



# ТРАНСПОРТ

## НА АЛЬТЕРНАТИВНОМ ТОПЛИВЕ



№ 3 (51) 2016



Реклама

Состояние и перспективы развития сети АГНКС в РФ  
Водородное топливо для транспортных двигателей  
Технологии СПБ, СПГ и КПГ для газификации

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

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-30114

Включен в Перечень ВАК

#### Учредитель и издатель

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

#### Периодичность

6 номеров в год

#### Главный редактор

**П.Г. Цыбульский**

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

#### Члены редакционной коллегии

**А. Беранек**

генеральный директор ООО «ВИТКОВИЦЕ Рус» (Чехия)

**Б.В. Будзуляк**

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

**С.П. Горбачев**

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

**В.И. Ерохов**

профессор «МАМИ», д.т.н.

**Р.З. Кавтарадзе**

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

**Т.В. Климова**

заместитель главного редактора

**С.И. Козлов**

д.т.н.

**С.В. Люгай**

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

**В.А. Марков**

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

**А.В. Николаенко**

ректор «МАМИ», профессор, д.э.н.

**Ю.В. Панов**

профессор МАДИ, к.т.н.

**Н.Н. Патрахальцев**

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

**Е.Н. Пронин**

член совета НГА

**В.Л. Стативко**

ветеран газовой отрасли, к.т.н.

**В.Н. Фатеев**

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

#### Редактор

**О.А. Ершова**

E-mail: transport.1@ngvrus.ru

Тел.: +7 (498) 657 29 76

#### Отдел подписки и рекламы

E-mail: transport.2@ngvrus.ru

Тел.: +7 (498) 657 29 77

#### Перевод

**А.И. Хлыстова**

#### Компьютерная верстка

**И.В. Шерстюк**

#### Адрес редакции:

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

www.ngvrus.ru

Отпечатано с представленного электронного оригинал-макета

в ООО «Типография «ПАРТНЕР-ПРИНТ»

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

Номер заказа

Сдано на верстку 15.04.2016 г.

Подписано в печать 15.05.2016 г.

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

Печать офсетная, печ. л. 10,5

При перепечатке материалов ссылка на журнал

«Транспорт на альтернативном топливе» обязательна.

Редакция не несет ответственности за достоверность информации,

опубликованной в рекламных материалах

## В НОМЕРЕ

Будущее, доступное сегодня! ..... 3

Семинар НГА «Газомоторное топливо:  
технологические аспекты  
и перспективные пути развития» ..... 8

**Пронин Е.Н.**

Состояние и перспективы развития сети  
АГНКС в России. .... 15

**Марков В.А., Поздняков Е.Ф.,**

**Шатров В.И., Жердев А.А., Стриженов Е.М.**

Исследования дизельного двигателя  
с адсорбционной системой аккумуляции  
природного газа ..... 19

**Рачевский Б.С.**

Технологии СПБ, СПГ и КПП  
для газификации объектов региона ..... 35

**Козлов С.И., Фатеев В.Н.**

Водно-щелочные топливные элементы ..... 41

**Евстифеев А.А.,**

**Заева М.А., Сергеев М.С.**

Метод обеспечения работоспособности  
системы управления питанием газового  
транспортного средства ..... 51

Международная конференция и выставка  
по СПГ-2022 Пройдет в Санкт-Петербурге ..... 61

Памяти

Алексея Сергеевича Хачияна ..... 62

Мы ждем перемен! ..... 64

Рынок бензинов как отражение  
российской экономики ..... 70

Электромобили: за чей счет праздник? ..... 75

Abstracts of articles ..... 77

Авторы статей в журнале № 3 (51) 2016 г. .... 79

На снимке: «Газпром» ведет масштабное строительство современных  
АГНКС в 21 регионе России

**Founder and Publisher**

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

**Published**

6 issues a year

**Editor-in-Chief**

**Tsybul'sky, P.G.**

*Deputy General Director of Gazprom VNIIGAZ, PhD*

**Editorial board members**

**Beranek Antonin**

*Director General  
of VÍTKOVICE Rus (Czech Republic)*

**Budzulyak, B.V.**

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

**Erokhov, V.I.**

*MAMI Professor, Doctor of Engineering*

**Gorbachev, S.P.**

*Professor, Gazprom VNIIGAZ, Doctor of Engineering*

**Kavtaradze, R.Z.**

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

**Klimova, T.V.**

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

**Kozlov, S.I.**

*Doctor of Engineering*

**Lyugai, S.V.**

*PhD, Director of the Centre «Gas Use»,  
JSC «Gazprom VNIIGAZ»,  
executive director, NGVRUS*

**Markov, V.A.**

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

**Nikolaenko, A.V.**

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

**Panov, Yu.V.**

*Professor of MADI (GTU), PhD*

**Patrakhaltsev, N.N.**

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

**Pronin, E.N.**

*member of the Council, NGVRUS*

**Stativko, V.L.**

*The vet of gas industry, Candidate of Science*

**Fateev, V.N.**

*Deputy Director of RNC Kurchatovsky Institute,  
Doctor of Chemistry*

**Editor**

**Ershova, O.A.**

*E-mail: transport.1@ngvrus.ru  
Phone.: +7 (498) 657 29 76*

**Subscription and Distribution Department**

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

**Translation by**

**Khlystova A.I.**

**Computer imposition**

**Sherstyuk, I.V.**

**Editorial office address:**

*PO Box 253, p. Razvilka, Leninsky r-n,  
Moskovskaya obl, 142717  
www.ngvrus.ru*

*Order number*

*Passed for press on 15.04.2016*

*Endorsed to be printed on 15.05.2016*

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

*Offset printing, 10,5 conditional printed sheets*

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

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

## CONTENTS

The future is accessible today .....3

Russian National Gas Vehicle Association (NGVRUS) workshop «Motor fuel: Technological aspects and promising ways of development» .....8

**Eugene Pronin**

State and prospects of CNG stations network development in Russia .....15

**Vladimir Markov, Eugeni Pozdn'yakov,**

**Viktor Shatrov, Anatoliy Zherdev,**

**Eugeni Strizhenov**

Research of diesel engine with natural gas adsorption storage system .....19

**Boris Rachevsky**

Technology LPG, LNG and CNG for regional gasification facilities .....35

**Sergei Kozlov, Vladimir Fateev**

Aqueous-alkaline fuel cells .....41

**Andrey Evstifeev,**

**Margarita Zaeva, Maxim Sergeev**

Hardness management system technique for gas-powered vehicle .....51

In memory of Alexei Khachiyan .....62

We are waiting for changes .....64

Gasoline market as a reflection of the Russian economy .....70

Abstracts of articles .....77

Contributors to journal issue № 3 (51) 2016 г. ....79

## Будущее, доступное сегодня!

С каждым годом природный газ становится все более популярным моторным топливом. Его преимущества перед традиционными видами топлива очевидны. Газ – это современно, удобно, экономично и экологично.

«Газпром» ведет масштабную работу по развитию российского рынка газомоторного топлива и в первую очередь за счет строительства новой газозаправочной инфраструктуры. Сегодня на территории России «Газпрому» принадлежат 213 автомобильных газонаполнительных компрессорных станций (АГНКС). Всего на начало 2016 года в стране насчитывалось около 270 АГНКС. Из нашего фоторепортажа вы узнаете, где появятся новые АГНКС компании в этом году.

Природный газ в качестве моторного топлива «Газпром» реализует под брендом EcoGas. Топливо EcoGas соответствует экологическому стандарту Евро-5. При его использовании выброс токсичных веществ в окружающую среду в пять раз ниже по сравнению с выбросами от автомобилей, работающих на бензине. А стоимость такого топлива в среднем по России составляет всего 12 руб./м<sup>3</sup>.

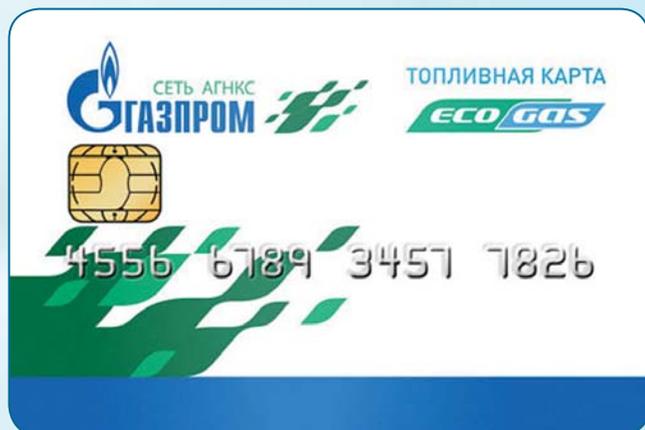


Новый топливный бренд «Газпрома» – EcoGas



## Новости отрасли

4



Топливная карта

Используя природный газ, можно увеличить срок службы двигателя в 1,5-2 раза. Дело в том, что при сгорании природный газ не только не образует отложений в двигателе, но и не смывает масляную пленку со стенок цилиндров, тем самым снижая трение и уменьшая износ деталей.

На АГНКС «Газпрома» клиенты могут воспользоваться различными формами оплаты. Например, юридическим лицам и индивидуальным предпринимателям предлагается удобная система безналичного расчета с применением топливных карт. Она позволяет не только вести учет осуществленных заправок, но и формировать онлайн-отчеты по выбранным параметрам.



Новые станции появятся в 21 регионе РФ

Сеть АГНКС «Газпрома» в 2016 году значительно вырастет: будут открыты 35 новых станций в 21 регионе России и реконструированы четыре действующие. Уже летом будут открыты несколько АГНКС в Республике Татарстан, Ставропольском крае, Кемеровской, Новгородской и Томской областях.

Выбор места строительства для новых станций осуществлялся таким образом, чтобы обеспечивалось создание газомоторных коридоров на востребованных направлениях автоперевозок. Например, сейчас на протяжении 509 км, разделяющих Краснодар и Элисту, всего одна газовая заправка, которой недостаточно, чтобы газовый автомобиль мог проехать по данному маршруту. Поэтому в 2016 году на этом участке будет открыто еще четыре станции.

Строительство новых АГНКС синхронизировано с расширением парка и ассортимента техники, работающей на природном газе. Объемы продаж газомоторного транспорта в России растут: в 2015 году было продано



Новая АГНКС в Ставропольском крае, город Новоалександровск



Развитие инфраструктуры синхронизировано с расширением парка газовой техники

3172 машины, что на 39 % больше, чем в 2014 году. Еще около 5000 машин было переоборудовано под газ. Общее количество такой техники в стране на начало 2016 года составило около 110 тыс. единиц.

Одним из самых активных регионов по газификации транспорта является Республика Татарстан. Здесь производится широкий ассортимент газомоторной техники. В частности, КАМАЗ выпускает более 50 моделей транспортных средств, работающих на природном газе, – от грузовых автомобилей до автобусов.



КАМАЗ на новой АГНКС в Нижнекамске (Татарстан)



Новая АГНКС в Великом Новгороде обеспечит голубым топливом пассажирский транспорт

Среди ключевых потребителей газомоторного топлива – городской пассажирский транспорт и коммунальная техника. К примеру, в Великом Новгороде Городское пассажирское автотранспортное предприятие эксплуатирует 44 газомоторных автобуса, что составляет более 50 % всего их автопарка. Для дальнейшего роста числа газомоторных автобусов в Великом Новгороде одной станции мало. В июне здесь планируется запуск новой АГНКС, что позволит не только разгрузить действующую станцию, но и обеспечить заправку природным газом магистрального автотранспорта на маршруте Москва – Санкт-Петербург.



Новая АГНКС «Газпрома» в Томске

В Томской области газ широко применяется не только на пассажирском транспорте, но и в легковых автомобилях. Наиболее популярными газовыми моделями в этом сегменте являются LADA Largus и LADA Vesta. В таксопарке местной компании «Апрель» эксплуатируется около 50 автомобилей, работающих на природном газе. 30 из них было переоборудовано в рамках стимулирующих программ компании «Газпром газомоторное топливо» – специализированного оператора по развитию рынка газомоторного топлива. В целом по России в 2015 году по таким программам на природный газ переведена 1000 единиц техники.

В Томской области в этом году будет открыта четвертая АГНКС «Газпрома».

Природный газ нашел применение и на тяжелой карьерной технике. Так, в Кемеровской области, где располагается Кузнецкий угольный бассейн, получен положительный опыт эксплуатации 12 газовых карьерных самосвалов и принято решение об увеличении газового парка. В ближайшие месяцы будет завершена реконструкция одной из четырех действующих АГНКС в Новокузнецке. В ходе работ на этом объекте было полностью заменено основное технологическое оборудование и обновлен внешний вид станции.

Масштабное строительство газозаправочной инфраструктуры с каждым годом делает природный газ – топливо будущего – все более доступным моторным топливом. К концу 2020 года российская сеть АГНКС «Газпрома» будет насчитывать около 500 объектов.



В Томской области в этом году будет открыта четвертая АГНКС «Газпрома»

Управление внешних коммуникаций  
ООО «Газпром газомоторное топливо»



## Семинар НГА «Газомоторное топливо: технологические аспекты и перспективные пути развития»

Национальная газомоторная ассоциация (НГА) провела очередной IV научно-практический семинар по теме «Газомоторное топливо: технологические аспекты и перспективные пути развития», который прошел 21 апреля в конференц-зале № 1 ПАО «Газпром».



Перед началом семинара. На переднем плане Станислав Люгай (справа) и Анатолий Ким

В работе семинара приняли участие представители Государственной Думы Федерального собрания Российской Федерации, федеральных и региональных органов исполнительной власти РФ, предприятий и организаций Группы Газпром (ООО «Газпром газомоторное топливо», ООО «Газпром ВНИИГАЗ», ООО «Газпром трансгаз Екатеринбург», ООО «Газпром трансгаз Нижний Новгород», АО «Газпром газэнергосеть», ООО «Газпром трансгаз Ухта», ОАО «Газпром трансгаз Беларусь», ООО «Газпром трансгаз Югорск», ООО «Газпром добыча Надым», ПАО «Газпром автоматизация» и др.), ФГБУ ВНИИПО МЧС России, ОАО «Новатэк», ПАО АК «АЛРОСА»,

финансовых структур (АО «Газпромбанк», ЗАО «Сбербанк Лизинг»), научных и образовательных центров (ФГУП «НАМИ», МАДИ, «Якутнипроалмаз» и др.), проектных, эксплуатирующих и сервисных организаций газомоторной отрасли.

По уже сложившейся традиции перед началом работы семинара директор Центра использования газа ООО «Газпром ВНИИГАЗ», исполнительный директор НП «НГА» Станислав Люгай вручил Свидетельства новым членам НГА: ООО «ЭкоГеоТэк», ООО «НПО «НефтеХимПроект», UNIDOM CO. LTD (Южная Корея), ООО «КИМАКО».



Процедура вручения Свидетельств является знаковой, потому что еще раз подчеркивает заинтересованность в развитии использования природного газа в качестве моторного топлива предприятий и организаций, которые приняли решение о вступлении в Ассоциацию.

Выступая на межотраслевом совещании о стимулировании развития использования газомоторного топлива, председатель правления ПАО «Газпром» Алексей Миллер отметил:

«У Газпрома уже есть опыт работы с газомоторным топливом в России на базе дочерних предприятий, но ключевой задачей сегодня является построение системы развития рынка газомоторного

топлива в масштабах всей страны, объединив усилия всех заинтересованных сторон».

Поэтому Национальная газомоторная ассоциация занимает активную позицию по содействию развитию рынка газомоторного топлива. Сегодня в НГА входят предприятия и организации, занятые в различных сферах деятельности.

На семинаре обсуждался ряд вопросов, в том числе и технологического характера, касающихся бесперебойной надежной эксплуатации средств заправки и газоиспользующей техники, совершенствования технологий производства газомоторного топлива, требований пожарной безопасности к объектам малотоннажного производства сжиженного природного газа (СПГ), организации развития газозаправочной инфраструктуры, процедур изменения в конструкции автотранспортных средств при переходе на газомоторное топливо, а также опыта практической реализации проектов по развитию газомоторного бизнеса.

Так, член правления, главный инженер – заместитель генерального директора ООО «Газпром газомоторное топливо» Вячеслав Хахалкин отметил, что на сегодняшний день ключевым фактором расширения применения природного газа в качестве моторного топлива является



Президиум семинара

форсированное развитие газозаправочной инфраструктуры.



Вячеслав Хахалкин

В основу стратегии развития рынка КПП компанией заложен региональный подход. Планирование создания сбытовой сети базируется на данных, полученных по итогам оценки потенциальной емкости 85 региональных рынков. Согласно ей, экономическая эффективность создания и развития региональной производственно-сбытовой инфраструктуры оценивается не в разрезе отдельных объектов инвестирования, а на региональном уровне, с перспективой расширения в соседние субъекты РФ. Проведя оценку потребительского спроса на КПП, компания определила 10 пилотных регионов.

