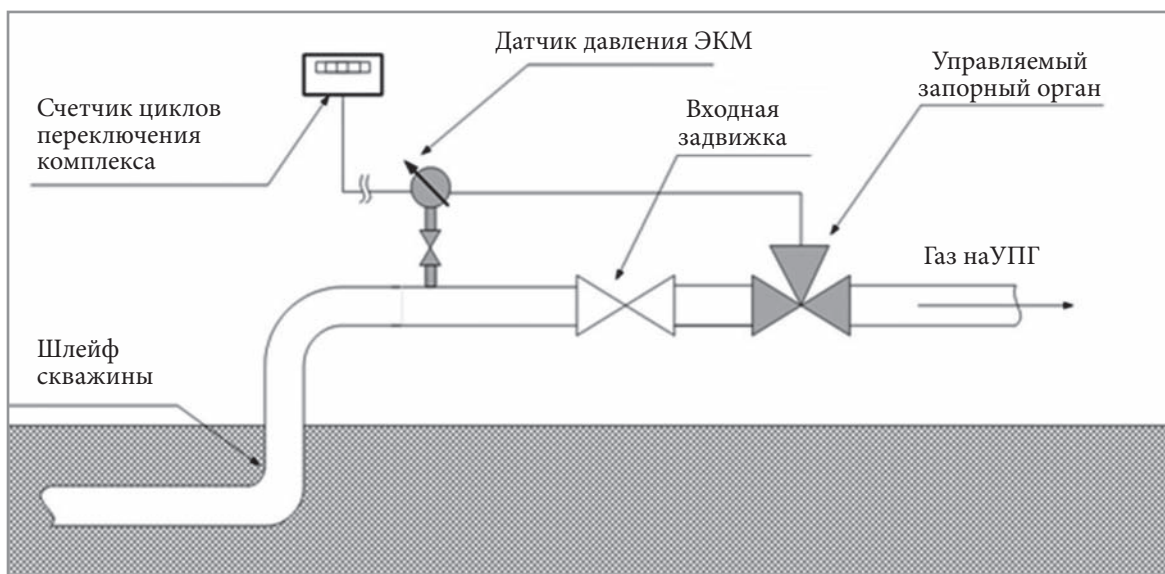


Рис. 2. Комплекс автоматического отбора газа на основе аналогового электроконтактного манометра (ЭКМ)

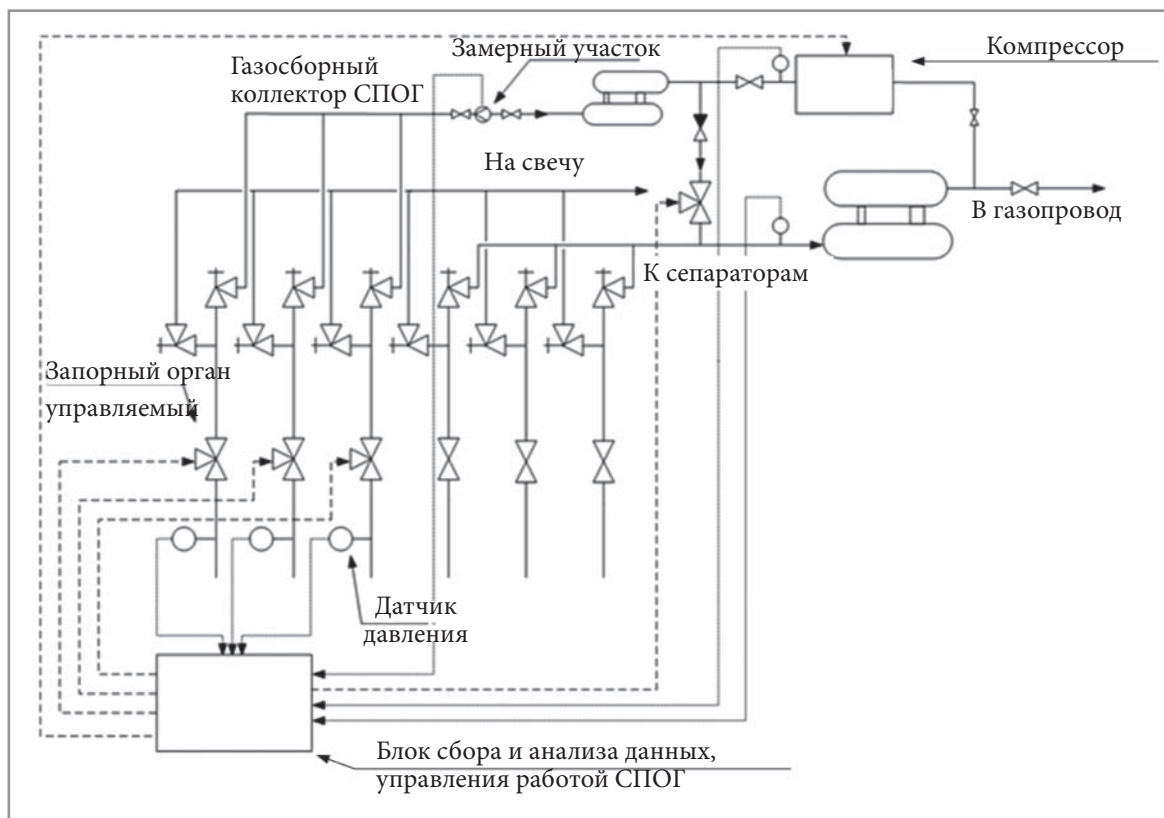


Рис. 3. Схема автоматизации работы группы скважин с использованием компрессора

В настоящее время уже были проведены исследования работы СПОГ с помощью КАОГ на базе электроконтактных манометров в качестве устройства контроля и управления процессом отбора газа, которые позволили подтвердить эффективность технологии и ее значительный потенциал. Но при проведении исследований были выявлены недостатки аналоговой системы автоматизации КАОГ, для устранения которых было предложено использование цифровых технологий. Применение цифровых датчиков в перспективе позволит наладить дистанционный контроль за работой СПОГ и создать технологию так называемого «пилотирования» отбора газа СПОГ с созданием электронных архивов объективных данных о работе фонда скважин месторождения. Это в перспективе сформирует базу для создания систем SCADA на истощенных газовых месторождениях.

Отдельным вопросом становится использование компрессорного оборудования для СПОГ на истощенных месторождениях. В условиях падения пластовых давлений газа применение дожимных компрессорных станций (ДКС) в целом положительно влияет на работу скважин месторождения, но не позволяет оптимизировать работу СПОГ. Это связано со значительной подвижностью газодинамических параметров таких скважин и невозможностью их работы в группе со скважинами установившегося отбора газа (СУОГ). Для увеличения депрессий на СПОГ было предложено использование индивидуальных компрессоров на входе шлейфов таких скважин к установкам подготовки газа (УПГ). Опыт использования компрессорных блоков показал, что прямое подключение компрессоров к СПОГ делает их работу неэффективной, ведь истощение активной зоны фильтра таких

скважин проводило не только к их остановке, но и к остановке компрессора.

Для обеспечения эффективной работы СПОГ и компрессорных блоков была разработана схема автоматизации совместной работы группы скважин и компрессора (рис. 3). Такая система позволяет контролировать работу целой группы СПОГ и СУОГ с использованием компрессора как средства влияния на депрессию скважин, а также вести отбор газа практически независимо от барических параметров работы выходного газопровода.

Такие установки могут стать фундаментом новой системы подготовки и транспортировки газа, которая основана на барической первичной очистке газа и контейнерном принципе транспортировки газа (рис. 4). Это особенно актуально для газовых и нефтяных месторождений с низкими пластовыми давлениями и сравнительно небольшими дебитами скважин, ведь большинство сепарационного оборудования

рассчитано на работу в условиях низкотемпературной сепарации и скоростей движения газа, достаточных для инерционного извлечения жидкости из него. Барический способ вообще не зависит от скорости газовых потоков и почти не зависит от температуры газа. А при условии использования газомотокомпрессоров система сбора и транспортировки газа может быть вообще автономной. Одним из таких технических решений можно назвать создание передвижной установки отбора, подготовки, транспортировки и выдачи газа [8]. Расположенные на автомобильном шасси все элементы сбора (ресиверы), компримирования (компрессор), дренирования жидкости, одоризации и ингибирования позволяют отбирать газ даже с единичных скважин в любом режиме и в последующем перевозить продукт, готовый как для бытового потребления, так и для заправки автомобильного транспорта (рис. 5).

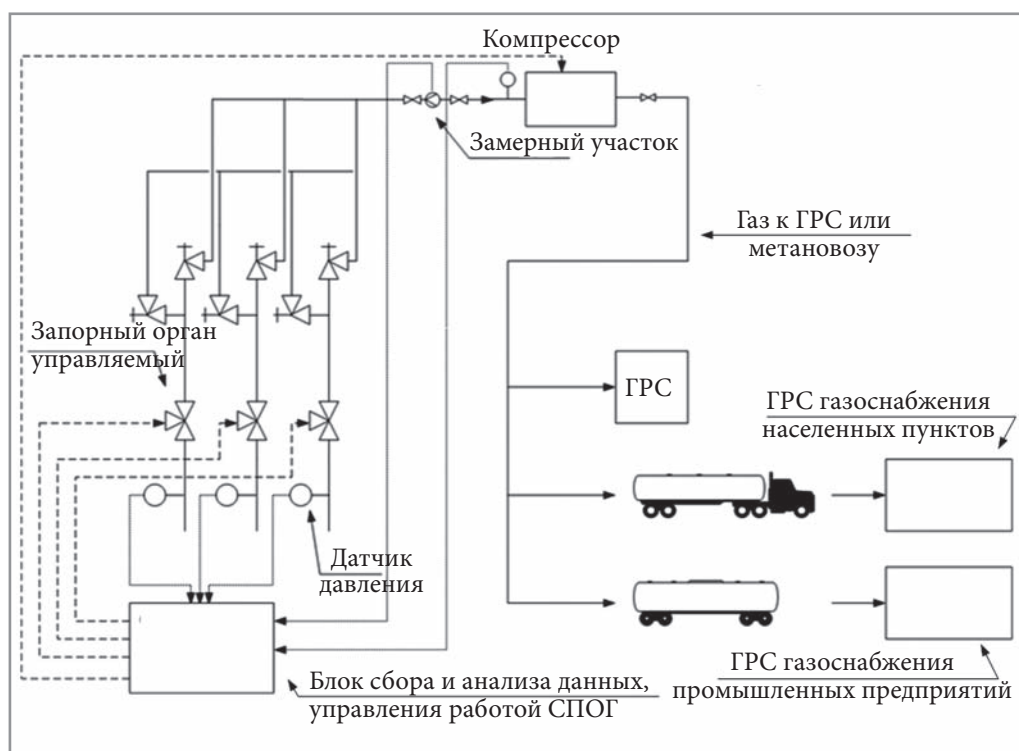


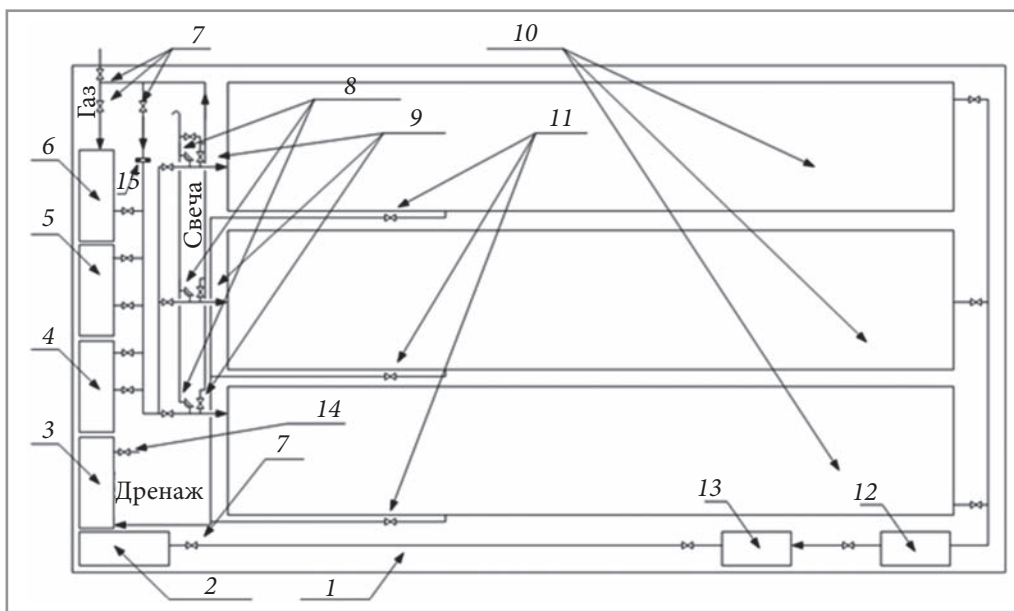
Рис. 4. Схема организации подготовки газа барическим способом для конечного потребителя

Вторым примером использования технологии барической подготовки может быть система поставки потребителям высоконапорного газа [9], например, для заправки автомобилей (рис. 6). При достаточной продуктивности скважины и незначительном расстоянии от потребителя шлейфы можно использовать как ресиверы для сбора и аккумуляции газа, а также для стабилизации фазового состояния и дренирования его примесей.