Развитие инфраструктуры в каждом отдельном регионе проходит в сотрудничестве с местными органами власти, так как на данном этапе ключевым потребителем природного газа в качестве моторного топлива является пассажирский транспорт и коммунальная техника. В настоящее время соглашения о сотрудничестве подписаны с 45 субъектами РФ.

Строительство современных АГНКС ведется с использованием собственных

и частных инвестиций, прорабатываются проекты оборудования традиционных АЗС модулями с КПП и эксплуатации ПАГЗ. По выкупленным станциям Газпрома разработана программа реконструкции и обновления их внешнего облика для придания единого стиля.

С целью обеспечения новых инфраструктурных объектов качественным технологическим оборудованием Газпром организовано взаимодействие с 54 предприятиями-производителями, из них 26 – отечественные компании. В результате отобраны лучшие технические решения, сформирована Техническая концепция в части оборудования АГНКС, разработана и утверждена Дорожная карта по ее реализации.

По итогам реализации первых инфраструктурных объектов выявлен ряд сдерживающих факторов, устранение которых будет способствовать ускорению развития газозаправочной инфраструктуры.



Юлия Дрыгина, ООО «Газпром ВНИИГАЗ»

В докладе генерального директора ООО «Газпром трансгаз Екатеринбург» Давида Гайдта (озвучил доклад заместитель начальника Управления «Уралавтогаз» Петр Кузнецов) были освещены

следующие аспекты газомоторного рынка: мировые тенденции использования природного газа в качестве моторного топлива; современное состояние рынка газомоторного топлива в РФ; целевые показатели и текущая концепция развития рынка ГМТ в РФ.



Петр Кузнецов

Также были освещены основные проблемы российского рынка газомоторного топлива, рассказано о новой концепции его развития в ПАО «Газпром», источниках и механизмах финансирования, разработке технических решений по переводу основных видов АТС на природный газ и применении главных принципов Концепции на примере Большого Урала.

Доклад главного научного сотрудника ООО «Газпром ВНИИГАЗ» Станислава Горбачева был посвящен особенностям использования сжиженного природного газа (СПГ) в качестве моторного топлива. Станислав Прокофьевич отметил, что для развития инфраструктуры для заправки автотранспорта газомоторным топливом необходимо разработать технические требования к криогенным АЗС, в том числе к составу, температуре и давлению СПГ, заправляемого в бортовую топливную систему. Нужны

требования к унифицированным заправочным устройствам, емкостному оборудованию и топливозаправочным колонкам, к заправщикам, насосному оборудованию и системам управления. Технические требования необходимо гармонизировать с зарубежными стан-



Станислав Горбачев

дартами. Также следует определить условия обеспечения необходимого уровня пожароопасности на КриоАЗС.

Разработка технических требований позволит приступить к отработке технологии сливноналивных операций для неизотермического СПГ и огневым испытаниям емкостного оборудования с повышенной пожаробезопасностью, а также актуализировать СТО Газпром «Криогенные автомобильные газозаправочные станции (КриоАГЗС). Общие технические требования».

Об опыте реализации проектов малотоннажного сжижения природного газа и возможностях использования СПГ для развития газомоторного рынка рассказал начальник управления газификации и переработки газа АО «Газпром газэнергосеть» Анатолий Ким. Эта компания является организацией, ответственной за реализацию проектов автономной газификации (КПГ, СУГ и СПГ).



Анатолий Ким

В рамках концепции ПАО «Газпром» реализован пилотный проект газификации СПГ населенных пунктов Пермского края – выполнено строительство установки производства сжиженного природного газа и трех систем приема, хранения и регазификации СПГ. По результатам проекта газифицированы 9 котельных и 2237 домовладений. Кроме газификации населения, возможно строительство КриоАЗС и реализация СПГ в качестве газомоторного топлива.

По словам Анатолия Кима, Россия в настоящее время уступает лидирующие позиции в списке стран, использующих газ в качестве моторного топлива. Основная причина низкого спроса на газовые автомобили – слаборазвитая инфраструктура отрасли. Одной из основных причин этого является отсутствие возможности подключения к газопроводу. Производство СПГ на УСПГ со 100%-м сжижением позволяет производить поставки газомоторного топлива на КриоАЗС без привязки к газопроводу и равномерно в течение года.

Заместитель директора по научной работе Института «Якутнипроалмаз», руководитель проекта «Внедрение программы мероприятий по переводу

автомобилей и ДЭС» в ПАО АК «АЛРОСА» Игорь Зырянов рассказал о реализации программы мероприятий по переводу автомобилей и ДЭС на СПГ. Для того, чтобы выполнить ее, необходимы значительные капитальные вложения. Компания разработала комплекс инженерно-технических и организационных мероприятий. Однако острым остается вопрос размещения ГБА в помещениях стоянок боксового и манежного типа, свободный объем которых меньше допустимого. Несмотря на существующие проблемы компания твердо намерена довести начатое дело до конца. «АЛРОСА встала на голубой поток», – завершил такими словами свое выступление Игорь Зырянов.



О путях упрощения процедуры изменения конструкции АТС при переходе на газомоторное топливо шла речь в докладе генерального директора ООО «Региональный центр сертификации и мониторинга качества» Владимира Строганова. Были рассмотрены актуальные вопросы установки оборудования для питания двигателя газообразным топливом и показана действующая процедура внесения изменений в конструкцию транспортного средства, а также пути ее упрощения. Первый вариант упрощения процедуры предусматривает внесение изменений в Методические рекомендации МВД России №13/5-8230 от 20.10.2015 г., второй – внесение изменений в ТР ТС 018/2011, переработку ГОСТ-31972–2013

и внесение его в перечень стандартов, в результате применения которых на добровольной основе обеспечивается соблюдение требований технического регламента Таможенного союза «О безопасности колесных транспортных средств».



Директор ООО Фирма «Калининградгазприборавтоматика» ПАО «Газпром автоматизация» Сергей Сальников говорил о построении интегрированной системы управления АГНКС. Основными направлениями роста газозаправочной сети он назвал реконструкцию действующих и строительство новых автомобильных газонаполнительных компрессорных станций (АГНКС). По его словам, оценку технико-экономической эффективности АГНКС необходимо проводить с учетом того, что данные объекты по сравнению с жидкотопливными АЗС совмещают две функции: производство (технологические операции по приготовлению товарного сжатого газа из сырого газа, поступающего на эти станции) и распределение товарного газа (заправка в газобаллонные автомобили). Создание современных интегрированных автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП) является

одним из источников получения положительного технико-экономического эффекта как от функционирования производственной подсистемы отдельных АГНКС, так и сети станций в целом.

Современные автоматизированные системы управления сложными объектами создаются как многоуровневые системы. На уровне технологических установок функционируют локальные системы автоматики, обеспечивающие надежную работу оборудования и его защиту. Современное технологическое оборудование АГНКС (компрессоры, блоки осушки) оснащаются штатными средствами автоматики. С целью унификации применяемых аппаратных и программных средств целесообразно развивать кооперацию заводов-изготовителей оборудования и системных интеграторов, реализующих АСУ ТП.

Начальник конструкторского отдела ООО Завод «Саратовгазавтоматика» ПАО «Газпром автоматизация» Сергей Кузнецов посвятил свой доклад блочно-модульной АГНКС повышенной заводской готовности. Эта компания осуществляет деятельность в области создания автомобильных газонаполнительных компрессорных станций. Одним из направлений является разработка



Сергей Кузнецов

и организация производства типоразмерного ряда комплектных АГНКС и блоков АГНКС, которое осуществляется силами предприятий Общества – ООО Завод «Саратовгазавтоматика» и ООО Фирма «Калининградгазприборавтоматика». С целью решения указанной задачи в настоящее время проводятся: подбор и апробация функционирования в составе АГНКС отечественного компрессорного агрегата, обеспечивающего наилучшие эксплуатационные показатели; проработка и реализация моноблочной конструкции АГНКС с максимальной возможной производительностью; поиск технических решений, обеспечивающих минимизацию удельной стоимости в пересчете на единицу производительности, в частности, анализ экономической эффективности создания и эксплуатации трех- и двухлинейных АГНКС; отработка решений по созданию единой АСУ ТП АГНКС, осуществляющей управление всем технологическим оборудованием без использования агрегатных САУ, включая оборудование электроснабже-

ния, отопления и вентиляции, а также контроль над загазованностью, автоматической охранной, пожарной сигнализацией и пожаротушением.

Прорабатываемые решения имеют целью создание для АГНКС различной производительности ряда унифицированных блоков входных кранов, измерения расхода газа, аккумуляторов газа, а также изготовление полнокомплектных АГНКС с использованием унифицированных блоков различных производителей (пэкидж).

Выступления докладчиков вызвали большой интерес среди участников семинара. Поступило много вопросов. В ходе обсуждения докладов состоялся обмен мнениями, который носил конструктивный характер. По активности присутствующих можно сделать вывод о том, что подобные мероприятия, ставшие уже в деятельности НГА традиционными, являются важной составляющей в деле развития газомоторного рынка России и способствуют активизации работы в этой области.



Традиционное фото на память

# Состояние и перспективы развития сети АГНКС в России

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

**В** 2015 г. 280 АГНКС<sup>1</sup> России реализовали автомобильному транспорту примерно 454 млн. м<sup>3</sup> природного газа. В этот объем входят продажи КПП через станции предприятий Группы Газпром – их доля составляет примерно 95% от общего рынка (через 213 АГНКС Группы отпущено 433 млн м<sup>3</sup> природного газа<sup>2</sup>), и через АГНКС независимых собственников и операторов.

По оценке экспертов Газпрома, в 2016 г. АГНКС Газпрома могут реализовать 480 м<sup>3</sup> природного газа.<sup>3</sup> Тогда с учетом независимых продавцов КПП Россия может, наконец, вплотную приблизиться к рекорду РСФСР в 1990 г.: 525 млн кубометров.<sup>4</sup> В целом по СССР в то время был реализован миллиард кубометров природного газа. На этот уровень стране удалось выйти всего за шесть лет.

Революционный поворот в сторону газификации транспорта произошел после принятия Постановления Совета Министров СССР от 28 августа 1986 г. «О мерах по увеличению использования в двенадцатой пятилетке природного и сжиженного нефтяного газов в качестве моторного топлива».

В 1987-1990 гг. – фактически всего за четыре года – в СССР была проделана огромная работа:

- сформирована система нормативных документов;
- построены 450 АГНКС большой и средней производительности (от 125 до 500 заправок в день);
- организовано производство отечественного стационарного и передвижного заправочного оборудования, газовой аппаратуры и комплектующих;
- развернуто производство отечественных сосудов, работающих под давлением, а также сеть пунктов переосвидетельствования;



1 Сеть АГНКС Российской Федерации. 4.10.2015, Metan4U, <http://gazpronin.ru/>

2 Интерфакс, 10.03.2016

3 [http://www.gazprom-gmt.ru/press-center/newsotrasl/Gaz\\_ischet\\_mashinyi\\_mashinyi\\_ischut\\_gaz](http://www.gazprom-gmt.ru/press-center/newsotrasl/Gaz_ischet_mashinyi_mashinyi_ischut_gaz)

4 Статистика РАО «Газпром»

- в народное хозяйство пошли газовые грузовики и автобусы;
- сформирована национальная система технического обслуживания и ремонта газобаллонных автомобилей и топливной аппаратуры;
- осуществлялось финансирование НИР и ОКР по внедрению КПП, СПГ и СУГ на сельскохозяйственной технике, железнодорожном, авиационном и водном транспорте.

Последовательно, хотя и не без сложностей, выполнялись региональные программы газификации автомобильного транспорта. И был постоянный государственный контроль.

За восемь следующих лет – с 1991 по 1998 г. – спрос на КПП в Российской Федерации упал почти в 10 раз – до 58 млн м<sup>3</sup>. Потом началось долгое и мучительное возрождение газомоторного рынка России. В немалой степени этому способствовало Постановление Правительства Российской Федерации от 15 января 1993 г. № 31 «О неотложных мерах по расширению замещения моторных топлив природным газом». Во избежание ошибок имеет смысл процитировать главное положение этого постановления:

«Установить на период действия регулируемых цен на природный газ, поставляемый населению, предельную отпускную цену на сжатый природный газ, производимый автомобильными газонаполнительными компрессорными станциями, в размере не более 50 процентов от цены реализуемого в данном регионе бензина А-76, включая налог на добавленную стоимость».

В последние годы среди ряда менеджеров и политиков стала популярной идея отказа от регулирования цены на КПП. Такая позиция снижает привлекательность метана, поскольку тогда на уровне государства отсутствуют какие-либо гарантии стабильности цены газового топлива.

Между тем есть обратные примеры. Так, в мае 2013 г. при подписании программы газификации общественного транспорта между правительством Белоруссии и Газпромом заместитель Председателя Совмина республики В.И. Семашко отметил, что одним из главных моментов этой программы является гарантия Газпрома в течение 10 лет реализовывать в этой стране газомоторное топливо по цене не более 50% от стоимости дизтоплива.<sup>5</sup>

Об этом же говорят в ОАО «Российские железные дороги»: «Необходимо закрепить на законодательном уровне то соотношение цены газа и дизтоплива (50%), которое бы максимально снизило срок окупаемости того же газотурбобуса, по предварительным расчетам, он составляет 16 лет».<sup>6</sup>

Возникает вопрос, почему аналогичное решение не хотят принять в России?<sup>7</sup>

Российские АГНКС и КриоАЗС принадлежат различным владельцам – интегрированным и независимым. Доля «независимых» в общем объеме продаж пока мала: от 5 до 10 % (рисунок).

О перспективах продаж природного газа для автомобильного транспорта России существуют различные прогнозы. Однако какие бы цифры не назывались, стимулом для энергичного развития рынка является то, что Газпром определил газомоторное топливо как одно из самых приоритетных направлений работы.

Так, 28 ноября 2013 г. ИТАР-ТАСС сообщило, что к 2020 г. Газпром планирует построить 2158 АГНКС и 462 КриоАЗС, а также может довести

<sup>5</sup> Интерфакс, 20.05.2013

<sup>6</sup> «Гудок», 22.10.2015

<sup>7</sup> Розничные цены КПП на российских АГНКС в основном составляют от 10 до 17 руб./м<sup>3</sup>



Динамика роста спроса на КПП на АГНКС России в 2000-2015 гг. по группам владельцев (источник – MetanoGraph); \* – предполагаемый рост

ежегодную реализацию КПП до 10,4 млрд м<sup>3</sup>, СПГ до 3,8 млрд м<sup>3</sup> и занять таким образом 4,5 % отечественного рынка моторного топлива газомоторным топливом.<sup>8</sup> В 2016-2020 гг. Газпром может строить ежегодно от 305 до 430 АГНКС, а начиная с 2017-го в среднем еще и по 116 КристоАЗС.