Дренажное устройство (дрип) в этом случае используется больше для сбора и удаления влаги, чем для сепарации, а компрессор – для поднятия давления до требуемых 20...25 МПа. Такую схему можно использовать как для одной скважины, так и для целой группы.

Интересной особенностью таких схем сбора и подготовки газа является возможность наиболее эффективно использовать его пластовую энергию, ведь

на входе в компрессор нет дросселирующего оборудования и он работает с газом, давление которого максимально для данных условий отбора. Поэтому энергетическая эффективность компримирования для такой системы максимальна. В мире уже существуют системы контейнерной перевозки очищенного компримированного природного газа (КПГ). Одним из ярких примеров такой системы является «Виртуальная труба» фирмы Galileo (рис. 7). Согласно технологии, разработанной в фирме, очищенный газ берут из газопровода, проводят его компримирование и закачку в специальные транспортные модули – маты, емкостью до 10 тыс. м<sup>3</sup> каждый. Транспортные блоки-контейнеры высокого давления собраны из большого числа баллонов небольшого объема. Маты расположены на автомобильном шасси. Это позволяет организовать систему газоснабжения отдаленных районов без прокладки



**Рис. 5.** Передвижная установка отбора, подготовки, транспортировки и выдачи газа:  
 1 – базовая платформа; 2 – блок распределения газа автомобилям и самому автозаправщику; 3 – дренажный блок; 4 – емкость ингибитора; 5 – блок одоризации; 6 – газовый компрессор; 7 – запорная арматура; 8 – предохранительная арматура; 9 – задвижки компримирования собственного газа резервуаров высокого давления; 10 – резервуары высокого давления (ресиверы); 11 – устройство дренажных задвижек; 12 – редуктор газа; 13 – счетчик газа; 14 – сливная задвижка; 15 – дроссель

## Компримированный природный газ

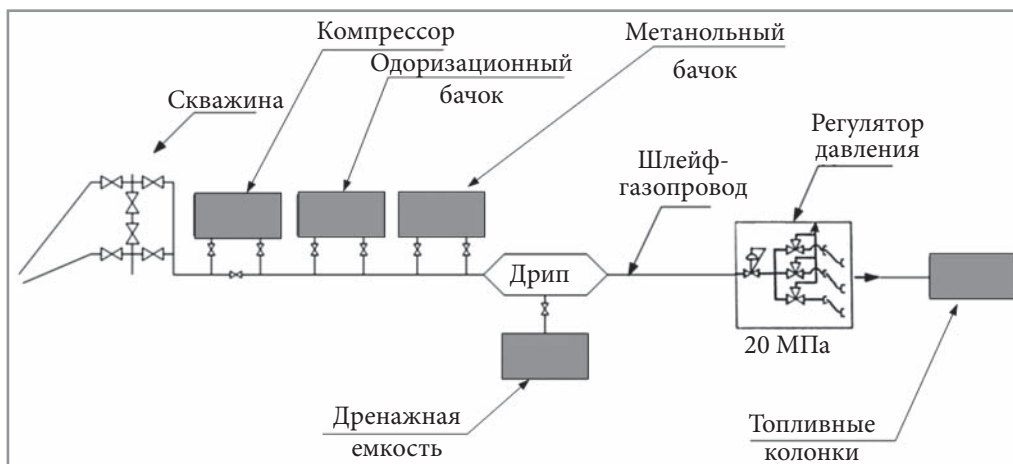


Рис. 6. Схема стационарной установки барической подготовки газа

газопроводов. Использование технологии «Виртуальная труба» позволило организовать бытовое газоснабжение в Доминиканской республике и организовать сеть автомобильных метановых заправок.

Технология барической очистки газа при сочетании с контейнерной перевозкой высоконапорного метана, современными средствами коммуникаций и компьютеризации открывает перспективы создания динамичных систем разработки истощенных, малопродуктивных

и линзовых газовых месторождений. Появляется возможность создания динамичных систем транспортировки газа и динамичных газовых рынков, особенностью которых является уменьшение зависимости от географии трубопроводной ГТС, способность реакции на значительные (в течение суток, месяца, года) колебания объемов добычи, транспортировки и потребления газа. Это особенно важно для небольших операторов газового рынка и малых газовых месторождений.

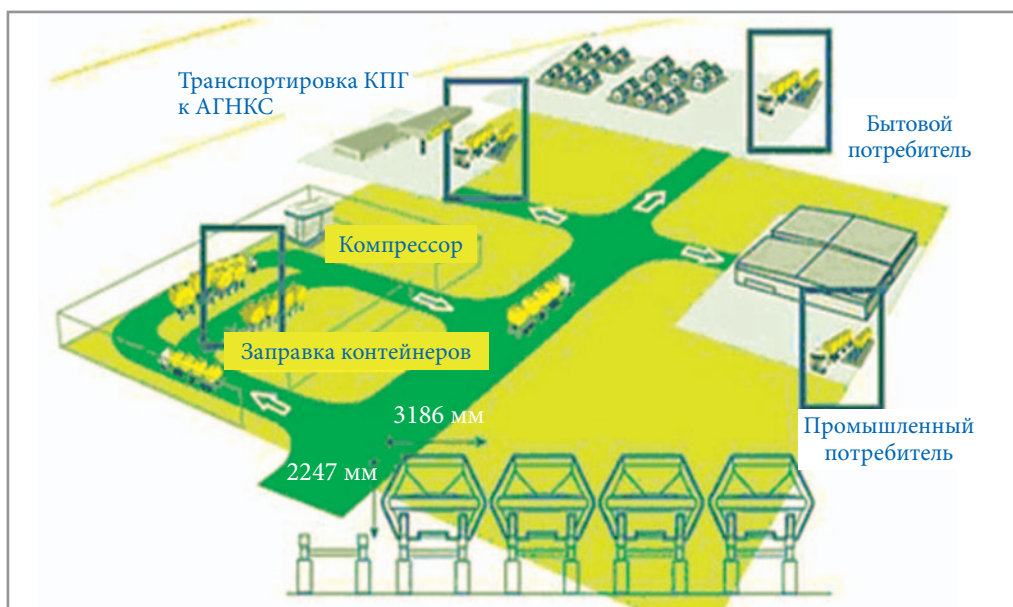
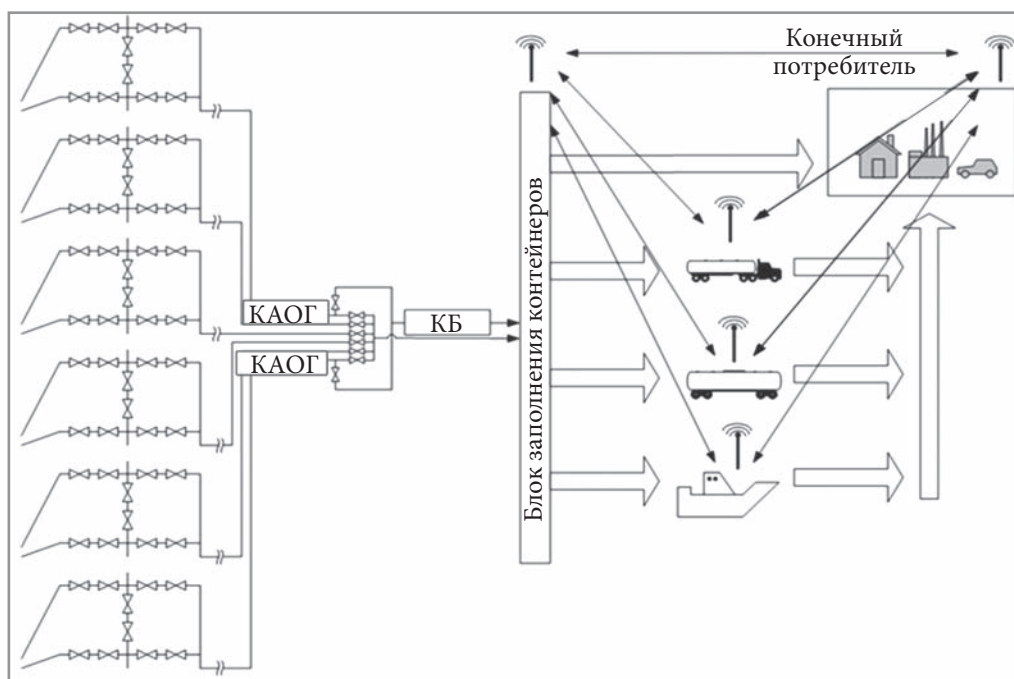


Рис. 7. Технология «Виртуальная труба» фирмы Galileo



**Рис. 8.** Схема организации взаимодействия систем добычи, транспортировки и потребления газа

Широкое применение средств автоматизации и связи при планировании и управлении процессами не только добычи газа, но и его перевозки, позволяет эффективно корректировать режимы работы газодобывающих и газотранспортных систем в соответствии с динамикой газового рынка, менять и оптимизировать газовые потоки, привлекать дополнительных потребителей и расширять географию сетей газоснабжения (рис. 8). Кроме того, перевод потребителей с других видов топлива на более экологичный природный газ имеет большое природоохранное значение.

Модернизация современных европейских предприятий с целью энергосбережения производственных процессов и уменьшения вредных выбросов в атмосферу с одной стороны и развитие промышленности Китая и Индии с другой становятся причиной снижения спроса газа на одних предприятиях и увеличения на других. В таких условиях пути транспортировки газа претерпевают значительные изменения. Внедре-

ние средств телекоммуникации и мобильной связи создает хорошие перспективы не только для оптимизации работы газодобывающих предприятий, но и для организации гибкой системы транспортировки и реализации газа, что в условиях мирового финансового кризиса может стать решающим фактором для сохранения конкурентоспособности предприятий.

Таким образом, для большинства истощенных и малодобитных газовых месторождений с низкими пластовыми давлениями классическая подготовка газа к транспортировке требует значительных материальных затрат и снижает прибыльность добычи голубого топлива. При снижении объемов добычи газа месторождений поздней стадии разработки себестоимость подготовки газа растет.

Требования к подготовке газа для транспортировки определяются не конечным потребителем, а трубопроводной газотранспортной системой. Использование контейнерного способа перевозки значительно снижает требования



к подготовке природного газа при условии дифференцированного подхода (учет реального влагосодержания, фактических условий использования и технических возможностей бытовых газовых сетей).

Использование барического способа подготовки газа является действенной альтернативой классическим способам очистки и наиболее приемлемо для истощенных, малопродуктивных и линзовых газовых месторождений. Этот способ с технологией контейнерной перевозки имеет значительный технико-

экономический потенциал в создании динамичных систем разработки, транспортировки и реализации газа с таких месторождений. Для этого нужно иметь только соответствующее компрессорное оборудование и газовый контейнер высокого давления.