Интерфакс уточняет промежуточные рубежи: «Газпром планирует к 2018 году увеличить число эксплуатируемых в России АГНКС до 471 единицы, сообщил председатель правления ПАО «Газпром» Алексей Миллер на совещании по развитию газомоторной техники в Нижнем Новгороде в понедельник. По его словам, объем продаж через собственную сеть АГНКС планируется увеличить к 2018 году до 1,5 млрд кубометров газа, в том числе и за счет увеличения использования действующих станций, которые сейчас загружены на 25% мощности».<sup>9</sup>

Аналитик Владимир Штанов придерживается другого мнения. Со ссылкой на правительство он сообщает, что реализация КПП в России в качестве моторного топлива достигнет 1,26 млрд м<sup>3</sup> только к 2020 г. Сеть АГНКС к этому времени будет насчитывать чуть более 740 станций.<sup>10</sup>

Нельзя забывать о намерениях Роснефти на газомоторном рынке России. В 2013 г. компания заявляла об инвестировании «на газомоторную революцию» порядка 60 млрд руб. и строительстве до 1000 АГНКС.<sup>11</sup> В июне того же года Роснефть декларировала намерение к 2015 г. ввести в эксплуатацию до 50 газовых автозаправочных станций.<sup>12</sup>

Собственные планы по выходу на Российский газомоторный рынок есть и у компании «Газпром нефть»: довести в 2015-2016 гг. число автозаправочных станций, на которых реализуется газомоторное топливо, до 400-500 единиц.<sup>13</sup>

8 ИТАР-ТАСС, 28.11.2013

9 [http://www.gazprom-gmt.ru/press-center/newsotrasl/Gaz\\_ischet\\_mashinyi\\_mashinyi\\_ischut\\_gaz](http://www.gazprom-gmt.ru/press-center/newsotrasl/Gaz_ischet_mashinyi_mashinyi_ischut_gaz)

10 Статистика ПАО «Газпром»

11 «Гудок», 22.10.2015

12 «Коммерсантъ», №94 (5125), 04.06.2013

13 Розничные цены КПП на российских АГНКС в основном составляют от 10 до 17 руб./м<sup>3</sup>

## Ключевые показатели газомоторного рынка Российской Федерации с 1990 по 2015 г.

18

Год	Парк ГБА, тыс. ед.	Сеть АГНКС	Спрос на КПГ, млн м <sup>3</sup>	Потребление ПГ на 1 ГБА, м <sup>3</sup> /год	Реализация ПГ на 1 АГНКС, млн м <sup>3</sup> /год	Парк ГБА на 1 АГНКС
1990	140,0	164	525,0	3 750	3,2	854
1991	107,1	166	436,0	4 071	2,6	645
1992	74,8	166	365,0	4 880	2,2	451
1993	54,4	171	254,0	4 669	1,5	318
1994	38,3	172	152,0	3 969	0,9	223
1995	28,2	177	114,0	4 043	0,6	159
1996	17,9	183	89,0	4 972	0,5	98
1997	12,7 <sup>14</sup>	191	75,0	5 906	0,4	66
1998	11,9	194	60,0	5 042	0,3	61
1999	12,6	196	64,0	5 079	0,3	64
2000	14,4	197	84,0	5 833	0,4	73
2001	17,8	201	105,0	5 899	0,5	89
2002	23,7	208	115,0	4 852	0,6	114
2003	33,1	208	140,0	4 230	0,7	159
2004	44,1	212	173,0	3 923	0,8	208
2005	52,0	216	237,0	4 558	1,1	241
2006	60,0	222	276,0	4 600	1,2	270
2007	69,2	232	310,0	4 480	1,3	298
2008	79,9	243	326,0	4 080	1,3	329
2009	100,0	247	332,0	3 320	1,3	405
2010	95,0	248	343,0	3 611	1,4	383
2011	93,0	249	365,0	3 925	1,5	373
2012	89,0	249	388,0	4 360	1,6	357
2013	100,0	256	410,0	4 100	1,6	391
2014	105,0	271	430,0 <sup>15</sup>	4 095	1,6	387
2015	113,0 <sup>16</sup>	280 <sup>17</sup>	454,0 <sup>18</sup>	4 018	1,6	404
2016		248 <sup>**</sup>	480,0 <sup>*</sup>			
2017						
2018		471 <sup>**</sup>	1 500,0 <sup>*</sup>			
2019						
2020		2 158 <sup>**</sup> + 462 <sup>19</sup>	10 400,0 <sup>*</sup> + 3 800 <sup>20</sup>			

14 После 1996 года официальная статистика отсутствует. Цифры оценочные.

15 В т.ч. 400 млн м<sup>3</sup> на АГНКС Группы Газпром

16 ТАСС, 15.02.2016

17 В т.ч. 213 АГНКС Группы Газпром

18 В т.ч. 433 млн м<sup>3</sup> на АГНКС Группы Газпром

<sup>\*</sup> Реализация КПГ на АГНКС Группы Газпром

<sup>\*\*</sup> Только АГНКС Группы Газпром

19 КриоАЗС Группы Газпром

20 Реализация СПГ на АГНКС Группы Газпром

# Исследования дизельного двигателя с адсорбционной системой аккумулирования природного газа

**В.А. Марков**, профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана, д.т.н.,  
**Е.Ф. Поздняков**, генеральный директор ЗАО «Форант-Сервис» (г. Ногинск), к.т.н.,  
**В.И. Шатров**, ведущий инженер НИИ энергетического машиностроения МГТУ им. Н.Э. Баумана, к.т.н.,  
**А.А. Жердев**, профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана, руководитель научно-учебного комплекса (НУК) «Энергомашиностроение» МГТУ им. Н.Э. Баумана, д.т.н.,  
**Е.М. Стриженов**, аспирант МГТУ им. Н.Э. Баумана

Показаны преимущества использования адсорбционных систем аккумулирования природного газа для двигателей внутреннего сгорания. Описана дизель-генераторная установка, работающая на природном газе с запальной дозой дизельного топлива. Проведены экспериментальные исследования этой установки. При переводе исследуемого двигателя с дизельного цикла на газодизельный отмечено улучшение его экологических показателей.

**Ключевые слова:**

дизельный двигатель, газодизельный двигатель, природный газ, запальная доза дизельного топлива, дизель-генераторная установка, адсорбционная система аккумулирования, экологические показатели.

**В** настоящее время в России и за рубежом проводятся многочисленные исследования, направленные на адаптацию двигателей внутреннего сгорания к работе на различных альтернативных топливах [1-3]. При выборе сырьевого ресурса для производства моторных топлив необходимо учитывать целый ряд показателей и критериев, характеризующих эффективность производства и потребления этих топлив. Основными критериями потребительских качеств моторных топлив по-прежнему остаются их технико-экономические характеристики, включая стоимость производства того или иного

вида альтернативного топлива, а также энергетические и экологические характеристики. Существенную роль играет и запас сырьевых ресурсов для производства моторных топлив [4, 5].

Для условий Российской Федерации привлекательным представляется использование в качестве газомоторного топлива природного газа. Доля России в разведанных мировых запасах природного газа равна 25 %. При этом на мировом рынке добычи газа доля РФ составляет более 18 %. Это наивысший показатель среди стран, добывающих природный газ. Для сравнения – по запасам нефти позиции России скромнее:

5,3 % от мировых запасов нефти (8-е место на планете).

Природный газ является наиболее известным и исследованным газовым топливом. Уникальные физико-химические свойства, значительные естественные запасы, развитая сеть доставки газа от месторождений во многие регионы страны по магистральным газопроводам и газоотводам, экологические преимущества в сравнении с традиционными видами топлива позволяют рассматривать природный газ как наиболее перспективное и универсальное моторное топливо России в XXI в. Его применение, в первую очередь, целесообразно на автомобильном транспорте, потребляющем большую часть моторных топлив. В Германии предполагается к 2020 г. довести число автомобилей, работающих на природном газе, до 20 % от общего автомобильного парка [1]. Перспективно использование этого вида топлива на железнодорожном транспорте, в судовых дизелях, дизель-генераторных и мотокомпрессорных установках, в других стационарных двигателях.

Основным препятствием для использования природного газа (метан) в качестве моторного топлива является несовершенство систем его хранения. В настоящее время наибольшее распространение получили системы компримированного природного газа (КПГ), при использовании которых газ сжимается до давления 20 МПа и выше и закачивается в баллоны. Основным недостатком такого хранения КПГ является малое количество запасаемого газа (от 220 до 260 м<sup>3</sup> на 1 м<sup>3</sup> сосуда), где объем газа указан для нормальных условий – при  $t=20$  °С и  $p=101325$  Па). Другой его недостаток – повышенные требования к безопасности хранения, что ограничивает его применение в пределах городов.

К более энергоемким способам хранения природного газа относится его хранение в сжиженном состоянии

(СПГ – сжиженный природный газ). Такие системы хранения отличаются значительным количеством запасаемого метана (от 470 до 570 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> сосуда), однако они дороже и требуют повышенных мер безопасности, связанных с теплоизоляцией, дренажем и высокой плотностью испаряющегося (холодного) метана. Последнее свойство хранящегося таким образом метана приводит к тому, что при возможных утечках он опускается в нижние слои атмосферы (стелется по земле) и представляет значительную пожаро-взрывоопасность.

Для использования в городских условиях целесообразны более безопасные условия заправки и хранения, которые обеспечивают адсорбционные системы аккумулирования. При реализации этого способа хранения природного газа баллоны для КПГ заполняются адсорбентом, который адсорбирует природный газ, что повышает энергоемкость баллонов. Эти системы отличаются пониженным давлением (по сравнению с обычным способом хранения КПГ) и адсорбированным (связанным) состоянием природного газа в баллонах, что существенно уменьшает скорость выхода газа при разгерметизации. Последнее обстоятельство существенно повышает безопасность такого хранения метана.

Начиная с 2000-го года активизировались работы по синтезу новых адсорбентов для аккумулирования природного газа. Этому процессу способствовали результаты работы, выполненной по заказу Министерства энергетики США (Department of energy – DOE), в которой были синтезированы адсорбционные блоки с заданной эффективностью – количеством газа 150 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> сосуда при 3,5 МПа и 25 °С. Эта разработка стала ориентиром для последующих работ, причем уровень эффективности постепенно увеличивался – со 180 до 263 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> сосуда. Последняя величина на сегодняшний день недостижима. Существующие промышленные адсорбенты обеспечивают

около  $100 \text{ м}^3/\text{м}^3$  сосуда при 3,5 МПа и 25 °С.

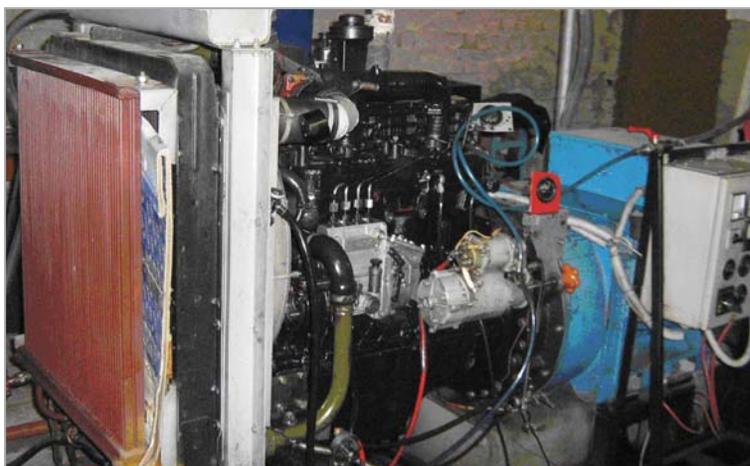
Проведенный обзор работ показал, что к настоящему времени накоплен значительный экспериментальный материал по адсорбции метана на различных адсорбентах. Однако большинство исследований адсорбции метана проводились при комнатной температуре и низких давлениях до 3,5 МПа. Практические задачи и оптимизация режимов требуют данных по адсорбции в широких интервалах температур и при более высоких давлениях. Вопросы заправки и десорбции, выделения и поглощения теплоты адсорбции, кинетики адсорбции, наличия примесей в природном газе, цикличности заправки и т.п. рассмотрены в редких работах и остаются малоизученными. При этом в литературе недостаточно подробно освещен вопрос об энергоэффективности адсорбционных систем аккумуляции.

На предварительном этапе представленной работы были выбраны шесть адсорбентов. Все адсорбенты – промышленно применяемые активные угли: АУ-4, АУ-5, АУ-6 (производство РФ), АУ-1, АУ-2, АУ-7 (иностраные). В качестве адсорбата использовали метан марки ВЧ чистотой не менее 99,98 %. Структурно-энергетические характеристики выбранных шести адсорбентов определены по изотерме адсорбции стандартного пара бензола при 298 К с помощью теории объемного заполнения микропор М.М. Дубинина. Более подробно результаты этих исследований приведены в работах [6-8].

Следует отметить, что газовые двигатели обычно создаются на базе серийно выпускаемых, работающих на жидком топливе. При конвертировании двигателей внутреннего сгорания к работе на природном газе в качестве базовых могут быть использованы как бензиновые (с принудительным воспламенением рабочей смеси от свечи зажигания), так и дизельные двигатели

(с воспламенением рабочей смеси от теплоты сжатия) [1]. Более рациональным представляется конвертирование на КПП дизельных двигателей, отличающихся повышенными степенями сжатия  $\epsilon$  и коэффициентами избытка воздуха  $\alpha$ .

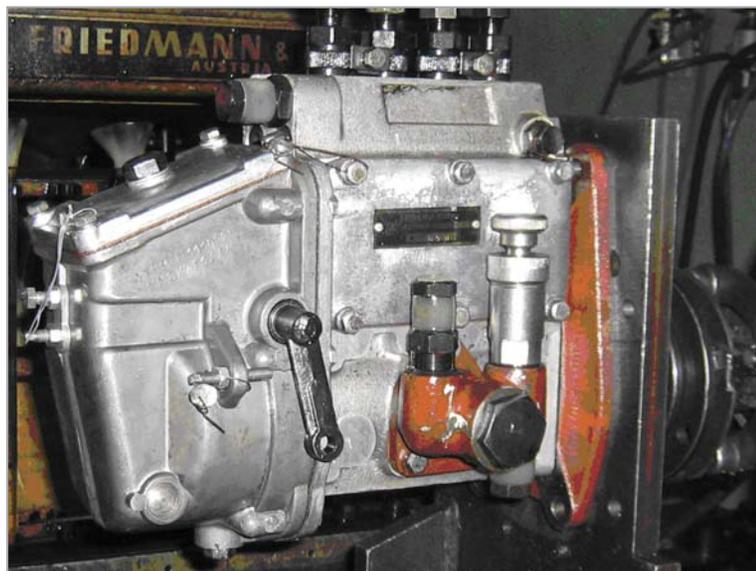
Для оценки параметров и характеристик дизельного двигателя с адсорбционной системой аккумуляции природного газа проведены исследования на экспериментальном стенде, основным элементом которого является дизельный двигатель типа Д-243 (4 Ч 11/12,5) производства Минского моторного завода (ММЗ), конвертированный на природный газ, воспламеняемый от запальной дозы нефтяного дизельного топлива (ДТ). При создании экспериментального стенда использована серийно выпускаемая ММЗ дизель-генераторная установка (рис. 1), вырабатывающая переменный электрический ток. В этой установке в качестве первичного двигателя использован упомянутый дизельный двигатель типа 4 Ч 11/12,5.



**Рис. 1.** Серийно выпускаемая дизель-генераторная установка с первичным двигателем типа Д-243 (4 Ч 11/12,5) производства ММЗ

Для конвертирования двигателя типа 4 Ч 11/12,5 на природный газ был разработан топливный насос высокого давления (ТНВД) с системой регулирования подачи газа и запального ДТ. Эта система включает регулятор подачи ДТ,

регулятор подачи природного газа и газоздушный смеситель, установленный во впускной системе газодизельного двигателя. Общий вид этого топливного насоса представлен на рис. 2.



**Рис. 2.** Опытный ТНВД экспериментально-стенда для исследования процессов хранения и выдачи природного газа из адсорбционной системы аккумулярования для питания дизеля

Основными элементами экспериментального образца ТНВД с системой регулирования подачи газа и дизельного топлива для дизель-генераторной установки являются: корпус насоса, плунжерные пары, механический регулятор, рычаг переключения режимов работы двигателя «дизель-газодизель», двухступенчатый газовый редуктор, газовый электромагнитный клапан, коллектор каналов разгрузочной камеры газового редуктора, экономайзер газового редуктора, вакуумный корректор, всережимный газодизельный регулятор, дозатор газа, вакуумный корректор запальной дозы дизельного топлива, рычаг ограничителя запальной дозы ДТ.

Изготовленный ТНВД с системой регулирования подачи газа и запальной дозы ДТ был смонтирован на разработанном экспериментальном

стенде для исследования процессов хранения и выдачи природного газа из адсорбционной системы аккумулярования для питания дизельного двигателя. Целями проведенных испытаний являлись проверка работоспособности дизеля с адсорбционной системой аккумулярования метана, определение его основных параметров, исследования процессов хранения и выдачи природного газа из адсорбционной системы аккумулярования для питания дизеля. Для определения необходимых параметров используемых топлив и дизеля использованы физико-химические свойства нефтяного ДТ и метана (табл. 1).

Исследуемый дизельный двигатель без наддува типа 4 Ч 11/12,5 имел номинальную мощность  $N_e=36$  кВт при частоте вращения коленчатого вала  $n=1500$  мин<sup>-1</sup> (табл. 2). В этом двигателе основным топливом являлся природный газ, подаваемый через впускную систему двигателя в его цилиндры. Воспламенение природного газа в камере сгорания происходило от запальной дозы нефтяного ДТ, впрыскиваемого в цилиндры штатной системой топливоподачи.

Адсорбционная система аккумулярования включала баллон, наполненный адсорбентом, в котором природный газ (чистый метан) хранился под высоким давлением. Система аккумулярования была выполнена в виде моноблоков с высокой плотностью упаковки, состоящих из активного угля АУ-1 и полимерного связующего. 16 таких моноблоков были загружены в экспериментальный образец газового баллона. Объем баллона (адсорбера), заполненного моноблоками адсорбента, составляет 50 л при максимальном в нем давлении, равном 10 МПа (абсолютное).

Чистый метан (99,9 %) использовался для проведения исследований с целью предотвращения засорения адсорбента (активный уголь) всевозможными примесями (более тяжелые углеводороды, механические примеси и др.).

Таблица 1

## Некоторые физико-химические свойства нефтяного ДТ и природного газа

Свойства	Топлива	
	Нефтяное ДТ марки Л по ГОСТ 305-82	Метан (газовая фаза)
Плотность при 20 °С, кг/м <sup>3</sup>	830	0,668
Теплота сгорания низшая, МДж/кг	42,5	50,0
Цетановое число	45	3
Температура самовоспламенения, °С	250...280	580...650
Количество воздуха, необходимое для сгорания 1 кг вещества, кг	14,3	17,2
Содержание, % по массе		
С	87,0	75,0
Н	12,6	25,0
О	0,4	0

Таблица 2

## Основные конструктивные и эксплуатационные параметры дизельного двигателя типа 4 Ч 11/12,5, работающего на природном газе с запальной дозой ДТ

Параметры	Значение
Тип двигателя	Четырехтактный, рядный, дизельный
Число цилиндров	4
Диаметр цилиндра $D$ , мм	110
Ход поршня $S$ , мм	125
Рабочий объем цилиндра $V_h$ , л	1,08
Общий рабочий объем $iV_h$ , л	4,32
Степень сжатия $\epsilon$	16,0
Тип камеры сгорания / способ смесеобразования	ЦНИДИ (Центральный научно-исследовательский дизельный институт) / объемно-плёночное
Система наддува	Не оснащен системой наддува
Номинальная частота вращения $n$ , мин <sup>-1</sup>	1500
Номинальная мощность $N_e$ , кВт	36
Механизм газораспределения	Клапанного типа с верхним расположением клапанов
Система охлаждения	Водяная, принудительная
Система смазки	Принудительная, с разбрызгиванием
Фильтр масляный	Сетчатый
Насос масляный	Шестеренчатый
Система питания	Разделенного типа
Топливный насос высокого давления	Рядный типа PP4M10U1f фирмы Motorpal с центробежным регулятором
Диаметр плунжеров ТНВД $d_{пл}$ , мм	10
Ход плунжеров ТНВД $h_{пл}$ , мм	10
Длина нагнетательных топливопроводов $L_T$ , мм	540
Форсунки	Типа ФДМ-22 производства ОАО «Куроаппаратура» (г. Вильнюс)
Распылители форсунок	Фирмы Motorpal типа DOP 119S534 с пятью сопловыми отверстиями диаметром $d_p=0,34$ мм и проходным сечением $\mu_f=0,250$ мм <sup>2</sup>
Давление начала впрыскивания форсунок $p_f$ , МПа	21,5

Впоследствии предполагается разработка системы очистки природного газа от этих примесей, которая позволит увеличить число циклов наполнения–выдачи природного газа без засорения адсорбента.

В состав дизель-генераторной установки входил также электрический генератор переменного тока типа ЕСО-ЕСР производства фирмы RINA (Италия). При экспериментальных исследованиях вырабатываемая электрогенератором электроэнергия потребляется тремя тепловентиляторами, максимальная мощность каждого из которых составляет 12 кВт (эти тепловентиляторы могут также работать с электрической нагрузкой, равной 6 кВт). Таким образом, возможна реализация семи нагрузочных режимов с эффективной мощностью 0 (режим холостого хода), 6, 12, 18, 24, 30 и 36 (режим максимальной мощности) кВт.

При экспериментах определялись эффективная мощность двигателя  $N_e$ , частота вращения коленчатого вала  $n$ , расходы воздуха, жидкого и газообразного топлива в исследуемом дизельном двигателе, некоторые дополнительные параметры, необходимые для вычисления показателей топливной экономичности двигателя, дымность и токсичность его отработавших газов (ОГ), а также ряд ограничительных параметров. Дымность ОГ измерялась с помощью дымомера «Инфракер Д1.01» предприятия «Западприбор» (г. Москва) с погрешностью измерения  $\pm 1$  %. Концентрации в ОГ нормируемых токсичных компонентов (оксиды азота  $\text{NO}_x$ , монооксид углерода СО, легкие несгоревшие углеводороды СН) определялись газоанализатором «Инфракер 5М-3.01» предприятия «Западприбор» (г. Москва) с погрешностями измерения указанных компонентов  $\pm 1$  %.

Исследования проведены в нормальных климатических условиях при температуре окружающего воздуха  $20 \pm 10$  °С, относительной влажности воздуха от 45 до 80 % и атмосферном давлении от 630 до 800 мм рт. ст. (от 84 до 107 кПа).

При проведении экспериментальных исследований процесса выдачи природного газа дизельному двигателю осуществлялся нагрев адсорбционной системы аккумуляирования до 80 °С для более полного извлечения природного газа из адсорбера.

Дизельный двигатель типа 4 Ч 11/12,5 на моторном стенде исследован на режимах предельной регуляторной характеристики, формируемой регулятором при частоте вращения коленчатого вала  $n=1500$  мин<sup>-1</sup>, которые являются штатными режимами дизель-генераторной установки, вырабатывающей переменный электрический ток. Этот ток удовлетворял требованиям, предъявляемым к электрическому току промышленных сетей.

Наклон регуляторной характеристики (ее степень неравномерности  $\delta$ ) исследуемого дизельного двигателя был равен  $\delta=3,7$  %, что приводило к увеличению частоты вращения коленчатого вала с ее номинального значения, примерно равного  $n=1500$  мин<sup>-1</sup> на режиме с полной нагрузкой ( $N_e=36$  кВт), до уровня, примерно равного  $n=1550$  мин<sup>-1</sup> на режиме холостого хода ( $N_e=0$  кВт). При испытаниях угол опережения впрыскивания топлива был установлен равным  $\theta=13^\circ$  поворота коленчатого вала (ПКВ) до верхней мертвой точки (ВМТ).

При испытаниях дизельного двигателя исследована его работа как в чисто дизельном цикле (работа только на дизельном топливе), так и в газодизельном. Двухтопливный газодизельный цикл реализован с целью надежного воспламенения природного газа в условиях камеры сгорания дизеля, что вызвано худшей самовоспламеняемостью природного газа по сравнению с нефтяным ДТ (их температуры самовоспламенения равны соответственно 580...650 и 250...280, а цетановые числа – 3 и 45 единицы, см. табл. 1). В указанном двухтопливном цикле подаваемый в камеру сгорания природный газ воспламенялся от запальной дозы нефтяного ДТ,

Таблица 3

Значения часовых расходов воздуха  $G_v$ , дизельного топлива  $G_{дт}$  и природного газа  $G_{пг}$ , температур воздуха во впускном коллекторе  $t_{в.вп}$  и охлаждающего воздуха генератора  $t_{в.ген}$ , коэффициента избытка воздуха  $\alpha$  дизельного двигателя типа 4 Ч 11/12,5

25

№№ режимов	Параметры							
	$n$ , мин <sup>-1</sup>	$N_e$ , кВт	$G_{дт}$ , кг/ч	$G_{пг}$ , кг/ч	$G_v$ , кг/ч	$t_{в.вп}$ , °С	$t_{в.ген}$ , °С	$\alpha$
<i>Дизельный цикл</i>								
1	1450	34,4	9,33	–	185	32,0	28	1,39
2	1473	28,8	7,45	–	195	29,0	26	1,83
3	1491	23,2	6,03	–	198	27,2	24	2,30
4	1509	15,4	4,35	–	200	34,7	30	3,22
5	1520	7,7	2,82	–	202	35,2	30	5,01
6	1557	0	1,50	–	204	33,4	30	9,51
<i>Газодизельный цикл</i>								
1	1434	33,7	1,70	6,30	174	37,6	35	1,31
2	1440	28,5	1,72	4,78	182	36,6	33	1,70
3	1455	23,5	1,72	3,69	190	33,6	30	2,16
4	1475	15,6	1,78	2,22	194	32,5	29	3,05
5	1490	7,9	1,73	1,01	198	34,2	31	4,70
6	1515	0	1,66	–	200	33,0	30	8,43

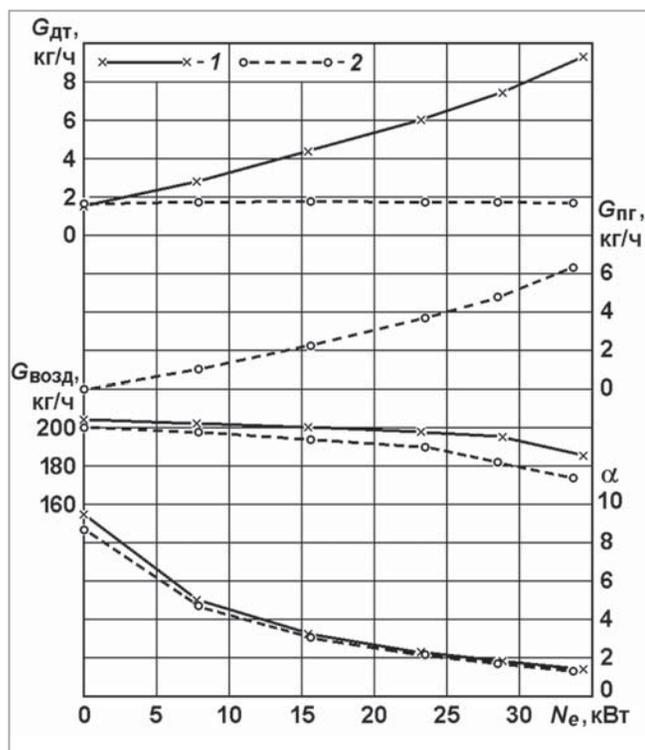
впрыскиваемого в цилиндры форсунками штатной системы топливоподачи. При конвертации дизеля на природный газ разработанный регулятор двигателя поддерживал примерное постоянство часового расхода запального нефтяного дизельного топлива на уровне 1,72 кг/ч (табл. 3 и рис. 3), то есть примерное постоянство запальной дозы ДТ на уровне  $q_{ц}=11,5 \text{ мм}^3$ .

При экспериментальных исследованиях расходы нефтяного ДТ, природного газа и воздуха определялись объемным способом и пересчитывались в массовый расход топлива с использованием плотностей этих веществ при нормальных условиях (20 °С):  $\rho_{пг}=0,668 \text{ кг/м}^3$  – плотность природного газа (чистый метан) при давлении  $p=1,01325 \text{ бар}$  и температуре  $t=293,15 \text{ К}$ ;  $\rho_{дт}=830 \text{ кг/м}^3$  – плотность нефтяного ДТ;  $\rho_v=1,204 \text{ кг/м}^3$  – плотность воздуха. Объемный часовой расход природного газа (метан), обеспечиваемый адсорбционной системой

аккумуляции в процессе выдачи его дизельному двигателю, составил  $10,0 \text{ м}^3/\text{ч}$ . С учетом принятой плотности природного газа ( $\rho_{пг}=0,668 \text{ кг/м}^3$ ) его массовый часовой расход оказался равен  $6,68 \text{ кг/ч}$ . При этом требуемый максимальный расход природного газа исследуемым дизельным двигателем на режиме с полной нагрузкой ( $N_e=33,7 \text{ кВт}$  при  $n=1434 \text{ мин}^{-1}$ , см. табл. 3) составил  $6,30 \text{ кг/ч}$ .

Таким образом, для питания разработанного экспериментального стенда природным газом было достаточно одного баллона с адсорбционной системой аккумуляции. При использовании этой системы аккумуляции на более мощных дизельных двигателях необходимо соответственно увеличивать число баллонов с природным газом, наполненных указанным адсорбентом, или применять адсорбент с большей аккумуляющей способностью.

Как отмечено выше, при работе



**Рис. 3.** Зависимость часовых расходов воздуха  $G_{в}$ , дизельного топлива  $G_{дт}$  и природного газа  $G_{пг}$ , коэффициента избытка воздуха  $\alpha$  от эффективной мощности  $N_e$  дизеля типа 4 Ч 11/12,5, работающего на режимах предельной регуляторной характеристики при  $n_{ном}=1500 \text{ мин}^{-1}$  на природном газе с запальной дозой ДТ:  
1 – дизельный цикл; 2 – газодизельный цикл

дизеля по газодизельному циклу (на природном газе с запальной дозой ДТ) разработанный регулятор двигателя поддерживал примерное постоянство часового расхода этого топлива на уровне  $G_{дт}=1,72 \text{ кг/ч}$ . При этом на режиме холостого хода ( $N_e=0 \text{ кВт}$ ) при  $n=1515 \text{ мин}^{-1}$  в двигатель подавалось только запальное ДТ (расход природного газа  $G_{пг}=0$ , см. табл. 3). При увеличении нагрузки расход природного газа увеличивался. На режиме с полной нагрузкой (при  $N_e=33,7 \text{ кВт}$  и  $n=1434 \text{ мин}^{-1}$ ) подача природного газа была максимальной и равной  $G_{пг}=6,30 \text{ кг/ч}$ , а часовой расход запального нефтяного дизельного топлива составил  $G_{дт}=1,70 \text{ кг/ч}$ .

В результате на режиме максимальной мощности подача запального дизельного топлива оказалась равной примерно 20 % общей подачи (часовой расход) жидкого и газообразного топлив  $G_{\Sigma}$  (на режиме максимальной мощности  $G_{\Sigma}=G_{дт}+G_{пг}=8,00 \text{ кг/ч}$ ). Таким образом, разработанная система регулирования обеспечивает увеличение доли запального ДТ в общей подаче топлива по мере уменьшения нагрузки.

По представленным в табл. 3 и на рис. 3 значениям часовых расходов воздуха  $G_{в}$ , дизельного топлива  $G_{дт}$  и природного газа  $G_{пг}$  определен коэффициент избытка воздуха  $\alpha$  для дизельного и газодизельного циклов работы исследуемого двигателя типа 4 Ч 11/12,5. При этом использованы общепринятые формулы расчета этого коэффициента. Для дизельного цикла коэффициент избытка воздуха  $\alpha$  определялся по выражению

$$\alpha = \frac{G_{в}}{l_{0 \text{ дт}} G_{дт}}$$

а при исследованиях газодизельного цикла для расчета коэффициента избытка воздуха использовано следующее соотношение

$$\alpha = \frac{G_{в}}{l_{0 \text{ дт}} G_{дт} + l_{0 \text{ пг}} G_{пг}}$$

где  $G_{в}$ ,  $G_{дт}$  и  $G_{пг}$  – часовые расходы воздуха, дизельного топлива и природного газа, кг/г;  $l_0=L_0 \cdot \mu_{в}$  – количество воздуха, необходимое для сгорания 1 кг топлива, кг воздуха/кг топлива (для дизельного топлива  $l_{0 \text{ дт}}=14,3$ ; для природного газа  $l_{0 \text{ пг}}=17,2$ );  $\mu_{в}=28,93$  – молекулярная масса воздуха.

Количество воздуха  $L_0$  [кг воздуха/кг топлива], необходимое для сгорания 1 кг топлива, определялось из соотношения

$$L_0 = \frac{1}{0,21} (C/12 + H/4 - O/32),$$

где C, H и O – массовые доли атомов углерода, водорода и кислорода в молекулах топлива (см. табл. 3).

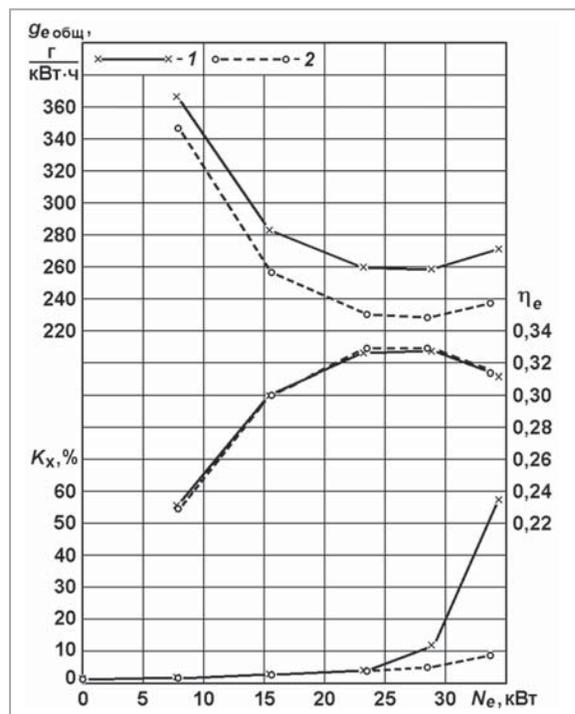
Рассчитанные значения коэффициента избытка воздуха  $\alpha$  (см. табл. 3 и рис. 3) свидетельствуют о том, что при увеличении нагрузки на дизельный двигатель (с ростом эффективной мощности  $N_e$ ) коэффициент избытка воздуха монотонно уменьшается. Минимальные значения  $\alpha$  соответствуют режиму максимальной мощности. При реализации газодизельного цикла это минимальное значение  $\alpha=1,31$  соответствует режиму с  $N_e=33,7$  кВт при  $n=1434$  мин<sup>-1</sup>. Необходимо также отметить, что в газодизельном цикле возможна работа с меньшими значениями коэффициента избытка воздуха  $\alpha$ , поскольку основное топливо – природный газ – находится в одном агрегатном состоянии с окислителем – воздухом. Это облегчает организацию процесса смешения в газодизельном цикле.