Контейнерные системы транспортировки газа для бытовых сетей газоснабжения и сетей автомобильных метановых заправок приобретают все большую популярность в мире и имеют значительный инвестиционный потенциал в России.

## Литература

1. **Коротаев Ю.П.** Инструкция по комплексному исследованию газовых и газоконденсатных пластов и скважин / Ю. П. Коротаев, Г. А. Зотова, З.С. Алиева. – М.: Недра, 1971. – 208 с.

2. Пат. 34473 Україна. <sup>(19)</sup>UA <sup>(11)</sup> 34473 <sup>(13)</sup>U <sup>(51)</sup> 7 E21B43/00. Спосіб видобутку і підготовки природного газу / Фесенко Ю.Л., Фик І.М., Шендрик О.М.: заявники та патентовласники. Фесенко Ю.Л., Фик І.М., Шендрик О.М. – u200803684; заявл. 24.03.2008; опубл. 11.08.2008, Бюл. № 15.

3. Порядок визначення показників якості газу, що надходить з об'єктів ДК «Укргазвидобування»: СОУ 11.2-30019775-186:2011. – [діє з 01-12-2011]. – К.: ДК «Укргазвидобування», 2011. 35 с. – (Стандарт організації України).

4. Газ природний паливний компримований для двигунів внутрішнього згоряння : ДСТУ ГОСТ 27577:2005. – [діє з 01-07-2006]. – К.: Держсопживстандарт України 2005. 4 с. – (Стандарт організації України).

5. **Гайнуллин Ф.Г.** Природный газ как моторное топливо на транспорте / Ф.Г. Гайнуллин, А.И. Гриценко, Ю.Н. Васильев, Л.С. Золотаревский. – М.: Недра, 1986. – 255 с.

6. Пат. 9720 Україна. <sup>(19)</sup>UA <sup>(11)</sup> 9720 <sup>(13)</sup>U <sup>(51)</sup> 7 E21B43/00. Спосіб оптимальної експлуатації свердловин в умовах критичних параметрів / Фик І.М., Шендрик О.М., Синюк Б.Б., Фесенко Ю.Л., Волосник Є.О., Жмурков В.І.: заявник та патентовласник ДК «Укргазвидобування». – u200502469; заявл. 18.03.2005; опубл. 17.10.2005, Бюл. № 10.

7. Пат. № 88623 Україна. МПК(2009) E21B 43/12 E21B34/00 Пристрій оптимізації тиску газу в свердловині / Фик І.М., Синюк Б.Б., Фесенко І.М., Шендрик О.М., Волосник Є.О., Жмурков В.І.: заявник та патентовласник ДК «Укргазвидобування». – u200605290; заявл. 15.05.2006; опубл. 10.11.2009, Бюл. № 21.

8. Пат. 38010 Україна. МПК(2006) F17C 5/00 Пристрій для підготовки і транспортування природного газу / Фесенко Ю.Л., Фик І.М., Шендрик О.М.: заявники та патентовласники. Фесенко Ю.Л., Фик І.М., Шендрик О.М. – u200803681; заявл., 24.03.2008; опубл. 25.12.2008, Бюл. № 24 .

9. Пат. 38009 Україна. МПК(2006) F17C 5/00 B60S 5/00 B60P 3/00 Спосіб заправки автомобілів природним газом / Фесенко Ю.Л., Фик І.М., Шендрик О.М.: заявники та патентовласники. Фесенко Ю.Л., Фик І.М., Шендрик О.М. - u200803680; заявл., 24.03.2008; опубл. 25.12.2008, Бюл. № 24.

# Особенности применения газомоторного топлива на железнодорожном транспорте

П.П. Петров, главный инженер НПФ «ЭКИП» (Москва), к.т.н.

Комбинированные (гибридные) энергетические установки на основе свободнопоршневых двигателей способны улучшить весь комплекс технико-экономических показателей силовых установок различного назначения, а также решить назревшие проблемы двигателестроения и железнодорожного транспорта. Современные апробированные технические решения позволяют поднять эксплуатационный КПД тепловозов на природном газе выше 40 % и обеспечить размещение необходимого запаса природного газа, в том числе компримированного.

**Ключевые слова:**

комбинированная (гибридная) энергетическая установка, свободнопоршневой двигатель, природный газ, газотурбовоз, тепловоз.

**В** транспортной системе железные дороги занимают одно из ведущих мест, а транспортные издержки в значительной степени определяются затратами на топливо и смазочные материалы. Газомоторные топлива позволяют существенно поднять эффективность транспортно-энергетического комплекса. Однако для широкого практического применения природного газа (ПГ) необходимо обеспечить решение двух основополагающих проблем – создание инфраструктуры заправки газом и размещение на борту достаточного количества топлива. Эти проблемы взаимосвязаны и обусловлены характеристиками применяемых силовых установок (СУ).

Опыт создания газогенераторных и газовых локомотивов показывает, что для перевозки необходимого запаса топлива требуется бустер или тендер. Плотность даже сжиженного природно-

го газа (СПГ) не позволяет разместить на транспортном средстве достаточный запас топлива. Удовлетворительное решение возникших проблем возможно, если уменьшить удельный объем СУ в 2–5 раз по сравнению с тепловозными дизелями и/или снизить эксплуатационный расход топлива в 1,5–2 раза. При выполнении этих условий появляется реальная возможность размещения на локомотиве СПГ в объеме, достаточном для сохранения запаса хода между экипировками аналогично тепловозам на дизельном топливе.

В настоящее время для традиционных дизелей такие задачи не имеют практического решения, поэтому предприняты попытки применить газотурбинные двигатели (ГТД) на железнодорожном транспорте. Примером успешного решения задачи размещения достаточного запаса СПГ может служить газотурбовоз ГТ1. Однако при мощности

8,3 МВт ГТД расходует 2200 кг/ч СПГ (эффективный КПД  $\eta_e = 0,253$ ), а на холостом ходу – 535 кг/ч.

Полвека назад был создан газотурбовоз ГТ-101 [1] мощностью 2208 кВт в секции с  $\eta_e = 0,36$ , что ставит под сомнение рациональность проекта ГТ1. Более того, современный уровень развития теории комбинированных энергоустановок показывает, что при работе на газе в габаритах ГТ-101 можно разместить 22 МВт мощности при  $\eta_e > 0,5$ . Поскольку от локомотива не требуется более 10 МВт, то очевидно, что освобождаемого пространства достаточно для размещения всех систем и запаса СПГ, которого требуется в 2 раза меньше, чем для ГТ1.

Преимущества по массогабаритным показателям (без учета дополнительного запаса топлива и газозооушно-го тракта для наземных условий) перед тепловозными дизелями имеют лишь авиационные ГТД с весьма низким КПД. Применение даже одного регенеративного теплообменника (для повышения КПД) увеличивает массу и габаритные размеры авиационного ГТД до уровня тепловозного дизеля. На газотурбовозе ГТ1 столь плотная компоновка, что отсутствует запас пространства для установки регенератора. У маневрового газотурбовоза ГЭМ10 те же проблемы.

Опыт создания газотурбовозов ГТ1 и ГЭМ10 убедительно доказывает нерациональность применения авиационных ГТД на локомотиве. Повторился известный по танкам результат, когда авиационные двигатели вместе с системами и запасом топлива в наземных условиях не имеют преимуществ перед дизелями по массогабаритным показателям. Более того, из опыта сравнительной эксплуатации танков известно, что ГТД имеют на 30 % больший эксплуатационный расход топлива и в 5–7 раз дороже дизелей.

ГТД газотурбовоза ГТ1 потребляет в 2 раза больше топлива, чем дизель

тепловоза. Поэтому даже при более низкой цене ПГ эффективность инвестиций оказывается невысокой. К стоимости ГТ1 необходимо добавить затраты на создание инфраструктуры получения и заправки СПГ, что при нынешнем КПД газотурбовоза составит 1,5...2,5 млн долл. США на газотурбовоз, то есть фактически увеличивает его стоимость вдвое. И только в случае существенного повышения КПД можно рассчитывать на экономическую эффективность газотурбовоза. Размещение компримированного природного газа (КПГ), который дешевле СПГ, еще проблематичнее. Однако очевидно, что при КПД СУ более 0,5 (при тех же габаритах установки) необходимый запас КПГ разместится в габаритах криогенной емкости ГТ1.

С целью разрешения возникших противоречий рассмотрим возможные пути их преодоления. Основной причиной, сдерживающей техническое совершенствование локомотивного парка, является традиционный подход к выбору типа СУ. В настоящее время на магистральных и маневровых локомотивах применяются двигатели, созданные 40–50 лет назад. К сожалению, серийные двигатели за истекшие годы не преодолели рубеж расхода топлива, полученный 50 лет назад [2] на опытном тепловозном дизеле. Некоторое снижение эксплуатационного расхода топлива достигнуто за счет совершенствования агрегатов и повышения экономичности частичных режимов. Показатели существующих дизелей находятся в области оптимального решения, поэтому улучшение одних показателей приводит к ухудшению других.

Аналогичная картина характерна и для импортных дизелей (косвенное подтверждение – поставка коломенских дизелей в Германию). Поэтому замена отечественных дизелей на лицензионные является заведомым тупиком, приводящим к увеличению транспортных

издержек, стоимости национального продукта и технической отсталости, так как лицензии продаются только на двигатели, находящиеся в производстве, то есть морально устаревшие.

При оценке перспективных направлений совершенствования СУ необходим учет условий эксплуатации, действующих и возможных ограничений. Очевидно, что нормы экологической безопасности будут ужесточаться и далее.

Эмиссия вредных веществ зависит от типа и технического состояния СУ, режима ее работы, расхода и состава топлива. Тип СУ определяет параметры расчетного режима, камеру сгорания, температуру, давление и время пребывания компонентов в зонах образования и рекомбинации вредных веществ, степень отличия нерасчетных режимов (частичные нагрузки, холостой ход и переходные режимы) от расчетного. Техническое состояние (степень исправности и износа) СУ в ряде случаев увеличивает эмиссию в несколько раз. Расход топлива также зависит от типа СУ, режима ее работы, параметров расчетного режима, степени отличия нерасчетных режимов от оптимального, технического состояния, сопротивления в газовоздушном тракте (в том числе за счет нейтрализаторов).

Следовательно, для удовлетворения перспективным требованиям экологической безопасности необходимо, прежде всего, снижать эксплуатационный расход ископаемых топлив. Повышение эксплуатационного КПД способствует пропорциональному снижению выбросов  $\text{CO}_2$ . Для решения проблем экологии настоятельно требуются качественно новые СУ и альтернативные топлива. Работа двигателя на природном газе с воспламенением от сжатия при переменной степени сжатия позволяет автоматически удовлетворять нормам «Евро-5» без систем нейтрализации выпускных газов. Однако при нормальных условиях обеспечение

процесса сгорания ПГ с воспламенением от сжатия требует высокой степени сжатия, при которой максимальное давление цикла не может быть ниже 21...22 МПа, а на номинальном режиме может достигать 28...36 МПа. Традиционные дизели не могут работать с таким максимальным давлением цикла.

Эффективность локомотива существенно зависит от цены применяемого топлива и эксплуатационного КПД, который может значительно отличаться от максимального в зависимости от типа СУ. Поэтому весь мир занят созданием комбинированных (гибридные) энергетических установок (КЭУ).

Основные цели использования КЭУ вместо обычной силовой установки транспортного средства (ТС) следующие:

- уменьшение (на 25...50 %) мощности первичного двигателя;
- повышение коэффициента использования мощности ДВС с реализацией наиболее экономичных режимов его работы;
- снижение (на 50...85 %) количества выбрасываемых в атмосферу токсичных веществ;
- аккумулялирование энергии рекуперативного торможения ТС.

В настоящее время КЭУ представляет собой наиболее перспективное направление в развитии транспортных средств, что подтверждается масштабами работ в области КЭУ. Однако в рамках традиционных поршневых двигателей не удастся существенно снизить массу и габаритные размеры КЭУ, так как это требует увеличения давления наддува в несколько раз, а у кривошипного механизма (КШМ) практически отсутствуют резервы.