На основании полученных при испытаниях значений расходов нефтяного ДТ и природного газа, а также мощностных показателей исследуемого двигателя определены показатели его топливной экономичности. При этом общий удельный эффективный расход топлива  $g_{e\text{общ}}$  исследуемого дизельного двигателя определялся с учетом полученных при экспериментах часовых расходов дизельного топлива  $G_{\text{ДТ}}$  и природного газа  $G_{\text{ПГ}}$ , а также эффективной мощности двигателя  $N_e$  по формуле:

$$g_{e\text{общ}} = \frac{G_{\text{ДТ}} + G_{\text{ПГ}}}{N_e} .$$

Приведенные в табл. 4 и на рис. 4 данные свидетельствуют о том, что при реализации газодизельного цикла общий удельный эффективный расход топлива  $g_{e\text{общ}}$  оказался несколько ниже, чем в чисто дизельном цикле. Это объясняется более высокой теплотворной способностью природного газа (метан) по сравнению с нефтяным ДТ (низшая теплота сгорания этих топлив равна 42,5 и 50,0 МДж/кг у нефтяного ДТ и природного газа соответственно, см. табл. 1).

На режимах холостого хода (при  $N_e=0$ ) значения общего удельного эффективного расхода топлива  $g_{e\text{общ}}$  стремятся к бесконечности, поскольку крутящий момент на выходном валу дизельного двигателя стремится к нулю. По данным рис. 4 можно отметить наличие минимума удельного эффективного расхода  $g_{e\text{общ}}$  на режимах с эффективной мощностью  $N_e=23\dots 28$  кВт. Этот минимум, характерный и для дизельного, и для газодизельного циклов, соответствует наибольшей эффективности сгорания на указанных нагрузочных режимах. Наименьший общий удельный эффективный расход топлива  $g_{e\text{общ}}=228,1$  г/(кВт·ч) соответствует режиму газодизельного цикла с эффективной мощностью  $N_e=28,5$  кВт при  $n=1440$  мин<sup>-1</sup>.



**Рис. 4.** Зависимость общего удельного эффективного расхода топлива  $g_{e\text{общ}}$  эффективного КПД двигателя  $\eta_e$  и дымности ОГ по шкале Хартриджа  $K_x$  от эффективной мощности  $N_e$  дизеля типа 4 Ч 11/12,5, работающего на режимах предельной регуляторной характеристики при  $n_{\text{ном}}=1500$  мин<sup>-1</sup> на природном газе с запальной дозой ДТ: 1 – дизельный цикл; 2 – газодизельный цикл

Таблица 4

**Значения общего удельного эффективного расхода топлива  $g_{e\text{общ}}$ , суммарной нижней теплоты сгорания ДТ и природного газа  $H_{U_{\Sigma}}$ , эффективного КПД двигателя  $\eta_e$ , дымности ОГ  $K$  [м<sup>-1</sup>] и  $K_x$  [% по шкале Хартриджа] дизельного двигателя типа 4 Ч 11/12,5**

№№ режимов	Параметры						
	$n$ , мин <sup>-1</sup>	$N_e$ , кВт	$g_{e\text{общ}}$ , г/(кВт·ч)	$H_{U_{\Sigma}}$ , МДж/кг	$\eta_e$	$K$ , м <sup>-1</sup>	$K_x$ , % (Хартридж)
<i>Дизельный цикл</i>							
1	1450	34,4	271,2	42,5	0,312	1,979	57,3
2	1473	28,8	258,7	42,5	0,327	0,294	11,9
3	1491	23,2	259,9	42,5	0,326	0,094	4,0
4	1509	15,4	282,5	42,5	0,300	0,068	2,9
5	1520	7,7	366,2	42,5	0,231	0,04	1,8
6	1557	0	–	42,5	–	0,03	1,3
<i>Газодизельный цикл</i>							
1	1434	33,7	237,4	48,4	0,313	0,211	8,7
2	1440	28,5	228,1	48,0	0,329	0,110	4,9
3	1455	23,5	230,2	47,6	0,328	0,090	3,8
4	1475	15,6	256,4	46,7	0,301	0,068	2,8
5	1490	7,9	346,8	45,3	0,229	0,04	1,7
6	1515	0	–	42,5	–	0,03	1,2

Необходимо отметить, что рассматриваемый показатель топливной экономичности двигателя  $g_{e\text{общ}}$  не учитывает различной теплотворной способности используемых топлив. Поэтому для сравнительной оценки эффективности процесса сгорания в дизельном и газодизельном циклах предпочтительнее использовать эффективный КПД дизельного двигателя  $\eta_e$ , в формулу для определения которого входит низшая теплота сгорания указанных топлив, а также их смесей.

Теплота сгорания смеси  $H_{U_{\Sigma}}$  подаваемых в камеру сгорания двигателя топлив определялась соотношением часовых расходов дизельного топлива  $G_{ДТ}$  и природного газа  $G_{ПГ}$  [кг/ч] и их теплотворной способностью:

$$H_{U_{\Sigma}} = \frac{G_{ПГ}}{G_{\Sigma}} H_{U_{ПГ}} + \frac{G_{ДТ}}{G_{\Sigma}} H_{U_{ДТ}},$$

где  $G_{\Sigma}$  – общий часовой расход природного газа и нефтяного ДТ, кг/ч;  $H_{U_{ПГ}}$

и  $H_{U_{ДТ}}$  – низшая теплота сгорания этих топлив, МДж/кг;  $H_{U_{\Sigma}}$  – суммарная низшая теплота сгорания ДТ и природного газа, МДж/кг (низшая теплота сгорания – количество теплоты, которое выделяется при полном сгорании, без учета теплоты конденсации водяного пара, содержащегося в рабочей смеси).

При обработке результатов экспериментальных исследований расчет эффективного КПД  $\eta_e$  дизельного двигателя проводился с учетом различной теплотворной способности используемых топлив по выражению

$$\eta_e = \frac{3,6 N_e}{H_{U_{\Sigma}} (G_{ПГ} + G_{ДТ})}$$

или по формуле

$$\eta_e = \frac{3600}{H_{U_{\Sigma}} g_{e\text{общ}}}.$$

Рассчитанные в соответствии с представленной методикой значения эффективного КПД  $\eta_e$  представлены в табл. 4

и на рис. 4. На режимах холостого хода (при  $N_e=0$ ) эффективный КПД двигателя  $\eta_e$  стремится к нулю. По мере увеличения нагрузки эффективный КПД дизеля  $\eta_e$  повышается и при эффективной мощности  $N_e=23...28$  кВт достигает своего максимума. Наибольший эффективный КПД двигателя  $\eta_e=0,329$  соответствует режиму газодизельного цикла с эффективной мощностью  $N_e=28,5$  кВт при  $n=1440$  мин<sup>-1</sup>.

Полученные данные по показателям топливной экономичности (общий удельный эффективный расход топлива  $g_e$  общ и эффективный КПД  $\eta_e$ ) свидетельствуют о том, что по эффективности процесса сгорания дизельный и газодизельный циклы исследуемого дизеля достаточно близки друг к другу. Причем на режимах с малыми нагрузками (до  $N_e=16...18$  кВт) более экономичен дизельный цикл, а на режимах с большими нагрузками (при  $N_e$  выше 16...18 кВт) предпочтителен газодизельный цикл. Это объясняется сравнительно

невысоким качеством смесеобразования в газодизельном цикле при низких нагрузках и улучшением качества этого процесса в газодизельном цикле на режимах с высокой нагрузкой.

Полученные экспериментальные данные по показателям дымности ОГ исследуемого дизеля типа 4 Ч 11/12,5 (см. табл. 4 и рис. 4) свидетельствуют, что использование газообразного топлива – природного газа, в котором отсутствуют высокомолекулярные углеводороды и имеет место лучшее смесеобразование – приводит к заметному уменьшению выброса углерода С (снижение дымности ОГ). При этом на режимах с малыми и средними нагрузками (при  $N_e$  ниже 23...24 кВт) дымность ОГ в дизельном и газодизельном циклах соизмерима. Это обусловлено значительным избытком кислорода в рабочей смеси (высокий коэффициент избытка воздуха –  $\alpha > 2$ ).

На режимах с высокими нагрузками начинает сказываться недостаток кислорода в рабочей смеси, поэтому

Таблица 5

### Значения объемных концентраций в ОГ кислорода $C_{O_2}$ , углекислого газа $C_{CO_2}$ , оксидов азота $C_{NOx}$ , монооксида углерода $C_{CO}$ , легких несоревших углеводородов $C_{CH}$ дизеля типа 4 Ч 11/12,5

№№ режимов	Параметры						
	$n$ , мин <sup>-1</sup>	$N_e$ , кВт	$C_{O_2}$ , %	$C_{CO_2}$ , %	$C_{NOx}$ ppm	$C_{CO}$ ppm	$C_{CH}$ ppm
<i>Дизельный цикл</i>							
1	1446	34,6	6,07	10,76	1112	1300	14
2	1464	28,6	8,98	8,47	1684	280	13
3	1485	23,2	11,25	6,82	1383	160	13
4	1503	15,7	13,86	4,92	881	160	12
5	1516	7,9	16,07	3,34	474	180	12
6	1557	0	17,96	2,01	196	230	11
<i>Газодизельный цикл</i>							
1	1434	34,5	5,92	8,84	1319	1560	132
2	1449	28,7	7,85	7,49	1160	1970	225
3	1462	23,4	10,40	6,19	1008	1850	319
4	1479	15,5	12,91	4,67	557	1780	377
5	1491	7,5	15,65	3,12	215	1600	418
6	1505	0	17,41	1,88	151	1380	439

**Примечание:** для  $C_{O_2}$  и  $C_{CO_2}$  указано их объемное процентное содержание в ОГ; для  $C_{NOx}$ ,  $C_{CO}$ ,  $C_{CH}$  – миллионные объемные доли (ppm).

в газодизельном цикле на таких режимах отмечается существенное снижение дымности ОГ по сравнению с дизельным циклом. На режиме с полной нагрузкой (при  $N_e=33,7...34,4$  кВт) отмечена наибольшая дымность ОГ – в дизельном цикле  $K_x=57,3$  % по шкале Хартриджа,

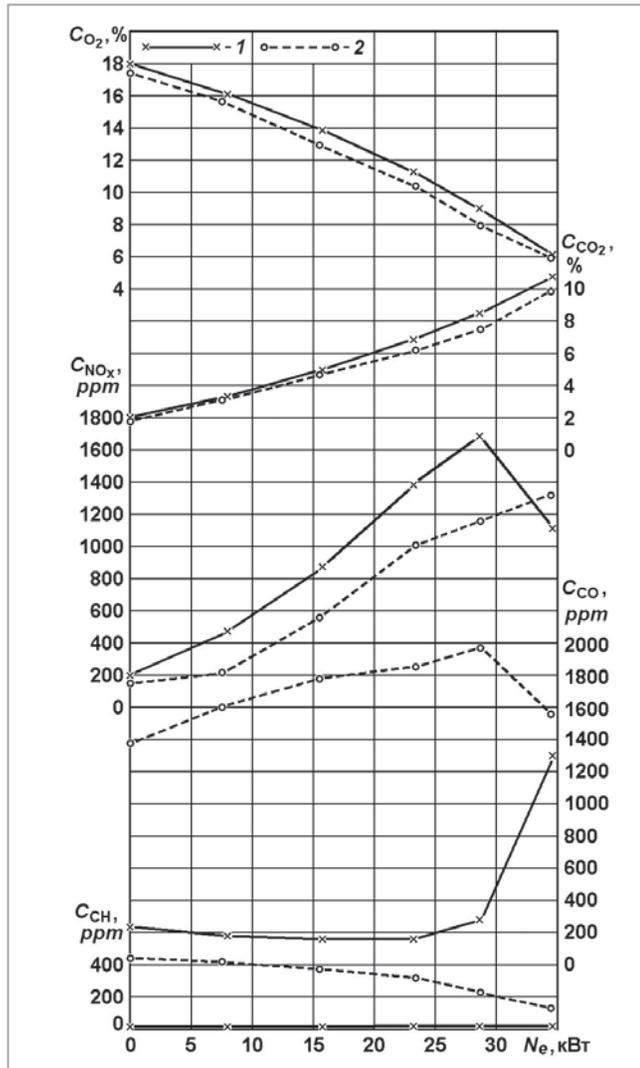
а в газодизельном  $K_x=8,7$  % по той же шкале (см. табл. 4 и рис. 4). Таким образом, на этом режиме переход от дизельного цикла к газодизельному приводит к снижению дымности ОГ примерно в 6,6 раза.

Указанный переход от дизельного к газодизельному циклу оказывает влияние и на содержание в ОГ различных нетоксичных и токсичных компонентов (табл. 5 и рис. 5). Эти показатели также в значительной степени зависят от нагрузки на двигатель – его эффективной мощности  $N_e$ .

При переходе от дизельного цикла к газодизельному отмечается уменьшение концентрации кислорода  $C_{O_2}$  в ОГ дизеля типа 4 Ч 11/12,5 (см. табл. 5 и рис. 5). Это связано, с одной стороны, с меньшими значениями коэффициента избытка воздуха  $\alpha$  в газодизельном цикле (см. табл. 3 и рис. 3), а с другой стороны – с большим необходимым количеством воздуха для сгорания 1 кг топлива, характерным для используемого газообразного топлива (для природного газа –  $l_0=17,2$  кг/кг, для нефтяного ДТ –  $l_0=14,3$  кг/кг, см. табл. 3).

В силу указанных причин переход от дизельного цикла к газодизельному сопровождается увеличением содержания диоксида углерода  $C_{CO_2}$  в ОГ дизеля типа 4 Ч 11/12,5 (см. табл. 5 и рис. 5). Причем с ростом нагрузки (увеличение количества подаваемого топлива) концентрация  $C_{CO_2}$  в ОГ монотонно увеличивается.

Полученные экспериментальные данные по показателям токсичности ОГ исследуемого дизеля типа 4 Ч 11/12,5 показывают, что при увеличении нагрузки на двигатель имеет место тенденция роста концентрации в ОГ основного газообразного токсичного компонента – оксидов азота  $C_{NOx}$  (см. табл. 5 и рис. 5). В газодизельном цикле увеличение нагрузки от  $N_e=0$  кВт (режим холостого хода) до  $N_e=34,5$  кВт (режим максимальной мощности) приводит к росту содержания оксидов азота в ОГ с 151 до



**Рис. 5.** Зависимость объемных концентраций в ОГ кислорода  $C_{O_2}$ , диоксида углерода  $C_{CO_2}$ , оксидов азота  $C_{NOx}$ , монооксида углерода  $C_{CO}$  и легких несгоревших углеводородов  $C_{CH}$  от эффективной мощности  $N_e$  дизельного двигателя типа 4 Ч 11/12,5, работающего на режимах предельной регуляторной характеристики при  $n_{ном}=1500$  мин<sup>-1</sup> на природном газе с запальной дозой ДТ:

1 – дизельный цикл; 2 – газодизельный цикл

1319 ppm. В этом же диапазоне увеличения нагрузки в дизельном цикле концентрация оксидов азота в ОГ сначала возрастает со 196 до 1684 ppm (максимальное значение при  $N_e=28,6$  кВт), а затем уменьшается до 1112 ppm на режиме максимальной мощности (при  $N_e=34,6$  кВт). Такое снижение эмиссии оксидов азота на режимах с большими нагрузками связано с заметным ухудшением качества процесса смесеобразования на этих режимах, образованием неомогенной рабочей смеси и появлением в камере сгорания зон с пониженными значениями коэффициента избытка воздуха  $\alpha$  и высокими температурами сгорания, в которых и происходит интенсивное образование оксидов азота.

В целом необходимо отметить тенденцию меньшего содержания оксидов азота в ОГ в газодизельном цикле по сравнению с дизельным, что связано с лучшим качеством смесеобразования и более гомогенной рабочей смесью в этом цикле, поскольку газообразное топливо (природный газ) и окислитель (воздух) находятся в одном агрегатном состоянии – газообразном, что облегчает смешение этих компонентов.