Режимы эксплуатации дизель-поездов, магистральных и маневровых локомотивов существенно различаются. Общим для них является разгон, торможение и холостой ход. Поэтому состав КЭУ и тип передачи может изменяться в зависимости от назначения.

Наиболее показательны в этом отношении маневровые локомотивы, имеющие особую специфику эксплуатации, которая характеризуется следующим:

- долей холостого хода, составляющей до 60...80 % всего времени работы;
- непрерывными переходными процессами при работе под нагрузкой как по дизелю, так и по силовой передаче;
- сведением на нет на номинальном режиме (КПД  $\eta_e=0,44$ ) высоких качеств ДВС из-за особенностей эксплуатации, которая приводит к низкому коэффициенту использования мощности (0,09...0,13) и среднеэксплуатационному КПД  $\eta_o=0,051...0,097$ .

Появление современных КЭУ в значительной степени обязано различным вариантам аккумуляторных систем промышленного железнодорожного транспорта. Экономичность двигателя определяется не только термическим КПД реализуемого в нем цикла. Еще важна эффективность преобразования произведенной механической энергии в работу на колесе. Организация работы СУ по отдельному циклу позволяет существенно увеличить эксплуатационный КПД. Сгорание топлива происходит на расчетных режимах с постоянной мощностью, а необходимую тяговую характеристику обеспечивает передача. Сглаживание колебаний мощности на колесе обеспечивается накопителями энергии или рабочего тела (у паровоза это котел, который обеспечивал  $\eta_o=0,06$  при  $\eta_e=0,08$ ).

Современные КЭУ включают первичный двигатель-генератор (электрический, пневматический или гидравлический), накопители энергии и обратимый двигатель-генератор. Первичный двигатель-генератор преобразует химическую энергию топлива в энергию носителя, в качестве которого может быть электрический ток,

сжатый газ (воздух), жидкость или механическая энергия, передаваемая от поршня к колесу.

Применение КЭУ позволяет уменьшить установленную мощность и объем первичного двигателя, но при этом появляются дополнительные агрегаты. Выбор рациональной схемы КЭУ в значительной степени определяется типом передачи. В настоящее время различные типы передач характеризуются следующими значениями КПД:

- 0,67...0,86 – электрическая;
- 0,85...0,91 – гидрообъемная;
- 0,7...0,86 – гидромеханическая;
- 0,74...0,93 – термопневматическая.

Гибридные СУ с накопителями кинетической энергии непригодны для транспорта. При достаточной энергоемкости в супермаховиках возникают значительные гироскопические моменты, нарушающие управляемость и безопасность движения на кривых участках пути. Установка систем безопасного подвешивания делает супермаховики неконкурентоспособными.

При электрической передаче заменяют электрические накопители энергии. По сравнению с механической коробкой передач система получается более громоздкой, но имеет хорошую управляемость и позволяет рекуперировать энергию торможения. Однако в электрических накопителях энергии существуют ограничения по скорости зарядки и разрядки, массе, стоимости и безопасности (для литий-ионных аккумуляторов). Наиболее рациональна такая схема СУ при использовании топливных элементов в качестве первичного двигателя, но на практике применение гибридной схемы с ними неэффективно [3] (эксплуатационный КПД не превышает 23 %).

Гидрообъемная передача решает те же задачи, что и предыдущая, но основным рабочим телом является жидкость. Обратимый гидравлический двигатель в насосном режи-

ме пригоден для рекуперации энергии торможения, которая накапливается в гидропневматических аккумуляторах [4]. С точки зрения эффективного аккумулирования энергии гидравлическая часть системы является избыточной. Использование для зарядки аккумуляторов азота и разделителя сред с учетом дополнительных потерь в гидромоторе и гидронасосе ограничивает применение данной схемы КЭУ.

При пневматической передаче в качестве рабочего тела используется воздух и/или продукты сгорания топлива. От предыдущих типов она отличается тем, что это единственный тип передачи, которая может повысить КПД на колесе по сравнению с КПД исходного двигателя за счет регенерации энергии выпускных газов [5, 6].

Во всех рассмотренных случаях система оказывается громоздкой и проигрывает по сравнению с традиционной по объему и массе СУ даже с учетом уменьшения установленной мощности первичного двигателя и запаса топлива. Это происходит из-за того, что первичный двигатель (дизель с КШМ) имеет ограниченные возможности и лишние звенья передач и преобразователей. В результате поступательное движение поршня ДВС преобразуется во вращательное коленчатого вала, а затем вращательное движение приводного вала гидронасоса или компрессора – в поступательное движение плунжера или поршня.

Очевидно, что вращательное движение здесь лишнее. Оно приводит к увеличению массы, объема, стоимости СУ, увеличению потерь при преобразовании поступательного движения во вращательное и обратно, а также накладывает дополнительные ограничения на параметры рабочего процесса первичного двигателя.

Если поршни первичного двига-

теля и преобразователя (генератор) соединить, то получим свободнопоршневой двигатель-генератор – то есть свободнопоршневой двигатель-гидронасос (СПДГН), свободнопоршневой двигатель-компрессор (СПДК), свободнопоршневой двигатель с линейным электрогенератором, генератор рабочего тела в виде продуктов сгорания. Возможна комбинация всех перечисленных вариантов.

Применение СПД позволяет убрать лишние звенья и существенно повысить КПД расчетного режима (до  $\eta_e = 0,54 \dots 0,58$ ). Устраняются также причины, вызывающие в обычных ДВС значительные отклонения от расчетных режимов. Здесь, прежде всего, следует напомнить, что СПД на переходных режимах не дымит в принципе. По уровню эффективного КПД (но не эксплуатационного) конкуренцию СПД могут составить лишь топливные элементы. Однако в отличие от топливных элементов СПД не чувствителен к топливу и может работать на природном газе с воспламенением от сжатия (не требует запальной дозы дизельного топлива, свечи, форкамеры и т.п.), что существенно упрощает топливную аппаратуру и всю СУ в целом. Длительные режимы холостого хода либо исключаются (пусковые качества СПД это позволяют), либо средневзвешенная частота циклов доводится до уровня 10/мин, что в 30–35 раз уменьшает расход топлива на холостом ходу по сравнению с тепловыми дизелями. Тепловой режим обеспечивается рециркуляцией выхлопных газов или с помощью теплового аккумулятора. Поэтому эксплуатационный КПД КЭУ может достигать 40...45 %.

В 1989–1991 гг. на кафедре «Локомотивостроение» Харьковского политехнического института проводились НИОКР по созданию аккумуляторных локомотивов (ЛТМ1) для



нужд металлургической промышленности по заказу транспортного управления Минчермет и Минмет СССР. Широкие технико-экономические исследования подтвердили высокую эффективность аккумуляторных локомотивов и позволили определить наиболее перспективное направление совершенствования СУ для них.

Несмотря на то, что наиболее энергоемким в настоящее время является тепловой аккумулятор с фазовым переходом, наилучшие показатели получены для локомотива с пневматическим аккумулятором. Для аккумулятора с фазовым переходом, кроме сосуда высокого давления, требуется еще теплоизоляция. Расчеты показали, что для обеспечения работы локомотива в режиме тепловоза ТГМ6 на металлургическом предприятии в течение 12 ч необходимо иметь на борту пневматический аккумулятор объемом не менее  $16 \text{ м}^3$  с начальным давлением 15 МПа ( $150 \text{ кг/см}^2$ ). Найденные компоновочные решения позволили вписаться в габариты тепловоза ТГМ6 при сохранении нагрузки на ось. Применение композитных баллонов вместо стальных позволяет увеличить давление в пневматическом аккумуляторе до 25...32 МПа и выше и соответственно увеличить энергоемкость.

Установкой первичного двигателя-компрессора мощностью 441 кВт обеспечивается необходимая автономность локомотива. Наилучшие показатели получены для СПДК, у которого выпускные газы и сжатый воздух срабатываются на одной и той же поршневой расширительной машине (РМ). Эффективность еще больше возрастает, если продукты сгорания после РМ подогревают сжатый воздух. Среднеэксплуатационный КПД локомотива ЛТМ1 составил  $\eta_s = 0,409$  при  $\eta_{\text{СПД}} = 0,496$ . Работа в закрытых помещениях осуществля-

ется только на сжатом воздухе.

Применение СПД в качестве первичного двигателя-генератора в КЭУ является логичным шагом дальнейшего повышения всего комплекса технико-экономических показателей КЭУ. Вне зависимости от области применения СПД обладают следующими проверенными на практике достоинствами:

- организация и условия протекания рабочего процесса в СПД обеспечивают высокие КПД и динамические показатели при отсутствии дымления (преимущества свободного поршня в дизеле заключаются в оптимальном теплоподводе, отсутствии ограничений на жесткость и максимальное давление цикла, высоком механическом КПД, незначительном до 10 % провале коэффициента избытка воздуха при набросе нагрузки);

- многотопливность, возможность применения низкосортных, синтетических и альтернативных топлив (свободнопоршневая камера сгорания по этому показателю существенно превосходит и дизели, и ГТД);

- динамическая уравновешенность, отсутствие вибраций и фундамента;

- простота, надежность и технологичность конструкции;

- низкие затраты при эксплуатации и ремонте;

- высокие пусковые качества при низких температурах;

- благоприятная тяговая характеристика;

- возможность отключения одного или нескольких СПД без остановки остальных;

- возможность повышения давления наддува и максимального давления сгорания;

- удобство компоновки в пространстве, модульный принцип компоновки.

Этими преимуществами объясняется очередной всплеск интереса к СПД [7, 8]. К сожалению, повторение

ошибок прошлого и традиционный для ДВС подход к синтезу СПД быстро погасят энтузиазм исследователей и инвесторов. Из практики известно, что для СПД не всегда удается найти приемлемое (прежде всего, по эффективности и надежности) решение. Широкое применение нашли лишь устойчивые саморегулирующиеся системы (свайные дизель-молоты, СПДК и т.п.). Наиболее противоречивые мнения существуют о газотурбинной установке со свободнопоршневым генератором газа (ГТУ с СПГГ). А.С. Орлин и М.Г. Круглов указывали [9] на недостатки ГТУ с СПГГ, обусловленные следующими трудностями:

- обеспечение тепловой стойкости деталей поршневой группы, работающей при повышенных давлениях в цилиндре;
- организация процессов газообмена и смесеобразования в специфических условиях свободного движения поршней;
- регулирование и автоматизация управления СПГГ;
- достижение эффективной работы самодействующих клапанов поршневых компрессоров при высокой цикличности;
- обеспечение надежной работы механизмов синхронизации;
- уменьшение износа основных движущихся деталей;
- снижение уровня шума при работе двигателя;
- равномерное распределение масла по рабочим поверхностям.

Кроме того, ряд авторов указывает на такие недостатки, как низкая экономичность [10], сравнительно низкие массогабаритные показатели [11], сложность доводки [12], сложная топливная аппаратура [11].

Одно только сравнение преимуществ и недостатков обнаруживает противоречия. В настоящее время все недостатки либо преодолены,

либо отпали в процессе общего развития двигателестроения.

Последние достижения в области теории рабочего процесса комбинированных энергетических установок [13] указывают на перспективность СПД в составе СУ. Диаграмма возможных режимов работы СПД в составе КЭУ [13] позволяет выбрать оптимальные параметры рабочего процесса, произвести сравнительную оценку эффективности различных типов комбинированных энергоустановок и объяснить причины многих неудач при создании СПД. К числу наиболее существенных ошибок относятся:

- необоснованный выбор параметров номинального режима;
- переход на постоянный ход поршня с форсированием дизеля СПД;
- завышенное соотношение диаметров компрессорного и дизельного поршней;
- нерациональная схема газообмена;
- нерациональный выбор расширительной машины.

Корректная постановка вопроса экономичности СУ не ограничивается сравнением расхода топлива в стендовых условиях, а включает все составляющие эксплуатационных затрат (в частности, эксплуатационный КПД и цену топлива), причем отпадает необходимость в производстве жидких топлив из газов, так как СПД обеспечивают более эффективную работу на газе с воспламенением от сжатия.

Сравнение массогабаритных показателей СУ при одинаковом давлении наддува некорректно, поскольку область рационального использования ГТУ с СПГГ лежит по давлению наддува существенно выше, чем у кривошипных дизелей. Сравнение же показателей при одинаковых коэффициентах избытка воздуха для сгорания и доле потерянного хода по окнам



вообще лишено смысла, так как массогабаритные показатели СПГГ от этих параметров не зависят [14], что, кстати, существенно упрощает доводку.

В построенных конструкциях механизма синхронизации не учтены особенности его работы под действием реальных нагрузок. Топливная аппаратура аккумуляторного типа в настоящее время это уже не недостаток. Шум всасывания был обусловлен особенностями конструкции воздушного тракта и, прежде всего, резонансным наддувом, который в настоящее время применяется лишь на гоночных автомобилях. Применение самодействующих клапанов обусловлено их простотой, поэтому ресурс обеспечивается их заменой при соответствующем техническом обслуживании. Применение приводных клапанов увеличивает ресурс и КПД, но одновременно и стоимость.

Не менее важную проблему для построенных СПД создает их узкая специализация. Поэтому производственные издержки оказываются существенно выше, чем в ДВС серийного производства. Для сокращения издержек необходимо создавать класс свободнопоршневых машин с единым конструктивным исполнением (например, СПДК, автономный наддувочный агрегат, свободнопоршневой дизель-гидронасос и т.д. в едином модуле). Модульный принцип компоновки также снижает издержки. Этому же способствует снижение установленной мощности в гибридных СУ и правильный выбор РМ.

В общем случае СПД в КЭУ может использоваться в двигательном, генераторном или комбинированном режимах. При мощности выше 100 кВт генераторный режим предпочтительнее [15], поэтому далее рассматриваем СУ, состоящую из СПД, РМ и турбокомпрессора (серийный). В качестве тягового двигателя для диапазона

мощностей до 3 МВт наиболее рациональна (по КПД и стоимости) объемная расширительная машина (ОРМ).

Объем и масса ОРМ зависят от давления рабочего тела на входе, быстроходности и глубины регулирования по крутящему моменту. ОРМ для непосредственной передачи крутящего момента на осевые редукторы с запасом крутящего момента 11...14 по тяговой характеристике получается громоздкой и существенно снижает объем пневматического аккумулятора. Разбивка тяговой характеристики на два диапазона (как у тепловозов типа ТГМ) позволяет уменьшить объем ОРМ в 3–4 раза. С учетом условий эксплуатации маневрового локомотива (доля времени и средняя скорость движения) при равном ресурсе основных узлов и агрегатов предпочтительны быстроходные РМ с понижающим редуктором.

С целью снижения производственных и эксплуатационных издержек рационально КЭУ выполнять из нескольких модулей. Необходимая проектная мощность локомотива обеспечивается установкой с соответствующим числом модулей. С точки зрения повышения ресурса и эксплуатационного КПД (за счет отключения модулей) рационально увеличивать число модулей кратно позициям контроллера машиниста. Современная автоматика справляется с задачей запуска и вывода на режим модулей в соответствии с положением контроллера машиниста и уровнем зарядки аккумуляторов. Очевидно, что в этом случае суммарный ресурс увеличивается пропорционально доле холостого хода и числу модулей.

На маневровых локомотивах применяются дизели мощностью от 294 (ТГМ23) до 1472 кВт (ТЭМ7). Кроме того, в карьерах применяют тяговые агрегаты смешанного типа (ОПЭ1), состоящие из тепловозной и электро-

возной секций, способных развивать мощность 6610 кВт. Эту мощность плюс 10 %, необходимые для собственных нужд, можно разделить на две секции тепловоза. Если разместить все 7,3 МВт в одной секции, то для использования этой мощности для тяги локомотив следует сочленять с бустером или моторным думпкаром. При этом весь диапазон мощностей тягового подвижного состава перекрывается модулем одной размерности, что существенно повысит эффективность эксплуатации состава.

На рис. 1 и 2 приведены тяговые характеристики и КПД тепловоза ТГМ6В. Максимальная входная мощность в гидропередачу при штатной комплектации составляет 819 кВт при касательной мощности 630 кВт. Для обеспечения этой мощности достаточно ОРМ мощностью менее 698 кВт, так как в передаче отсутствуют гидротрансформаторы и связанные с ними потери.

Мощность первичного двигателя КЭУ подбирается по различным принципам. Можно устанавливать двигатель по максимальному, известному из практики, коэффициенту использования мощности, а все тяговые режимы обеспечивать за счет накопителей энергии с первоначальной их зарядкой при экипировке. Возможен вариант аналогичный предыдущему, но без учета режимов холостого хода в коэффициенте использования мощности. В описанных случаях мощность первичного двигателя составит 20...60 % от ныне применяемых. Остальные режимы должны обеспечить накопители энергии. Другой подход – при заданной энергоемкости накопителя и максимальной длительности номинального и близких режимов определяется избыточная в эксплуатации мощность первичного двигателя. Минимальная емкость накопителя определяется из расчета полной рекуперации энергии

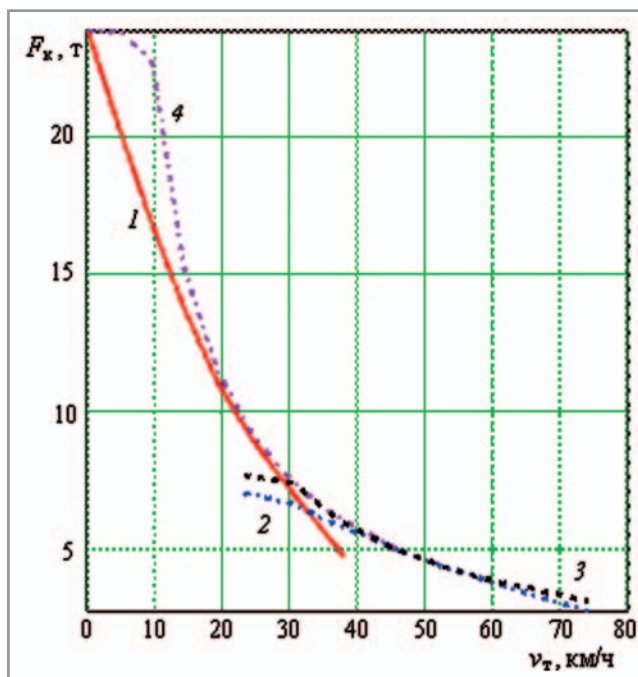


Рис. 1. Зависимости касательной силы тяги

( $F_k$ ) от скорости тепловоза  $v_t$ :

1, 2 – штатная комплектация с дизелем

7-6Д49 (мощность 882 кВт, габаритный объем 12,5 м<sup>3</sup>); 3, 4 – КЭУ (габаритный

объем 1,5 м<sup>3</sup>)

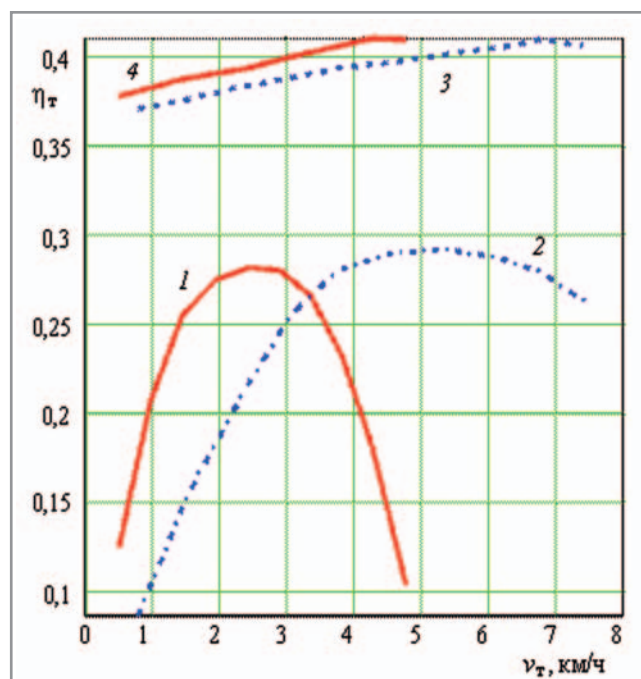


Рис. 2. КПД тепловоза:

1, 2, 3, 4 – см. рис. 1

торможения с учетом максимальной массы состава и условий эксплуатации локомотива.

За счет уменьшения тепловых потерь в систему охлаждения и установленной мощности СПД уменьшается объем и мощность потребителей системы охлаждения. С применением СПД отпадает необходимость в специальном тормозном компрессоре, так как производительность компрессоров СПД на режимах более 6 % номинальной мощности превышает номинальную производительность применяемых тормозных компрессоров, а объем воздуха в пневматическом аккумуляторе на один-два порядка превышает запас тормозного воздуха в главном резервуаре. Запуск СПД пневматический, поэтому емкость и число аккумуляторных батарей существенно снижаются, а их срок службы увеличивается. Все перечисленное увеличивает пространство для размещения ПГ.

С точки зрения увеличения ресурса главной тяговой ОРМ для обеспечения дополнительных нужд на холостом ходу рационально применять вспомогательную ОРМ, питаемую от работающего модуля или от пневматического аккумулятора.

Для КЭУ с СПД в генераторном режиме среднеэксплуатационная мощность тепловоза должна соответствовать максимуму КПД по нагрузочной характеристике, то есть номинальная мощность СПД не должна превышать 50 % установленной мощности штатного дизеля.

При замене дизеля тепловоза ТГМ6В на КЭУ в габаритах моторного отделения дизеля размещается КЭУ (объем 1,5 м<sup>3</sup>, масса до 1,2 т) и остается 11 м<sup>3</sup> пространства для размещения запаса ПГ, пневматического аккумулятора и теплового аккумулятора-регенератора.

КПД газопоршневых двигателей не превышает 0,43 (ограничение по

условиям детонации), а у КЭУ с СПД, работающем на газе с воспламенением от сжатия, – не менее 0,5 [15], что обеспечивает снижение расхода ПГ на 14...17 % по сравнению с расходным на оптимальном режиме газопоршневого ДВС. ОРМ, входящая в состав КЭУ, обеспечивает необходимую тяговую характеристику без гидротрансформаторов или электропередачи, что обеспечивает снижение расхода топлива еще на 14...15 %. Рекуперативное торможение позволяет снизить эксплуатационный расход топлива до 23 %.

Следовательно расход ПГ можно снизить на 50 % или в 2 раза по сравнению с расходом традиционных ДВС, то есть для сохранения запаса хода на ПГ криогенного бака в габаритах штатного бака для дизтоплива будет достаточно. Для размещения КПГ на тепловозе необходимо еще 9 м<sup>3</sup> пространства, то есть свободными остаются не менее 2 м<sup>3</sup> пространства.

Для развития полной мощности КЭУ (700 кВт) в течение 30 мин требуется 6,3 баллона вместимостью 400 л с давлением 25 МПа при срабатывании всего перепада давлений без дросселирования. При работающем СПД потребуется не более 3 баллонов. Следовательно, на ТГМ6В имеется достаточно места для размещения пневматического аккумулятора и КПГ.

В случае дизель-поезда массой 260 т (4 вагона) типовой тяговый расчет показывает, что при касательной мощности 640 кВт (мощность по дизелям 1010 кВт) поезд разгоняется до скорости 100 км/ч за 4,1 мин и проходит при этом расстояние 4,8 км. Для обеспечения данного режима только на сжатом воздухе потребуется 2 или 3 баллона вместимостью 400 л соответственно с давлением 32 или 25 МПа. При длине санитарной зоны 1 км потребуется один баллон. Отсутствие вибрации и малая высота

агрегатов позволяют размещать КЭУ под вагоном дизель-поезда, за счет чего можно увеличить число пассажирских мест.