Следует отметить, что для газодизельного цикла исследуемого дизеля типа 4 Ч 11/12,5 характерно повышенное содержание в ОГ продуктов неполного сгорания топлива – монооксида углерода CO и легких несгоревших углеводородов СН (см. табл. 5 и рис. 5). Повышенная эмиссия первого из этих токсичных компонентов ОГ обусловлена более высокими температурами сгорания в газодизельном цикле и наличием в камере сгорания высокотемпературных зон, в которых химическое равновесие реакции  $\text{CO} + \text{O} \leftrightarrow \text{CO}_2$  смещено в сторону диссоциации диоксида углерода  $\text{CO}_2$  с образованием монооксида углерода CO и кислорода  $\text{O}_2$ . Рост выброса несгоревших углеводородов СН в газодизельном цикле объясняется тем, что метан,

оказывающийся в низкотемпературных зонах камеры сгорания дизеля (в ее пристеночных слоях), не сгорает полностью и остается в ОГ.

Представленные в табл. 5 и на рис. 5 характеристики содержания в ОГ дизеля типа 4 Ч 11/12,5 монооксида углерода  $C_{\text{CO}}$  свидетельствуют о том, что в дизельном цикле при увеличении нагрузки концентрация монооксида углерода сначала уменьшается от  $C_{\text{CO}}=230$  ppm (при  $N_e=0$ ) до  $C_{\text{CO}}=160$  ppm (при  $N_e=15,7$  и 23,2 кВт), а затем увеличивается до 1300 ppm на режиме максимальной мощности (при  $N_e=34,6$  кВт). Такой резкий рост эмиссии монооксида углерода на режимах с большими нагрузками объясняется диссоциацией образовавшегося при сгорании диоксида углерода  $\text{CO}_2$  с образованием монооксида углерода CO и кислорода  $\text{O}_2$  в высокотемпературных зонах камеры сгорания. В газодизельном цикле, напротив, при увеличении нагрузки концентрация монооксида углерода сначала возрастает от  $C_{\text{CO}}=1380$  ppm (при  $N_e=0$ ) до  $C_{\text{CO}}=1970$  ppm (при  $N_e=28,7$  кВт), а затем снижается до 1560 ppm (при  $N_e=34,5$  кВт). В этом случае максимум содержания CO в ОГ соответствует режиму с  $N_e=28,7$  кВт, в котором температуры сгорания максимальны. Еще раз отметим большее содержание монооксида углерода в газодизельном цикле.

Данные табл. 5 и рис. 5 свидетельствуют о том, что при реализации дизельного цикла в исследуемом дизеле типа 4 Ч 11/12,5 концентрации в ОГ легких несгоревших углеводородов  $C_{\text{СН}}$  очень малы ( $C_{\text{СН}}=11...14$  ppm) и слабо зависят от нагрузочного режима. В газодизельном цикле этого двигателя при росте эффективной мощности  $N_e$  отмечено монотонное снижение концентрации  $C_{\text{СН}}$  в отработавших газах от 439 ppm на режиме холостого хода (при  $N_e=0$ ) до 132 ppm на режиме максимальной мощности (при  $N_e=34,5$  кВт). Такое снижение эмиссии несгоревших углеводородов с ростом нагрузки на двигатель

объясняется улучшением качества смеси образования и повышением температур сгорания, вызванным ростом количества подаваемого в камеру сгорания газообразного топлива – природного газа.

Следует подчеркнуть, что отмеченный при испытаниях дизеля типа 4 Ч 11/12,5 рост выбросов монооксида углерода СО и несгоревших углеводородов СН в газодизельном цикле по сравнению с обычным дизельным может быть легко устранен путем установки в выпускной системе двигателя каталитического нейтрализатора, эффективно очищающего ОГ от содержащихся в них СО и СН.

В заключение анализа характеристик выбросов токсичных компонентов ОГ исследуемого дизеля необходимо отметить, что при переводе его с дизельного цикла на газодизельный отмечено заметное улучшение его экологических показателей. В газодизельном цикле имело место значительное снижение выбросов двух основных токсичных компонентов ОГ – оксидов азота и сажи (дымность ОГ). При этом токсикологическая значимость монооксида углерода СО, оксидов азота NO<sub>x</sub>, несгоревших углеводородов СН и сажи (твердые частицы) оценивается как отношение 1 / 41,1 / 3,16 / 200.

В целом проведенные исследования подтвердили работоспособность разработанного экспериментального стенда, позволили определить его основные параметры и исследовать процессы хранения и выдачи природного газа из адсорбционной системы аккумулярования для питания дизельного двигателя. По результатам проведенных исследований разработанного экспериментального стенда можно сделать следующие выводы:

1. Разработан и изготовлен экспериментальный стенд для исследования процессов хранения и выдачи природного газа из адсорбционной системы аккумулярования для питания дизельного двигателя, включающий дизель

типа Д-243 (4 Ч 11/12,5), работающий в составе дизель-генераторной установки, вырабатывающей переменный электрический ток. Выработываемый электрогенератором переменный ток потребляется тремя тепловентиляторами. Возможна реализация семи нагрузочных режимов с эффективной мощностью 0 (режим холостого хода), 6, 12, 18, 24, 30 и 36 (режим максимальной мощности) кВт.

2. Адсорбционная система аккумулярования включала баллон, наполненный адсорбентом, в котором природный газ (чистый метан) хранился под высоким давлением. Система аккумулярования была выполнена в виде моноблоков с высокой плотностью упаковки, состоящих из активного угля АУ-1 и полимерного связующего. 16 таких моноблоков были загружены в экспериментальный образец газового баллона. Объем баллона (адсорбер), заполненного моноблоками адсорбента, составляет 50 л при максимальном давлении в нем, равном 10 МПа (абсолютное).

3. Для проведения исследований разработанного экспериментального стенда использовался чистый метан (99,9 %) с целью предотвращения засорения адсорбента (активный уголь) всевозможными примесями (более тяжелые углеводороды, механические примеси и др.). В последующем предполагается разработка системы очистки природного газа от этих примесей, которая позволит увеличить число циклов наполнения–выдачи природного газа без засорения адсорбента. При проведении экспериментальных исследований процесса выдачи природного газа дизельному двигателю осуществлялся нагрев адсорбционной системы аккумулярования до 80 °С для более полного извлечения природного газа из адсорбера.

4. Для конвертирования двигателя типа 4 Ч 11/12,5 на природный газ был разработан ТНВД с системой регулирования подачи газа и запального дизельного топлива. Эта система включала

регулятор подачи дизельного топлива, регулятор подачи природного газа и газозообразный смеситель, установленный во впускной системе газодизельного двигателя. Проведенные экспериментальные исследования подтвердили работоспособность экспериментального стенда, возможность определения его основных параметров и изучения процессов хранения и выдачи природного газа из адсорбционной системы аккумуляирования для питания дизельного двигателя.

5. Дизельный двигатель работал на режимах регуляторной характеристики, формируемой разработанной системой регулирования, при частоте вращения коленчатого вала  $n=1500 \text{ мин}^{-1}$ . Степень неравномерности регуляторной характеристики была равна  $\delta=3,7 \%$ . Вырабатываемый переменный электрический ток удовлетворял требованиям, предъявляемым к электроток у промышленных сетей.

6. В дизельном двигателе типа 4 Ч 11/12,5 экспериментального стенда реализовывался как чисто дизельный процесс, так и газодизельный, при котором природный газ, подаваемый в цилиндры двигателя, воспламенялся от запальной дозы нефтяного дизельного топлива. В газодизельном цикле разработанный регулятор двигателя поддерживал примерное постоянство запальной дозы ДТ на уровне  $q_{\text{ц}}=11,5 \text{ мм}^3$ . При этом на режиме холостого хода ( $N_e=0 \text{ кВт}$ ) при  $n=1515 \text{ мин}^{-1}$  в двигатель подавалось только запальное дизельное топливо (расход природного газа  $G_{\text{пр}}=0$ ). При увеличении нагрузки расход природного газа увеличивался, и на режиме с полной нагрузкой (при  $N_e=33,7 \text{ кВт}$ ) подача природного газа была максимальной и равной  $G_{\text{пр}}=6,30 \text{ кг/ч}$ , а часовой расход запального нефтяного ДТ был примерно постоянен и равен  $G_{\text{дт}}=1,70 \text{ кг/ч}$ . На режиме максимальной мощности подача запального дизельного топлива оказалась равной примерно 20 % от общей подачи жидкого

и газообразного топлив (на режиме максимальной мощности  $G_{\text{т,}\Sigma}=8,00 \text{ кг/ч}$ ).

7. Разработанный экспериментальный стенд позволил провести исследования процессов хранения и выдачи природного газа из адсорбционной системы аккумуляирования для питания дизельного двигателя. Объемный часовой расход природного газа (метан), обеспечиваемый адсорбционной системой аккумуляирования в процессе выдачи природного газа двигателю, составил  $10,0 \text{ м}^3/\text{ч}$ . С учетом принятой плотности природного газа ( $\rho_{\text{пр}}=0,668 \text{ кг/м}^3$ ) его массовый часовой расход оказался равен  $6,68 \text{ кг/ч}$ . При этом требуемый максимальный расход природного газа исследуемым дизелем на режиме с полной нагрузкой ( $N_e=33,7 \text{ кВт}$  при  $n=1434 \text{ мин}^{-1}$ ) составил  $6,30 \text{ кг/ч}$ . Таким образом, для питания разработанного экспериментального стенда природным газом достаточно одного баллона с адсорбционной системой аккумуляирования. При использовании этой системы на более мощных дизельных двигателях необходимо соответственно увеличивать число баллонов с природным газом, наполненных указанным адсорбентом, или применять адсорбент с большей аккумуляирующей способностью.

8. По эффективности процесса сгорания, оцениваемой с использованием эффективного КПД двигателя  $\eta_e$ , дизельный и газодизельный циклы исследуемого дизельного двигателя достаточно близки друг к другу. Причем на режимах с малыми нагрузками (до  $N_e=16...18 \text{ кВт}$ ) более экономичен дизельный цикл, а на режимах с большими нагрузками (при  $N_e$  выше  $16...18 \text{ кВт}$ ) предпочтителен газодизельный цикл. Это объясняется сравнительно невысоким качеством смесеобразования в газодизельном цикле при низких нагрузках и улучшением качества этого процесса в газодизельном цикле на режимах с высокой нагрузкой.

9. Реализация газодизельного цикла в

исследуемом двигателе позволила заметно снизить дымность ОГ. Наибольшая дымность ОГ имела место на режиме с полной нагрузкой (при  $N_e=33,7...34,4$  кВт) – в дизельном цикле  $K_x=57,3$  % по шкале Хартриджа, а в газодизельном  $K_x=8,7$  % по той же шкале. Таким образом, на этом режиме переход от дизельного цикла к газодизельному приводит к снижению дымности ОГ примерно в 6,6 раза. При экспериментальных исследованиях отмечена тенденция меньшего содержания оксидов азота в ОГ в газодизельном цикле по сравнению с дизельным. Такое снижение эмиссии наиболее значимого газообразного токсичного компонента ОГ связано с лучшим качеством смеси образования и более гомогенной рабочей смесью в этом цикле, поскольку газообразное топливо (природный газ) и окислитель (воздух) находятся в одном агрегатном состоянии – газообразном, что облегчает смешение этих компонентов. В газодизельном цикле отмечен

рост выбросов монооксида углерода СО и легких несгоревших углеводородов СН по сравнению с обычным дизельным циклом. Однако повышенная эмиссия этих двух токсичных компонентов ОГ может быть легко устранена при установке в выпускной системе двигателя каталитического нейтрализатора, эффективно очищающего ОГ от содержащихся в них СО и СН.

10. При переводе исследуемого двигателя с дизельного цикла на газодизельный отмечено заметное улучшение его экологических показателей. В газодизельном цикле имело место значительное снижение выбросов двух основных токсичных компонентов ОГ – оксидов азота и сажи (дымность ОГ). При этом токсикологическая значимость монооксида углерода СО, оксидов азота  $NO_x$ , легких несгоревших углеводородов СН и сажи (твердые частицы) оценивается как отношение  $1 / 41,1 / 3,16 / 200$ .

## Литература

1. Альтернативные топлива для двигателей внутреннего сгорания / А.А. Александров, И.А. Архаров, В.А. Марков и др. Под ред. А.А. Александрова, В.А. Маркова. – М.: ООО НИЦ «Инженер», ООО «Онико-М», 2012. – 791 с.
2. Альтернативные моторные топлива: Учеб. пособие для вузов / А.Л. Лapidус, И.Ф. Крылов, Ф.Г. Жагфаров и др. – М.: ЦентрЛитНефтеГаз, 2008. – 288 с.
3. Гайворонский А.И., Марков В.А., Илатовский Ю.В. Использование природного газа и других альтернативных топлив в дизельных двигателях. – М.: ООО «ИРЦ Газпром», 2007. – 480 с.
4. Патрахальцев Н.Н. Повышение экономических и экологических качеств двигателей внутреннего сгорания на основе применения альтернативных топлив: Учеб. пособие для вузов. – М.: Изд-во РУДН, 2008. – 267 с.
5. Марков В.А., Бебенин Е.В., Поздняков Е.Ф. Сравнительная оценка альтернативных топлив для дизельных двигателей // Транспорт на альтернативном топливе. – 2013. – № 5. – С. 24-29.
6. Адсорбция метана на микропористом углеродном адсорбенте АУ-1 / Е.М. Стриженов и др. // Физикохимия поверхности и защита материалов. – 2012. – Т. 48. – № 6. – С. 521-526.
7. Адсорбция метана на микропористом углеродном адсорбенте АУ-5 / Е.М. Стриженов и др. // Физикохимия поверхности и защита материалов. – 2013. – Т. 49. – № 5. – С. 483-490.
8. Аккумуляирование метана на активированном угле АУ-7 / Е.М. Стриженов и др. // Химическая технология. – 2013. – № 12. – С. 729-738.

# Технологии СПБ, СПГ и КПП для газификации объектов региона

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

В статье рассмотрена проблема резервирования сжиженного пропан-бутана (СПБ), сжиженного (СПГ) и компримированного (КПП) природного газа для автономного газоснабжения объектов. Приведены уравнения, позволяющие рассчитать объем хранилищ СПБ, СПГ и КПП в зависимости от тепловой нагрузки газифицируемых объектов и времени расхода газа из хранилищ. Также приведены методика расчета стоимости указанных хранилищ и, в качестве примера, получение аналитической зависимости расчета стоимости хранилища для резервирования СПБ.

**Ключевые слова:**

сжиженный пропан-бутан, компримированный природный газ, сжиженный природный газ, объем резервирования газа, стоимость хранилищ газа.

**Б**азовым топливом в мире в последнее время становится природный газ. Он дает в экологическом отношении сравнительно чистое горение, недорог, запасы его в изобилии и значительно превосходят запасы нефти. В настоящее время около 25 % энергетического баланса в мире формируется в результате сжигания природного газа. Он используется для отопления домов, приготовления пищи, производства электричества, в качестве топлива на транспорте, а также как сырье для химических, промышленных и перерабатывающих предприятий. Мировое потребление газа автомобильным транспортом в прошлом году выросло на 20 % и будет продолжать увеличиваться как минимум на 10 % в год в течение следующих 10 лет. Большинство аналитиков предсказывает, что к 2020 г. 30 % энергии в мире будет поступать из природного газа.

Развитие газодобывающей промышленности тесно связано не только с открытием и разработкой газовых месторождений, но и с формированием рынков потребления газа, созданием новых технологий его транспортировки и использования.

Универсальность, экологичность, простота использования и относительная безопасность по сравнению с такими энергоносителями как уголь, уран и нефть стали причиной переориентации и создания новых производств на основе использования природного газа в качестве базового топлива. Рост темпов потребления природного газа стал залогом конкурентоспособности и энергетической безопасности не только отдельных производств, но и целых государств, поэтому вопросы эффективной дифференцированной транспортировки газа к заказчику в ряде случаев приобретают стратегическое значение.

Кроме того, в последнее время стала обостряться проблема уже истощенных газовых месторождений с развитой инфраструктурой потребления газа, для которых (по экономическим причинам) нецелесообразна транспортировка по мощным магистральным газопроводам. И число таких месторождений постоянно растет как в России, так и в других газодобывающих странах мира.

Существующая газотранспортная система большинства основных государств-экспортеров газа Евразийского континента базируется на трубопроводном транспорте и является в большинстве случаев наследием бывшего СССР. События последних лет продемонстрировали не только необходимость модернизации и восстановления системы, но и уязвимость «коллективной газовой трубы». В любое время все участники транспортировки газа (как экспортеры, так и импортеры) могут стать заложниками форс-мажорных обстоятельств, сложившихся на любом участке газопровода.