Таким образом, применение КЭУ на базе СПД позволяет улучшить весь комплекс технико-экономических показателей СУ различного назначения и решить назревшие проблемы двигателестроения

и железнодорожного транспорта. Современные апробированные технические решения позволяют поднять эксплуатационный КПД транспортных СУ выше 40 %, эффективный выше 51...56 %, снизить объем силовой установки до уровня, достаточного для размещения необходимого запаса природного газа, в том числе сжиженного.

## Литература

1. Газотурбовоз ГТ-101 мощностью 3000 л.с. со свободнопоршневыми генераторами газа и гидравлической передачей. – Луганск: областное изд-во, 1961. – 16 с.
2. **Синенко Н.П., Струнге Б.Н., Резник И.И.** Тепловозный дизель Д70. – М.: Транспорт, 1966. – 64 с.
3. **Хачиян А.С.** Применение различных топлив и энергетических установок в автомобилях будущего // Двигателестроение. – 2004. – № 1. – С. 28–32.
4. **Дубровин В.Ю.** Комбинированные энергетические установки транспортных машин с рекуператорами. – М.: изд-во НИИСтандартавтосельхозмаш, 1991. – 61 с., ил.
5. **Плаголев Н.М.** Тепловозы. – М.: Трансжелдориздат, 1948. – 388 с.
6. **Савенков А.М.** Исследование комбинированных силовых установок городских автобусов с бесступенчатой передачей / Природный газ в качестве моторного топлива. Транспортирование, компримирование и использование газа. – М.: ВНИИГАЗ, 1997. – С. 135–143.
7. **Кецарис А.А., Духанин В.И.** Линейный генератор с двигателем внутреннего сгорания со свободным поршнем // Транспорт на альтернативном топливе. – 2011. – № 6 (30). – С. 42–48.
8. **Mikalsen R., Roskilly A.P.** A review of free – piston engine history and applications. This is a preprint version // Applied Thermal Engineering. – 2007. – Volume 27, Issues 14-15. – P. 2339–2352.
9. **Орлин А.С., Круглов М.Г.** Комбинированные двухтактные двигатели. – М.: Машиностроение, 1968. – 576 с.
10. **Нигматулин И.И.** Рабочие процессы в турбопоршневых двигателях. – М.: Машгиз, 1962. – 315 с.
11. **Чаромский А.Д.** Некоторые проблемы создания турбопоршневых двигателей и пути ускорения их доводки // Изв. ВУЗов «Машиностроение». – 1962. – № 1. – С. 14–19.
12. **Васильев В.Д., Соложенцев Е.Д.** Кибернетические методы при создании поршневых машин. – М.: Машиностроение, 1978. – 120 с.
13. **Иващенко Н.А., Петров П.П.** Всеядный двигатель. Диаграмма возможных режимов работы комбинированных энергоустановок // АГЗК+АТ. – 2009. – № 4 (46). – С. 3–8.
14. **Петров П.П.** Свободнопоршневые двигатели – проблемы и перспективы // Двигателестроение. – 1988. – № 4. – С. 3–5.
15. **Савицкий А.И., Петров П.П., Савенков А.М. и др.** Выбор гибридной силовой установки мобильных транспортных средств // Транспорт на альтернативном топливе. – 2011. – № 5 (24). – С. 62–66.

### Ведущие автомобильные организации объединили усилия в борьбе за чистоту окружающей среды

Две ведущие американские организации – сторонники использования природного газа в качестве моторного топлива – объединили усилия для продвижения в США идеи защиты окружающей среды путем предоставления возможности покупки газовых автомобилей по доступной цене, тем самым решая экологическую и экономическую проблемы. Этот проект, ранее осуществляемый Американской газовой ассоциацией (АГА) и Альянсом Америки по использованию природного газа (ААПГ), приобретет законченный вид под патронажем национальной организации «Газобаллонный автомобиль для Америки» (ГБАА). Задача ГБАА – содействие развитию газомоторного рынка в США.

«Газомоторные автомобили обеспечивают выгоду по трем направлениям: для нашей экономики, окружающей среды и энергетической безопасности, – сообщил президент и председатель правления АГА Дэйв Маккёрди, который будет работать плечом к плечу с президентом и председателем правления ААПГ Марти Дарбином в исполнительном комитете по проекту ГБАА. – Сейчас самый подходящий момент для развития газомоторного рынка США, и местные вспомогательные энергетические системы будут играть ключевую роль в адаптации газомоторного оборудования. АГА с гордостью присоединяется к ААПГ и ГБАА для обеспечения успешного роста и развития этого проекта».

Первоначально АГА и ААПГ запустили проект «Газобаллонный автомобиль для Америки» в 2010 г. как двухлетний проект по сотрудничеству предприятий, добывающих и использующих природный газ. Проект сыграл важную роль в расширении использования природного газа на легковых автомобилях в 2012 г. и соответствовал всем американским стандартам. В связи с успехом на газомоторном рынке США проект был продлен и на 2103 г. Текущий период АГА, ААПГ и руководство проекта «Газобаллонный автомобиль для Америки» посчитали подходящим моментом для объединения ресурсов и дальнейшего расширения возможностей для всех американцев получать экономическую, энергетическую и экологическую выгоды, используя природный газ как моторное топливо.

«Этот реорганизованный проект действительно может продемонстрировать людям много преимуществ от использования автомобилей на природном газе в Америке, – сказал президент ААПГ Марти Дарбин. – Мы рады помочь развитию экологических и экономических составляющих проекта ГБАА».

Приобретение газобаллонного автомобиля обеспечивает значительную долгосрочную экономию для водителей. Такая ориентация рынка моторного топлива на использование природного газа позволяет ему уверенно конкурировать с другими видами транспортного топлива. Обеспечив путь для широкого применения природного газа на транспорте, ГБАА также будет содействовать более широкому использованию энергии, получаемой от природного газа, что в совокупности усилит энергетическую безопасность страны и будет способствовать снижению загрязнения воздуха. Газобаллонный автомобиль



Новая модификация популярного американского пикапа F-150 с газовым оборудованием для работы на КПГ (фото [suvcar.ru](http://suvcar.ru))

производит на 20–30 % меньше вредных веществ в выхлопных газах, чем современные автомобили, работающие на бензине.

«ГБАА стоит на пороге исторического роста, – сказал президент ГБАА Рич Колодзей, – газобаллонные автомобили станут неотъемлемой частью транспортной системы Америки, и новое партнерство открывает преимущества в использовании природного газа для большей части населения страны».

Газомоторный сектор предлагает значительные возможности для бизнесменов, политиков и общественности, так как они заинтересованы в новых способах извлечь выгоду из обширных поставок внутреннего природного газа. Помогая в воспитании потребителей, поддерживая благоприятную политику и содействуя росту автогазозаправочной инфраструктуры, ГБАА и его члены со всей ответственностью будут работать над тем, чтобы страна осознала экономический, экологический и энергетический потенциал использования природного газа.

### Справка

Американская газовая ассоциация, основанная в 1918 г., представляет более 200 местных энергетических компаний, которые обеспечивают переработку природного газа на территории Соединенных Штатов. В США существует более 71 млн жилых, коммерческих и промышленных потребителей природного газа, из которых 94 % (более 68 млн потребителей) получают свой газ от организаций – членов АГА. На сегодняшний день одна четвертая добываемого природного газа на территории США используется в энергетике страны.

Соб. инф. по материалам сайта [www.aga.org](http://www.aga.org)



### Канадские мастерские для средне- и большегрузных автомобилей, работающих на природном газе

В феврале на территории Канады были открыты шесть автомастерских, ориентированных на средне- и большегрузные автомобили, работающие на природном газе. Мастерские, поддерживаемые национальным Проектом по переработке ресурсов в экоэнергию и альтернативные виды топлива, будут работать неполный рабочий день. Цель их создания – обеспечить владельцев средне- и большегрузных автомобилей всей необходимой информацией о заправке сжиженным и компримированным природным газом, включая оценку перспективы и преимуществ развития данного рынка на территории страны.

«Проект по продвижению использования СПГ на средне- и большегрузных автомобилях является одним из самых значимых экологически благоприятных проектов в Канаде за последнее десятилетие, – сказал Дуглас Стоут, вице-президент FortisBC и председатель канадского Альянса по использованию природного газа. – Канадские технологи создали двигатели, способные работать на природном газе вместо обычного топлива, и эта технология используется для сектора большегрузов в Северной Америке. Переход на природный газ – это выбор, который открывает большие возможности для всех владельцев автомобилей средней и большой грузоподъемности».

Сборка транспортных средств на СПГ сделает автомобильные компании более конкурентоспособными и поможет улучшить экологическую и экономическую ситуацию в стране. Большегрузы на СПГ не наносят ущерба окружающей среде. Такие автомобили способны снизить количество неблагоприятных выбросов на 20 % по сравнению с выбросами дизельных двигателей. На автомобильном рынке представлены 50 моделей грузовиков и автобусов, работающих на СПГ.

Соб. инф., по материалам CNGVA и [www.gowithnaturalgas.ca](http://www.gowithnaturalgas.ca)

### Развитие газомоторного рынка в Чехии

Более 6700 автомобилей, включая примерно 430 автобусов и 60 грузовиков, заправляются КПП на территории Чешской Республики. Такие данные статистики на январь 2014 г., и она свидетельствует о том, что прирост газовых автомобилей по сравнению с прошлым годом составил по стране 2500 ед.

В 2013 г. потребление КПП в Чехии составляло 22 млн м<sup>3</sup>, что демонстрирует рост на 44 % по сравнению с 2012 г. В течение пяти лет использование КПП на транспорте в республике увеличилось втрое. Согласно данным отчета (Eurogas Long-Term Outlook for Gas to 2035), подготовленного компанией Eurogas, в которой Чешская Республика представлена Чешской национальной газомоторной ассоциацией (ЧНГА), потребление КПП в Европе к 2035 г. может увеличиться в семь раз.

К январю 2014 г. на территории Чешской Республики уже действуют 52 АГНКС. По меньшей мере еще 45 станций появятся в стране



#### Чешская АГНКС

к концу этого года (компания E.ON планирует открыть 12-14 станций, VEMEX – 10, VITKOVICE – более 20, RWE – 3 новые станции и т.д.). Задачи, поставленные Евросоюзом по созданию газозаправочной инфраструктуры и ее развитию, в Чешской Республике ударно выполняются.

Кроме того, впервые предметом обсуждения в Чехии станет возможность создания собственной технологии производства сжиженного природного газа (СПГ). Так, Чешская национальная газомоторная ассоциация является участником международного проекта по внедрению технологии СПГ (LNG Masterplan for Rhine-Main-Danube).

#### Развитие рынка КПП в период с 2004 по 2013 г. в Чехии

Годы	Число АГНКС	Число автомобилей на КПП			Продажи КПП, млн м <sup>3</sup>	Рост продаж, %
		Общее	Легковые автомобили	Автобусы		
2004	9	250	150	100	2,773	
2005	9	450	280	165	3,010	8,5
2006	11	580	400	180	3,584	19,1
2007	17	900	680	195	5,790	61,6
2008	17	1200	950	215	6,758	16,7
2009	23	1800	1465	270	8,082	19,6
2010	32	2500	2112	300	10,058	24,4
2011	34	3250	2807	336	12,089	20,2
2012	45	4300	3818	362	15,242	26,0
2013	50	6300	5747	404	21,952	44,0



Чешские транспортные компании все чаще приобретают автобусы на КПП, что позволяет им ежегодно экономить десятки миллионов чешских крон. Министерство охраны окружающей среды Чехии объявило о предоставлении субсидии в размере 1 млрд чешских крон для трех регионов страны, участников программы «Окружающая среда», с целью замены старых автобусов, выбрасывающих большой объем загрязняющих веществ с выхлопными газами, на новые экологически чистые на КПП. Субсидия дает возможность приобрести более 200 автобусов и построить новые АГНКС. Это позволит вдвое увеличить число автобусов на КПП. Такое количество газомоторных автобусов способно привести к росту потребления КПП на 20 %.

Чешская национальная газомоторная ассоциация с признательностью отнеслась к предоставлению субсидии, которая покрывает 85 % реальных затрат на развитие газомоторного рынка этих регионов. Кроме того, чешские министерства транспорта, охраны окружающей среды и промышленности поддержали развитие рынка КПП в своих планах на период 2014–2020 гг.

В мае 2014 г. на рынке будет представлена газомоторная Skoda Octavia. Это событие весьма знаменательно для Чехии, так как, по данным ЧНГА, Skoda в целом по-прежнему уверенно удерживает значительную часть автомобильного рынка (не менее 35 %), а Octavia остается наиболее популярным легковым автомобилем в стране.

Согласно данным АСЕА (Европейская ассоциация производителей автомобилей), за последние шесть лет общее число машин, производимых в Европе, плавно сокращается. Тем не менее, количество производимых в Европе автомобилей на КПП за этот же период возросло. На сегодняшний день в Европе существует уже 1,85 млн зарегистрированных автомобилей на КПП. Положительная динамика продаж газобаллонных автомобилей характерна и для Чешской Республики. Крупные чешские организации (Почта Чехии, Чешская пожарная служба, Муниципальная полиция) приобретают автомобили на КПП, небольшие производственные компании покупают газобаллонную спецтехнику – например, складские грузоподъемники и т.д. Таким образом, для газомоторного рынка в Чехии будущее складывается оптимистично.

Соб. инф. по материалам сайта [www.ngvaeurope.eu](http://www.ngvaeurope.eu)

### Автобусы в Осло будут заправлять сжиженным биометаном

12 февраля в Норвегии был торжественно открыт завод по сжижению биогаза, представленный компанией Wartsila. Это предприятие будет производить биотопливо для автобусов Норвегии. Имея возможность перерабатывать хозяйственные отходы в жидкий биометан, новый завод способен производить достаточно жидкого топлива для обеспечения работы 135 автобусов.

Работой предприятия будет управлять Cambi AS от имени норвежского Агентства по переработке энергии (EGE) и города Осло.



#### Завод по производству биогаза для заправки общественного транспорта

Жидкий биометан из хозяйственных отходов предназначен для заправки столичных автобусов. Применение такого вида моторного топлива позволит региону подняться на первые строчки в рейтинге экологических инноваций. EGE производит из отходов экологически чистую энергию и находится под контролем Департамента Осло по делам окружающей среды и транспорта.

Завод по сжиганию биогаза находится в г. Нес на территории сельскохозяйственного региона близ Осло. Работая в полную силу, предприятие способно переработать за год 50 тыс. т хозяйственных отходов с производительностью около 14 тыс. м<sup>3</sup> биометана в день. Технологический потенциал системы сжигания Wartsila позволит получать из биогаза 60 т жидкого топлива в день.

«Этот завод способен обеспечить биогазом 135 автобусов в Осло. В результате выбросы углекислого газа будут сокращены на 10 тыс. т в год. Воздух станет чище, и уровень шума будет снижен, а это и есть самое главное преимущество, которое принесет пользу нашему району», – отметил Дженнике Гернер Бьеркос, директор по коммуникациям и социальной ответственности компании EGE в Осло.

«Мы очень рады и гордимся возможностью быть причастными к реализации такого прогрессивного проекта по производству нового, благоприятного для окружающей среды автомобильного топлива. Существует большой потенциал в использовании сжиженного биометана из возобновляемых энергоресурсов автобусами и грузовиками, и этот проект является важным шагом в развитии газомоторного рынка Норвегии. Технология сжигания может быть внедрена при производстве и других видов моторного топлива, – отметил Тор Люнде, управляющий директор компании Wartsila Oil & Gas Systems. – Это тем более важно, что Евросоюз поставил цель достичь к 2020 г. выработки 20 % энергии из возобновляемых источников».

Соб. инф., по материалам компании Wartsila

### Westport представила технологию двухтопливного двигателя GEMDi


Канадская компания Westport Innovations Inc. представила свою новейшую запатентованную технологию, которую по праву можно считать большим прорывом в производительности для двухтопливных двигателей. Эта технология увеличения использования метана при работе дизеля Westport (Westport GEMDi – gas enhanced methane diesel) позволяет заводам-производителям оригинальных запчастей предложить покупателю полностью интегрированную, высокопроизводительную систему, оптимизированную для работы на двух видах топлива.

Технология Westport GEMDi разрабатывалась в сотрудничестве с Tata Motors, специалисты которой в свою очередь работали над пятицилиндровым двигателем нового поколения (5L engine), создаваемым для грузовиков средней грузоподъемности и автобусов в Индии. Данная технология обеспечивает быструю смену топлива – идеальный вариант для регионов с невысоким уровнем развития газомоторного рынка, например, индийского, однако собрана по всем стандартам Евро-4 и Евро-5.

«Westport GEMDi – инновационный, недорогой, полностью интегрированный мотор, собранный по новейшим технологиям двухтопливных двигателей, – сказал Томас Риппон, заместитель председателя правления – исполнительный вице-президент компании Westport. – Westport GEMDi является верным решением для производителей оригинальных запчастей и двигателей, готовых предложить проверенные и надежные продукты с прерогативой работы на природном газе при сохранении производительности и эффективности дизеля».

«Развитие инфраструктуры транспорта, например, автобусов и грузовиков на КПП, набирает обороты в Индии и приобретает статус национальной системы по мере развития и увеличения числа автомобилей на КПП, – заявил Ранджендра Петкар, руководитель департамента систем энергоснабжения Научно-технического исследовательского центра Tata Motors. – С технологией Westport GEMDi мы становимся первооткрывателями нового поколения продуктов на КПП, которые будут эффективными, экономичными, легкоуправляемыми, что повысит уровень заинтересованности клиентов».

Двухтопливный двигатель, как правило, опирается на стандартный аппарат дизельных двигателей. Изменения в базовой комплектации дизеля позволяют использовать и сжатый природный газ в качестве топлива. В соответствии с технологией двухтопливного двигателя КПП вводится при низком давлении и смешивается с всасываемым воздухом. Дизельное топливо подается непосредственно в камеру сгорания ближе к концу такта сжатия и используется для воспламенения обедненной смеси природного газа и воздуха (то есть свечи зажигания не требуются). Поскольку за основу двухтопливного двигателя взят дизельный, это позволяет добиваться более высокой производительности (крутящий момент и мощность) и эффективности на природном газе в сравнении с традиционным искровым зажиганием.



На основе анализа, выполненного Westport, на двухтопливных транспортных средствах будет действовать средний коэффициент замещения топлива около 60 % (доля энергии топлива). Если потребуется, двухтопливные двигатели способны работать полностью на дизеле.

Преимущества технологии Westport GEMDi по сравнению с традиционной технологией двухтопливного двигателя:

- Оптимизация эксплуатации двух видов топлива. Базовый дизельный двигатель с технологией Westport GEMDi оптимизирован для работы на двух видах топлива через внесение изменений в системы топливного сгорания и управления двигателем.
- Полная интеграция – по технологии Westport необходимые компоненты оборудования для использования природного газа будут непосредственно интегрированы в системы существующих двигателей, что обеспечит производителям оборудования соответствие самым высоким стандартам и уровню надежности.
- Более высокая производительность – технология Westport GEMDi смогла обеспечить уровень мощности и крутящего момента, схожий с соответствующими показателями стандартного дизельного двигателя.
- Технология позволяет повысить экономию топлива по сравнению с традиционной технологией двухтопливных двигателей.

Пятицилиндровый двигатель компании Tata совместно с технологией Westport GEMDi был представлен на АвтоЭкспо в Нью-Дели (Индия) в начале февраля 2014 г.

Соб. инф., по материалам Westport

## Евросоюз: водородные гибридные автобусы

Компании Ballard и Van Hool сформировали партнерство для разработки автобусов на водородных топливных элементах для использования в странах Европы. 27 первых автобусов должны быть переданы в эксплуатацию в 2014 г. Компании подписали не обязывающий Меморандум о взаимопонимании и поддержке проекта в области создания и маркетинга автобусов с нулевым уровнем выбросов. Партнеры планируют подготовить совместные предложения для проекта Евросоюза в области водородных топливных элементов, а также вместе представить концепцию в рамках программы Горизонт 2020.

«Подписав Меморандум, мы намерены вместе с компанией Ballard распространить успех нашего партнерства по созданию автобуса с нулевым выбросом на большее количество систем общественного транспорта в европейских городах», – заявил Леопольд Ван Хул, председатель совета директоров компании Van Hool NV, четвертого по масштабам европейского производителя автобусов. Первые 27 автобусов Van Hool на высокоэффективных водородных топливных элементах компании Ballard появятся в Европе уже в 2014 г. Компания Ballard поставляет энергетические модули FCvelocity®-HD7 для установки на гибридные автобусы. Оборудование Ballard должно обеспечить повышенную дальность пробега, надежность и значительное сокращение эксплуатационных затрат.

NGV Communications Group

### Открыта первая АГНКС в Мадриде

Мэр Мадрида Ана Ботелла приняла участие в церемонии открытия АГНКС, принадлежащей компании Gas Natural Fenosa, отметив, что широкое использование природного газа становится одним из аспектов развития городского транспортного комплекса.

До настоящего времени АГНКС в Мадриде были расположены только на территориях муниципальных департаментов, и лишь две из них были доступны всем слоям населения. С начала программы по развитию сети АГНКС в Мадриде уже три такие заправочные станции находятся в свободном доступе для всех автолюбителей. К концу 2014 г. ожидается открытие еще трех АГНКС.

Пропускная способность первой мадридской АГНКС – 220 автомобилей в день. С открытием этой заправки общее число АГНКС, принадлежащих компании Gas Natural Fenosa, в Испании составило 23 ед.

Городские коммунальные службы стали первооткрывателями в применении нового вида топлива на общественном и специализированном транспорте. На КПГ теперь работают 761 городской автобус, 459 мусоровозов и 18 городских автокранов. Со своей стороны администрация города активно занимается распространением информации о преимуществах работы на КПГ.

Использование такого вида моторного топлива является стратегически важным решением для Мадрида. Верно выбранная энергетическая схема способствует экономическому росту, улучшению социального обеспечения и имеет положительный экологический эффект для города.

Соб инф., по материалам [www.gasnaturalfenosa.com](http://www.gasnaturalfenosa.com)



## МАЗ презентует новинку



### Новый газовый автобус МАЗ

В декабре 2013 г. в Минске (Республика Беларусь) на базе филиала «Управление «Минскавтогаз» ОАО «Газпром трансгаз Беларусь» состоялась презентация газомоторной автомобильной техники, где был показан, в частности, первый в Белоруссии городской газовый автобус на экологически чистом топливе МАЗ 203965.

Представители конструкторской службы Минского автомобильного завода рассказали о технических особенностях и условиях эксплуатации автобуса МАЗ 203965, работающего на метане. Опытный образец автобуса стал первым шагом к разработке и созданию линейки техники МАЗ, работающей на КПГ.

В ходе презентации обсуждались перспективы развития газомоторного транспорта в Белоруссии и выгоды перехода на альтернативное автомобильное топливо.

В конце декабря состоялась презентация МАЗовской новинки руководству г. Казань и региональным автоперевозчикам. Планируется, что уже в начале 2014 г. автопредприятия города протестируют несколько газомоторных автобусов производства Минского автомобильного завода.

«В рамках программы в 2014 г. в Казани планируется обновление подвижного состава городского пассажирского автопарка, в том числе приобретение 65 газомоторных автобусов», – отметил первый заместитель руководителя исполкома по транспорту, земельным и имущественным вопросам Рустам Нигматуллин.

Комплектация автобуса, продемонстрированного в Казани, предусматривает оборудование ведущих мировых производителей: двигатель Daimler Chrysler (Mercedes), КПП «Allison», газовые баллоны из невзрывоопасного углепластика «Ragasco» (Норвегия). Подготовка к серийному производству автобусов данной модели на предприятии завершена. Согласно протоколу о намерениях, предварительно в городах России завод получил заказ на поставку 150 единиц новой техники.