В настоящее время наблюдается процесс реализации инновационных технологий доставки газа потребителям в сжиженном и компримированном виде. Проблему транспортировки и потребления газа уже невозможно решить с помощью одной только газовой трубы. Поэтому вопрос диверсификации путей и средств его транспортировки очень актуален в современной газовой промышленности.

Кроме того, бурное развитие в мире транспортных средств потребовало увеличения добычи и использования нефти, что привело к сокращению ее мировых запасов и, как следствие, росту цен на нефть и нефтепродукты, ухудшению экологии крупных городов из-за вредных выбросов автомобилей. С целью решения возникшей проблемы многие страны мира, в том числе и Россия, стали переводить автотранспорт на более дешевый и экологичный вид топлива –

газомоторное топливо: пропан-бутан, природный газ в сжиженном или компримированном виде.

Основным видом топлива, потребляемым в Российской Федерации, является природный газ (60 %), а в ряде регионов, например, в Сибирском федеральном округе, уголь составляет более 60 % общей потребности в топливно-энергетических ресурсах. Несмотря на то, что эти регионы обладают уникальными запасами природного газа, по уровню его использования они значительно уступают среднероссийским показателям, что сказывается на росте эксплуатационных затрат производств, ухудшает социальные условия населения, является причиной высокого уровня загрязнения окружающей среды. Указанные причины вызывают необходимость роста использования природного газа в топливном балансе этих регионов.

В настоящее время газификация природным газом Восточной Сибири регламентируется федеральными, региональными и отраслевыми программами и директивными документами, в которых определены объемы добычи и потоки природного газа по газопроводам к населенным пунктам, промышленным объектам. Также в некоторых программах предусмотрен перевод транспортных средств на газовое топливо. Однако осуществляется газификация крайне медленно, и принятые программы не выполняются. Средний уровень газификации сетевым природным газом составляет около 6 % (в целом по России около 65 %), ежегодный прирост составляет не более 0,4 %. Основными причинами являются региональные особенности и отсутствие научного обоснования разрабатываемых программ.

Газификация центральных регионов России сетевым природным газом начала активно осуществляться еще в 50-х гг. прошлого столетия в большей степени за счет государственных капитальных вложений, а в Сибири

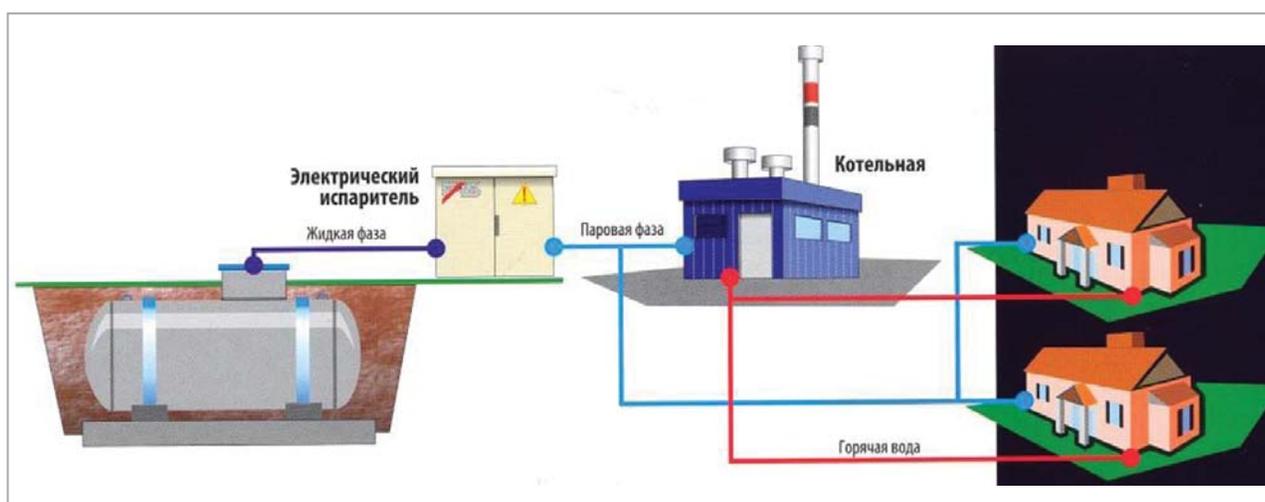
и на Дальнем Востоке этот процесс начал в основном только в 90-е гг. без особой финансовой поддержки государства. Территория данных регионов весьма значительна – 66 % общей площади Российской Федерации, при этом здесь проживает всего 18 % населения страны. Соответственно удельные капитальные вложения на душу населения при создании сети газоснабжения сетевым и природным газом в Восточной Сибири будут в несколько раз больше, чем в Центральной России. Разработанные региональные программы газификации объектов предусматривают газификацию сетевым природным газом, что неприемлемо для регионов Сибири и Дальнего Востока, где не развита сеть магистральных газопроводов и низкая плотность населения. Здесь далеко не в каждый населенный пункт экономически целесообразно прокладывать газопровод.

В этой ситуации для газификации региона целесообразно применить альтернативные источники газоснабжения – автономное газоснабжение природным газом в сжиженном (СПГ) или сжиженном пропан-бутаном (СПБ).

В мире, в том числе и в России, накоплен опыт реализации пилотных

проектов автономной газификации населенных пунктов, промышленных объектов и транспортных средств, разработаны технологии и оборудование для обеспечения автономного газоснабжения объектов [1-5].

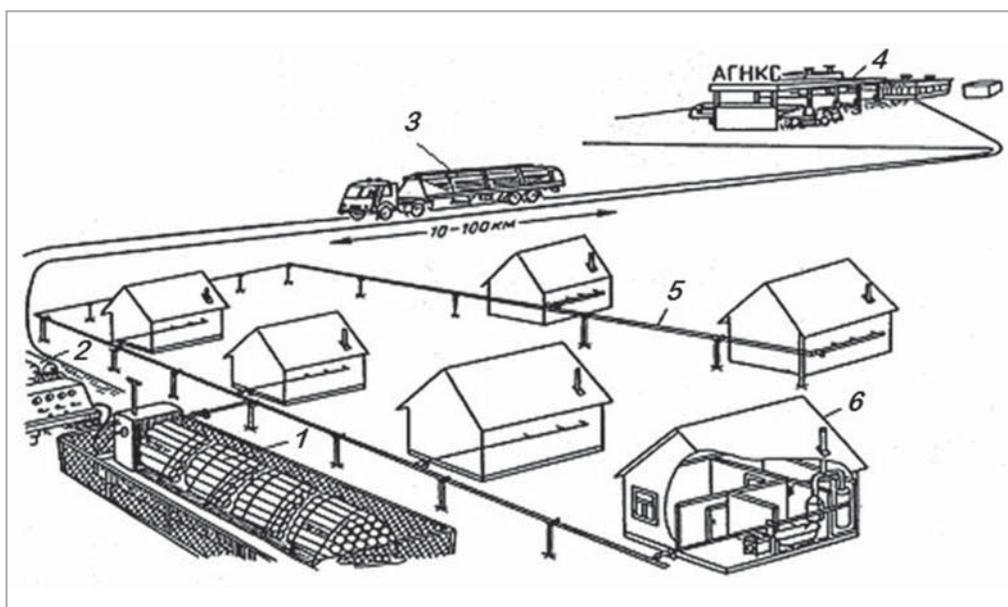
Однако еще нет научного обоснования применения сжиженного и сжиженных газов для газификации объектов в регионе, поскольку при автономной газификации необходимо прежде всего определить целесообразность использования той или иной технологии автономного газоснабжения объекта. Будет ли это технология с применением сжиженного пропан-бутана (рис. 1), сжиженного (рис. 2) или сжиженного (рис. 3) природного газа, критериями выбора технологии автономного газоснабжения объектов может служить цена применяемых топлив и стоимость хранилищ, предназначенных для автономной газификации объектов, куда должен доставляться транспортными средствами от мест производства определенный вид газа (СПБ, СПГ или КПГ). Ниже приведены аналитические зависимости определения объема и стоимости хранилищ сжиженных и сжиженного газов, предназначенных для автономной газификации населенных пунктов и промышленных объектов региона.



**Рис. 1.** Схема отопительного комплекса, обеспечивающего автономное газоснабжение сжиженным пропан-бутаном коттеджного поселка



**Рис. 2.** Внешний вид комплекса автономного газоснабжения сжиженным природным газом котельной мощностью 3,5 МВт в Ленинградской области



**Рис. 3.** Схема газификации населенного пункта автономным способом с доставкой КПГ: 1 – хранилище КПГ; 2 – редуцирующее устройство; 3 – транспортировщик КПГ; 4 – АГНКС; 5 – газопроводная сеть низкого давления; 6 – газифицируемый объект

Исходными данными для определения необходимого объема хранения газа для автономного газоснабжения объекта или в качестве резервного топлива служат тепловая нагрузка объекта и время расхода газа из хранилища до полного его опорожнения. Зависимость объема резервуаров хранилища газа от тепловой

нагрузки и времени резервирования газа на объекте газификации (котельная, коттедж, населенный пункт и др.) определяется следующим выражением

$$V = \frac{Q n 24 z}{q k 1,163}, \quad (1)$$

где  $V$  – объем резервуарного парка

хранилища газа, м<sup>3</sup>;  $Q$  – тепловая нагрузка объекта, Гкалл/ч;  $n$  – число суток отбора газа из хранилища до полного опорожнения или период доставки новой партии сжиженного газа; 24 – количество часов в сутках, ч;  $z$  – коэффициент запаса;  $q$  – объемная теплотворная способность газа, Гкалл/м<sup>3</sup>;  $k$  – коэффициент заполнения резервуаров хранилища газом; 1,163 – коэффициент перевода тепловой мощности из Гкалл/ч в МВт.

Необходимый объем резервуаров хранилища газа для автономного газоснабжения объектов с применением технологий СПБ, СПГ и КПП определим, подставляя в выражение (1) значения приведенных параметров для каждого вида газа.

Для технологии автономного газоснабжения объектов сжиженным пропан-бутаном необходимый объем резервуаров хранилища газа будет равен

$$V_{\text{СПБ}} = \frac{Q n 24 \cdot 1,1}{6,55 \cdot 0,85 \cdot 1,163}, \quad (2)$$

или

$$V_{\text{СПБ}} = 4Qn, \quad (3)$$

где  $Q$  – тепловая нагрузка объекта газификации, МВт.

Для технологии автономного газоснабжения объектов сжиженным природным газом необходимый объем резервуаров хранилища газа (система приема, хранения, регазификации – СПХР) будет равен

$$V_{\text{СПГ}} = \frac{Q n 24 \cdot 1,1}{5,13 \cdot 0,9 \cdot 1,163}, \quad (4)$$

или

$$V_{\text{СПГ}} = 5Qn. \quad (5)$$

Для технологии автономного газоснабжения объектов компримированным природным газом необходимый объем емкостей хранилища газа будет равен

$$V_{\text{КПП}} = \frac{Q n 24 \cdot 1,2}{1,65 \cdot 1 \cdot 1,163}, \quad (6)$$

или

$$V_{\text{КПП}} = 15Qn. \quad (7)$$

Для определения стоимости хранилищ  $S$  с объемами, обозначенными формулами (3), (5), (7), используем ее зависимость от удельной стоимости хранилища ( $\delta$ ), умноженной на объем хранилища газа ( $V$ )

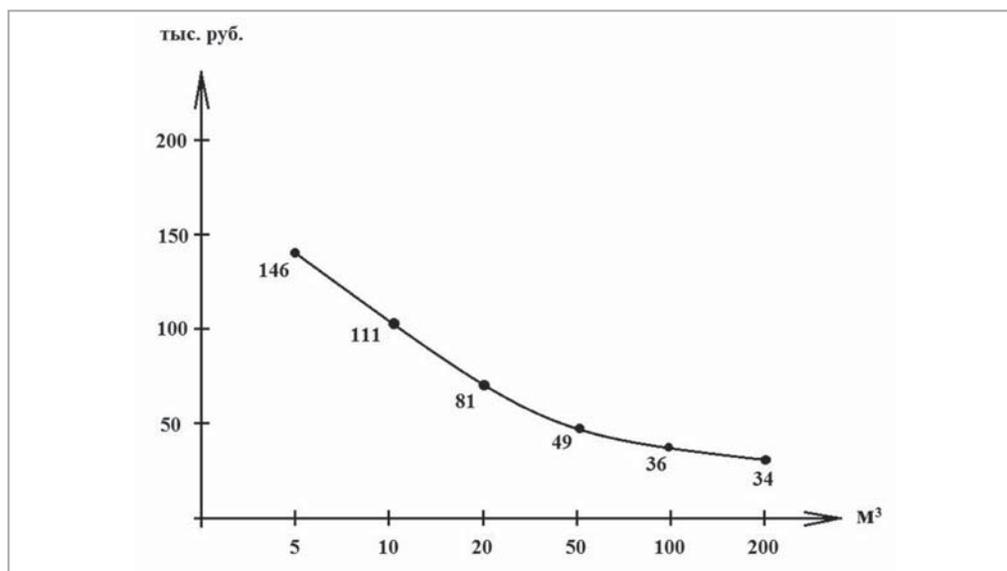
$$S = \delta V. \quad (8)$$

Удельную стоимость хранилищ газа можно определить из данных статистики, анализируя стоимость хранилищ различного объема. Известно, что с увеличением объема хранилищ значения их удельных стоимостей будут снижаться. На рис. 4 приведена зависимость удельной стоимости хранилищ СПБ от объема резервуаров для хранения сжиженного пропан-бутана, полученная с помощью обработки статистических данных.

Приведенная зависимость показывает, что при объеме хранения СПБ свыше 100 м<sup>3</sup> значение удельной стоимости выполаживается и при объеме сжиженного пропан-бутана, превышающем 50 м<sup>3</sup>, значение удельной стоимости хранилища можно принимать равным 50 000 руб./м<sup>3</sup> (см. рис. 4). Таким образом, формула для оценки стоимости  $S$  хранилища СПБ с резервуарами объемом 50 м<sup>3</sup> и выше будет следующей:

$$S = 2 \cdot 10^5 Qn. \quad (9)$$

При отсутствии данных по удельной стоимости хранилища зависимость его стоимости от тепловых нагрузок и времени резервирования газа сложно получить, используя данные по удельному расходу металла на 1 м<sup>3</sup> емкости резервуара, значение которого меняется незначительно, и для резервуаров вместимостью от 20 до 200 м<sup>3</sup> в среднем равно 0,4 т/м<sup>3</sup>. Стоимость 1 т стали при производстве резервуаров составляет 62,5 тыс. руб./т, при строительстве хранилищ она будет увеличиваться и достигнет в среднем 125 тыс. руб./т.



**Рис. 4.** Зависимость удельной стоимости хранилища СПБ от объема резервуаров хранилища газа

Пользуясь приведенными удельными значениями можно зависимость стоимости хранилища СПБ от тепловой нагрузки объекта и времени резервирования газа записать в следующем виде:

$$S = 0,4 \cdot 125000 \cdot 4 Q n, \quad (10)$$

или

$$S = 2 \cdot 10^5 Q n. \quad (11)$$

Формулы (9) и (11) для расчета величины  $S$  одинаковы, но получены разными путями, что говорит об их достоверности. Зависимости стоимости хранилищ СПГ и КПП от тепловой нагрузки объекта и времени резервирования природного газа можно получить аналогичным путем, подставив в выражения (5) и (7) значения удельной стоимости хранилищ СПГ и КПП.

## Литература

1. Рачевский Б.С. Использование сжатого и сжиженных углеводородных газов для газификации населенных пунктов, промышленных объектов и транспортных средств. Доклад на VI Международной научно-практической конференции «Сжатый и сжиженный газ–2003», Турция, Бильдиби, 12-19 октября 2003 г., фонды ЗАО «НефтеГазТоп», 2003. – 17 с.
2. Рачевский Б.С. Автономное газоснабжение населенных пунктов и промышленных объектов // Полимергаз. – 2004. – № 1. – С. 44-46.
3. Рачевский Б.С., Березкина С.Л. Техничко-экономическое сравнение автономного газоснабжения объектов сжиженным пропан-бутаном, сжиженным и сжатым природным газом. Материалы конференций в рамках выставки «Газовая промышленность России. Актуальные аспекты–2007». – М.: ИРЦ Газпром, 2008. – С. 86-95.
4. Рачевский Б.С. Сжиженные углеводородные газы. – М.: НЕФТЬ и ГАЗ, 2009. – 640 с.
5. Рачевский Б.С. Повышение эффективности экономики с помощью технологии применения КПП и СПГ // Транспорт на альтернативном топливе. – 2015. – № 5 (47). – С. 12-17.