[www.maz.by](http://www.maz.by)

## Abstracts of articles

C. 7

### Fuel cells as perspective/potential/future chemical sources of electric energy Sergey Kozlov, Vladimir Fateev

The material is a brief overview of the current status of the fuel cells primitive forms and electric power installations based on them on the Western and domestic markets. Chemical current sources are divided into three large groups: expendable chemical cells, chargeable cells and fuel cells. Their strengths and shortcomings are described. Device description and operation concept of fuel cells (FC) is given. Fundamentally all of the FCs are organized similar, but there is a number of differences, like: type of electrolyte fluid, structural material, operational temperature, electrode reactions, structural variations. Electrode reactions in polyethylene, alkaline, phosphoric acid, molten-carbonate, solid oxide FCs and basic diagram of electric power installation on FC are given. Thermodynamic analysis of «coefficient of thermal efficiency» characteristic quantity for FC or heat engine is described. Concept specialties of different application electric power installations (FCEPE) on FC with an alkaline electrolyte fluid are analyzed. Facility ratings of spacecraft Appolo, Shuttle, Buran and specialties descriptions of power installations concept for submarine project 613(e), VAZ automobiles and steady-state cogeneration plant are given.

Nowadays electric power installations on FC with solid polymer electrolyte (SPE) are the most technologically advanced system. FCEPE are used for the emergency service, standalone power generation systems besides transportation/vehicles (system). A great number of firms, including Plug Power, UTC, Canadian Ballard Power Systems Inc., German Siemens, deal with FCEPE development and production. Similar research and development of FCEPE are performed by Russian Nuclear Center «Kurchatov Institute», Russian Federal Nuclear Centre- All-Russian Research Institute for Experimental Physics, Primary Research Studies Institute of Naval Electrical and Process Engineering, and many other research centers. Difficulties through the creation of EPE on FCEPE are reported.

Electric power installations on FC with phosphoric acid electrolyte have come to a head of the industrial small-batch manufacturing. Case history of electric power installations in Russia is given. Test descriptions of leading firms in generation EPE on FC with molten carbonate and solid oxide electrolytes, direct oxidation of chemical agents and mobile fuel cells are presented.

**Keywords:** fuel cells, electrode materials, catalytic agents, electric power installations.

C. 23

### Diesel Engines Running on Multi-Component Emulsions

Vladimir Markov, Sergey Devyanin, Vladimir Shumovsky

Possible ways of utilizing rapeseed oil as a fuel for diesel engines are considered. Experimental work on D-245.12S diesel engine fueled with multi-component emulsions of different percentage has been carried out. Possibility of exhaust toxicity characteristics improvement by using these multi-component emulsions as a fuel for automobile diesel engines is demonstrated.

**Keywords:** diesel engine, diesel fuel, water-fuel emulsion, rapeseed oil, multi-component emulsion.

C. 33

### Indicators of Ecological Effectiveness and Safety Operations of Motor Vehicles on Natural Gas

Gretta Akopova, Nadezhda Vlasenko, Roman Teterev

The impact on the environment is considered while a motor vehicle is operated, using different types of fossil fuels. Comparative characteristics of the specific emissions of polluting substances in the exhaust gases from the combustion engines of motor fuels are given. Transfer transport on methane, because of its safety, environmental and economic benefits of traditional motor fuels is the most appropriate way to solve the problem of air pollution of cities.

**Keywords:** environmental safety, motor vehicles, motor fuels, pollutant emissions, natural gas, impact on the environment.

C. 47

### Alternative method of gas preparation to vehiculation in depleted fields

Alexey Shendrick

One of the most important problems of the Ukrainian gas-vehicle production sector is gas preparation to vehiculation in depleted fields. Formation pressure decrease and production rate may not be able to create process structure of a crude gas low-temperature separation at its processing facility. It demands auxiliary equipment involvement as well as operating expenses. Under the conditions of gas production drawdown in depleted field commercial efficiency of gas production enterprises is being put a dent/ decreased significantly. Re-examination of gas conditioning method in the context of depleted fields' development, unit costs expansion growth for classic/traditional gas conditioning and lowering of natural gas production allocated efficiency is considered. A new method of natural gas refining which is an essential component of gas processing, gives an opportunity of cost effectiveness improvement of gas production in depleted fields.

Requirements to gas treatment using containerization are way lower than pipeline transportation usage and may be contended by baric method of compressed natural gas treatment. Baric method practicing combined with containerization gas treatment offers great opportunities in depleted fields' development. Origination of gas exploitation, transportation and commercialization world systems requires modern technology adoption and the baric method of gas production is able to become an irreplaceable in the gas industry.

**Keywords:** baric method of (gas) production, containerization, gas service dynamic systems, compressor module, SCADA system.

C. 57

### Peculiarities of gas-engine fuel usage on railway sector/transport

Petr Petrov

Combined (hybrid) propulsion system based on free-piston engine is able to improve whole technical-and-economic indexes system of various profiles power units as well as to solve brewing problems of engine-building and railway sector.

Modern/advanced approved technical solutions allow operating efficiency of diesel loco to grow to 40 per cent and higher and provide natural gas reserves location including compressed natural gas.

**Keywords:** combined (hybrid) propulsion system, free-piston engine, natural gas, gas turbine loco, diesel loco.

**Авторы статей в журнале  
№ 2 (38) 2014 г.**

**Акопова Гретта Семеновна,**  
к.т.н., начальник лаборатории охраны окружающей среды и ресурсосбережения  
ОАО «Газпром ВНИИГАЗ»,  
тел. (498) 657 94-54, 23-36, 44-54, 40-62, 42-18,  
40-43, 43-44, доб. 21-97 или 21-98,  
e-mail: G\_akopova@vniigaz.gazprom.ru

**Власенко Надежда Львовна,**  
канд. биол. наук, ведущий научный сотрудник  
лаборатории охраны окружающей среды  
и ресурсосбережения ОАО «Газпром ВНИИГАЗ»,  
тел. (498) 657 94-54, м.т. 910 421-28-95,  
e-mail: N\_vlasenko@vniigaz.gazprom.ru

**Девянин Сергей Николаевич,**  
д.т.н., профессор, заведующий кафедрой  
«Тракторы и автомобили» Московского государственного  
агроинженерного университета  
им. В.П. Горячкина (МГАУ им. В.П. Горячкина),  
тел. 8-917-519-63-94

**Козлов Сергей Иванович,**  
профессор, д.т.н.,  
тел. 8 495 719 60 88; д.т. (499) 128-59-51,  
e-mail: si.kozlov2008@gmail.com

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

**Петров Петр Петрович,**  
к.т.н., главный инженер НПФ «ЭКИП», г. Москва,  
e-mail: ppp\_kspd@mail.ru

**Тетеревлев Роман Викторович,**  
главный технолог ОАО «Газпром»,  
тел. (495) 719-69-20,  
e-mail: R.Teterevlev@adm.gazprom.ru

**Фатеев Владимир Николаевич,**  
заместитель директора Центра физико-  
химических технологий НИЦ «Курчатовский  
институт», профессор, д.х.н., тел. (499) 196-94-29,  
e-mail: fat@hepti.kiae.ru

**Шендрик Алексей Михайлович,**  
начальник оперативно-производственной  
службы ГПУ «Шебелинкагаздобыча»,  
64250, Харьковская обл., Балаклеевский р-н,  
п.г.т. Червоный Донець, вул. Октябрьская, 9.  
Тел. 10 38 (05749) 5-23-47, факс (05749) 5-20-24,  
e-mail: oilgasua@mail.ru

**Шумовский Владимир Алексеевич,**  
аспирант кафедры «Теплофизика»  
МГТУ им. Н.Э. Баумана,  
р.т. (499) 263-69-18

**Contributors to journal issue  
No 2 (38) 2014**

**Akopova Gretta,**  
candidate of technical sciences, head of laboratory  
of environmental protection and resource saving  
(Gazprom VNIIGAZ),  
e-mail: G\_akopova@vniigaz.gazprom.ru,  
phone: + 7 (498) 657 94-54

**Devyanin Sergey,**  
D. Sc. (Eng.), professor, head  
of «Tractors and Automobiles»  
department of the Moscow  
State University for Agriculture  
and Engineering n.a. V.P. Goryachkin,  
m.t. + 7 917 519-63-94

**Fateev Vladimir,**  
RRC «Kurchatov Institute» Professor,  
Deputy Director,  
tel. 499 196 94 29,  
e-mail: fat@hepti.kiae.ru

**Kozlov Sergey,**  
doctor of technical sciences, professor,  
tel. + 7 (499) 128-59-51,  
e-mail: si.kozlov2008@gmail.com

**Markov Vladimir,**  
PhD, Engng, professor of «Heat Physics»  
department of the Bauman Moscow State  
Technical University,  
e-mail: markov@power.bmstu.ru

**Petrov Petr,**  
candidate of technical sciences, chief engineer  
of Scientific and Production Company (SPC) EKIP,  
e-mail: ppp\_kspd@mail.ru

**Shendrik Alexey,**  
GPU «Shebelinkagazdobycha»,  
phone: 10 38 (05749) 5-23-47,  
fax (05749) 5-20-24,  
e-mail: oilgasua@mail.ru, к.т.н.

**Shumovsky Vladimir,**  
graduate student of the Bauman Moscow State  
Technical University,  
phone: + 7 (499) 263-69-18

**Teterevlev Roman,**  
chief technologist (Gazprom),  
phone: + 7 (495) 719-69-20,  
e-mail: R.Teterevlev@adm.gazprom.ru

**Vlasenko Nadezhda,**  
Candidate of Biological Sciences,  
Leading Researcher  
of Laboratory of Environmental protection  
and resource saving (Gazprom VNIIGAZ),  
phone: + 7 (498) 657 94-54,  
e-mail: N\_vlasenko@vniigaz.gazprom.ru





## Подписка – 2014

Международный научно-технический журнал  
«Транспорт на альтернативном топливе»

Россия, 142717, Московская обл., Ленинский р-н., п. Развилка, а/я 253  
Тел.: +7 (498) 657 29 77, e-mail: transport.1@ngvrus.ru, transport.2@ngvrus.ru  
www.ngvrus.ru

**Уважаемые читатели!**  
**Продолжается подписка на 2014 г.**

Подписчики	Годовая, 6 номеров	II полугодие, 3 номера
Россия	4290 руб. (включая 10 % НДС)	2145 руб. (включая 10 % НДС)
Страны СНГ	4290 руб. (включая 10 % НДС)	2145 руб. (включая 10 % НДС)
Страны дальнего зарубежья	200 евро / 280 долл.	120 евро / 170 долл.

Отдельные экземпляры журнала (650 руб. + 10% НДС = 715 руб.) можно приобрести в редакции. Электронная версия журнала (формат PDF, 6 номеров):

- для РФ и стран СНГ – 2124 руб., включая НДС 18 %.
- для стран дальнего зарубежья – 100 евро / 140 долл. США.

Подписку на 2014 г. можно оформить по факсу, электронной почте или непосредственно в редакции; также через агентства «Роспечать» (подписной индекс 72149), «Межрегиональное агентство подписки» (Каталог Российская пресса – Почта России, подписной индекс 12718).

### Стоимость размещения рекламных полноцветных материалов в журнале:

В текстовом блоке	В рублях	В долларах США	В евро
1 страница (210 × 290 мм)	22 тыс. + 18 % НДС	900	650
½ страницы (125 × 176 мм)	13 тыс. + 18 % НДС	550	400
¼ страницы (70 × 176 мм)	8 тыс. + 18 % НДС	300	220
Презентация (1 стр.)	10 тыс. + 18 % НДС	350	260
Специальный раздел (1 стр.)	2 тыс. + 18 % НДС	–	–
На обложке			
1-я страница (150 × 210 мм)	22 тыс. + 18 % НДС	900	650
2-я или 3-я страницы (290 × 210 мм)	27 тыс. + 18 % НДС	1100	800
4-я страница (290 × 210 мм)	30 тыс. + 18 % НДС	1200	900

### 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.