# Водно-щелочные топливные элементы

**С.И. Козлов**, доктор технических наук,  
**В.Н. Фатеев**, зам. директора Центра физико-химических технологий  
НИИ «Курчатовский институт», профессор, д.х.н.

В статье представлен краткий обзор современного состояния дел по основным типам щелочных топливных элементов и энергоустановок на их базе ведущих западных и отечественных фирм. Рассмотрены характеристики щелочных топливных элементов, их преимущества и недостатки. Показаны принципы их работы и сферы использования. Приведены особенности конструкции энергоустановок 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».

**Ключевые слова:**

щелочные топливные элементы,  
электродные материалы, энергоустановка.

**П**ервый водно-щелочной топливный элемент был создан Ф.Бэконом в 1952 г. Современные водно-щелочные (или просто щелочные) топливные элементы (ЩТЭ) относятся к низкотемпературным ТЭ – рабочие температуры до 100 °С [1] (рис. 1 и 2).

Схематическая запись щелочного топливного элемента следующая:



Анодная реакция (отрицательный электрод):  $\text{H}_2 + 2\text{OH}^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^-$ .

$$E_1^0 = -0,828 \text{ В},$$

$$E_1 = E_1^0 + \frac{RT}{nF} \ln \left( \frac{\alpha_{\text{H}_2\text{O}}^2}{\alpha_{\text{OH}^-}^2 - p_{\text{H}_2}} \right),$$

где  $E_1$  – значение ЭДС;  $E_1^0$  – стандартное значение равновесной разности потенциалов.

Активность воды при высоких концентрациях отличается от 1 (так, для раствора NaOH при концентрации 37,7%<sub>масс</sub> и температуре 75 °С  $\alpha_{\text{H}_2\text{O}}^2 = 0,4$ ). Рабочие давления обычно близки к 1 кг/см<sup>2</sup>, и использование парциальных давлений дает высокую точность расчета.

Катодная реакция (положительный электрод):  $1/2\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{OH}^-$ .

$$E_2^0 = +0,401 \text{ В},$$

$$E_2 = E_2^0 + \frac{RT}{nF} \ln \left( p_{\text{O}_2} \frac{\alpha_{\text{H}_2\text{O}}^2}{\alpha_{\text{OH}^-}^4} \right).$$

## Водородное топливо

Суммарная реакция:  $2\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$ .

Стандартное значение ЭДС цепи:  $E^0 = E_2^0 - E_1^0 = 0,401 - (-0,828) = 1,229$  В, а ЭДС цепи при давлениях вблизи атмосферного может быть выражена через парциальные давления:

$$E = E^0 + \frac{RT}{4F} \ln \left( \frac{p_{\text{O}_2} p_{\text{H}_2}^2}{\alpha_{\text{H}_2\text{O}}^2} \right).$$

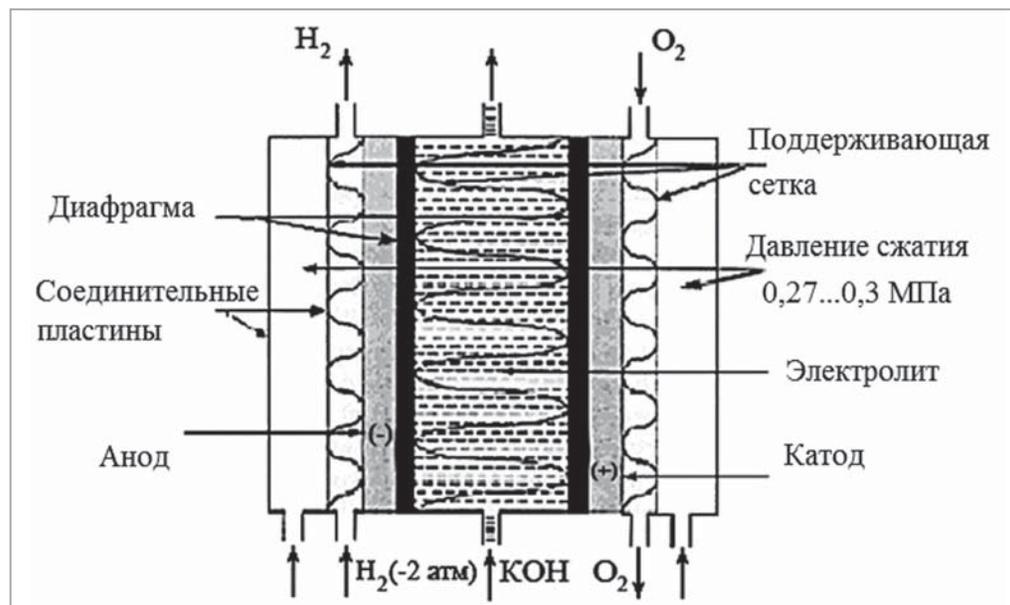


Рис. 1. Принципиальная схема щелочного топливного элемента

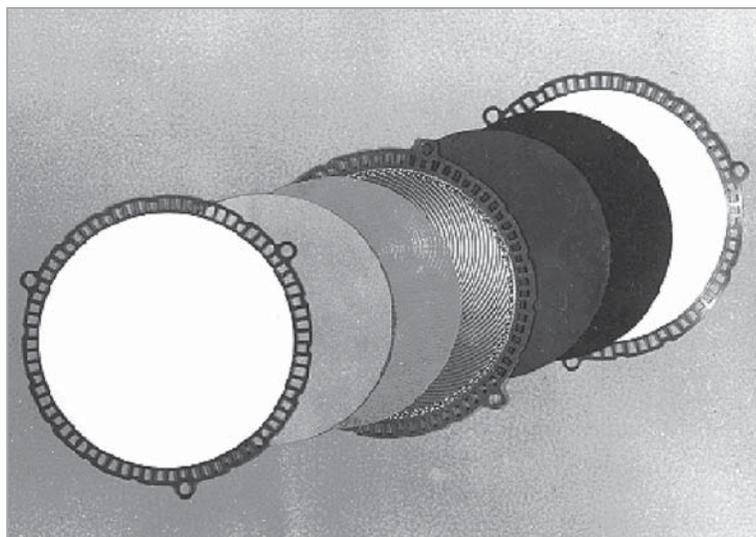
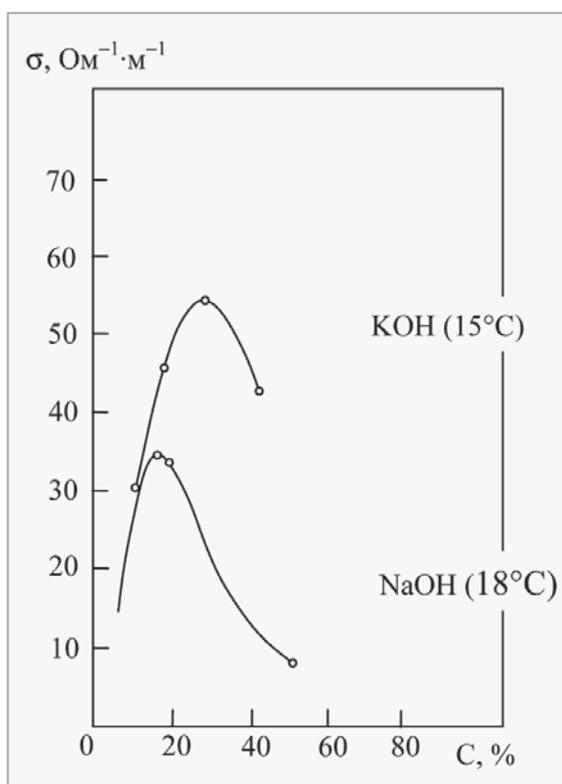


Рис. 2. Компоненты ячейки водно-щелочного ТЭ слева направо: асбестовая матрица, пористый никелевый кислородный электрод, токосъемная сетка, каркас, буферная токосъемная пластина, пористый никелевый водородный электрод, асбестовая матрица

В качестве электролита в щелочных топливных элементах используются водные растворы KOH или NaOH. В современных водно-щелочных ТЭ в качестве электролита используют раствор 35...50 % KOH. Известно также использование концентрированного (50...85 %) раствора KOH в элементах, рассчитанных на повышенную температуру эксплуатации (до 260 °С), однако в настоящее время их разработка прекращена. Выбор KOH в качестве электролита обуславливается его более высокой электропроводностью, а также большим ресурсом по сравнению, например, с более дешевым NaOH. Выбор диапазона концентраций обусловлен максимумом проводимости растворов KOH (рис. 3), который смещается в сторону более высоких концентраций при повышении температуры. Следует

отметить, что использование жидкого электролита упрощает организацию контакта электрод–электролит и несколько упрощает систему в целом по сравнению с твердополимерными топливными элементами.

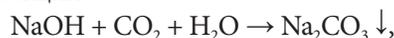
Различают топливные элементы с матричным (электролит удерживается в пористой матрице, обычно асбестовой) и свободным (обычно циркулирующий) электролитом (таблица). Первый тип ТЭ характеризуется более высокими значениями КПД (до 70 %), но меньшим ресурсом (гарантированный ресурс ШТЭ для отечественных космических кораблей 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 позво-



**Рис. 3.** Зависимость удельной электрической проводимости водных растворов электролитов от их концентрации (в массовых долях)

ляет использовать в качестве окислителя воздух, очищенный от  $\text{CO}_2$ .

Необходимость очистки воздуха и топлива от  $\text{CO}_2$  обусловлена тем, что  $\text{CO}_2$  ведет к карбонизации электролита по реакции



сопровождающейся увеличением его сопротивления и блокированием поверхности электродов нерастворимыми карбонатами.

Максимально допустимым для нормальной работы щелочных топливных элементов является уровень  $\text{CO}_2$  в окислителе (топливо) менее 50 ppm (0,005%<sub>об</sub>). Концентрация  $\text{CO}_2$  в воздухе составляет 300...500 ppm ( $3 \cdot 10^{-2}/5 \cdot 10^{-2}$  %<sub>об</sub>). Для очистки поступающего воздуха от  $\text{CO}_2$  используются, например, регенеративные скрубберы – адсорберы с поглотителем двуокиси углерода, содержащие гидратированные оксиды переходных металлов, например, циркония, которые регенерируют отработанным в топливном элементе воздухом при температуре 60...120 °C [2]. Они позволяют понизить концентрацию  $\text{CO}_2$  в воздухе до 5...10 ppm (0,0005...0,001%<sub>об</sub>). Однако эти технологические решения неэффективны при использовании продуктов конверсии органического топлива, где концентрация  $\text{CO}_2$  может превышать 20%<sub>об</sub>.

В качестве электродов используются пористый Ni, активированная Pt, Ag, Pd, Au. Часто упоминаемым преимуществом ШТЭ перед ТЭ с кислотными электролитами является принципиальная возможность использования электродов, не содержащих благородные металлы (перовскиты, шпинели, активированный пористый никель), в качестве воздушных электродов. Однако пока использование электродов, не содержащих благородные металлы, ведет к существенному снижению КПД и удельной мощности.

В элементах компании Space Shuttle United Technologies на аноде расход катализатора, состоящего из 80 % Pt и 20 % Pd, составлял порядка 10 мг/см<sup>2</sup>.

## Основные характеристики ЭУ пилотируемых космических кораблей «Аполлон», ЛОК, «Шаттл», «Буран»

Параметр	«Аполлон»	ЛОК	«Шаттл»	«Буран»
Мощность, кВт, длит./кратковр.	3·0,9 / 3·1,42	3·1,1 / 3·1,5	3·7 / 3·12	4·10 / 4·15
Напряжение, В	26,5...31	25...33	27,5...32,5	30,5...34
Тип ТЭ в ЭХГ	ЩТЭ с электролитом в замкнутом объеме	ЩТЭ с циркулирующим электролитом	ЩТЭ с электролитом в матричной мембране	ЩТЭ с электролитом в матричной мембране
Рабочая температура ТЭ, °С	200...260	94...100	82...110	85...100
КПД ЭХГ, %	63	58	60	60
Удельный расход $H_2+O_2$ , кг/кВт·ч	0,37	0,38	0,35	0,35
Удельная масса ЭХГ, кг/кВт*	125	65	16	16
Гарантированный ресурс ЭХГ, ч	500	1000	2000	2000
Удельная стоимость ЭХГ, тыс. долл. США/кВт	80...100	70	40...50	30
Энергоемкость (полная), кВт·ч	660	500	2000	2500
Удельная энергоемкость, Вт·ч/кг	800	770	880	860

\* Не учтена масса системы управления и электросиловой части.

В элементах фирмы Union Carbide расход Pt составлял уже менее  $1 \text{ мг/см}^2$ . Активные слои НПО «Квант» содержали от 0,1 до  $1,5 \text{ мг/см}^2$  Pt-Pd на водородном электроде и Pt на кислородном электроде. В настоящее время коммерчески доступные электроды для анода и катода фирмы Zetek содержат  $0,3 \text{ мг/см}^2$  платины на углеродном носителе Vulcan XC-72. Полностью исключить металлы платиновой группы пока не удалось.

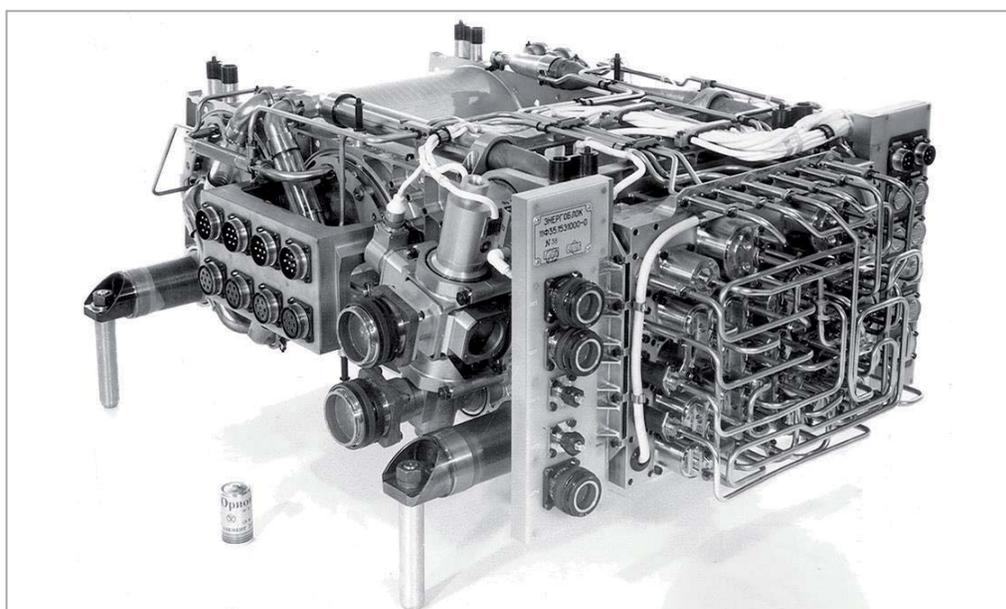


Рис. 4. Электрохимический генератор «Фотон»

### Основные характеристики ЭХГ

Электрическая мощность (постоянный ток), макс./мин., кВт.....	27/5
Напряжение на выходных клеммах, В.....	30,5-34
Полезная энергоемкость, не менее, кВт·ч.....	2000
Продолжительность работы в одном полете, ч.....	168
Число циклов эксплуатации в составе орбитального корабля.....	25
КПД ЭУ, не менее.....	0,55
Количество нарабатываемой воды, не менее, кг.....	830
Масса ЭУ, не более: «сухой»/заправленной, кг.....	1930/2900

Определенным плюсом ЩТЭ является незамерзающий электролит и гораздо более широкие возможности для их холодного пуска по сравнению с твердополимерными топливными элементами, что весьма важно для применения на автотранспорте.

Водородные щелочные топливные элементы впервые были применены в космических аппаратах Apollo и Shuttle (см. таблицу). Ведущими разработчиками являлись корпорации UTC Fuel Cells, Siemens и Union Carbide.

В СССР первые публикации о ЩТЭ появились в 1941 г. Первые разработки были выполнены в 60-х гг. на Уральском электрохимическом комбинате (УЭХК) и в РКК «Энергия» для космических кораблей. В конце 80-х гг. на УЭХК был разработан ЩТЭ (электрохимический генератор) «Фотон» (рис. 4) с номинальной мощностью 10 кВт для многоцветного орбитального корабля «Буран» с возможностью увеличения мощности за счет объединения нескольких модулей. КПД этого генератора составляет 60 %, гарантированный ресурс 2000 ч.

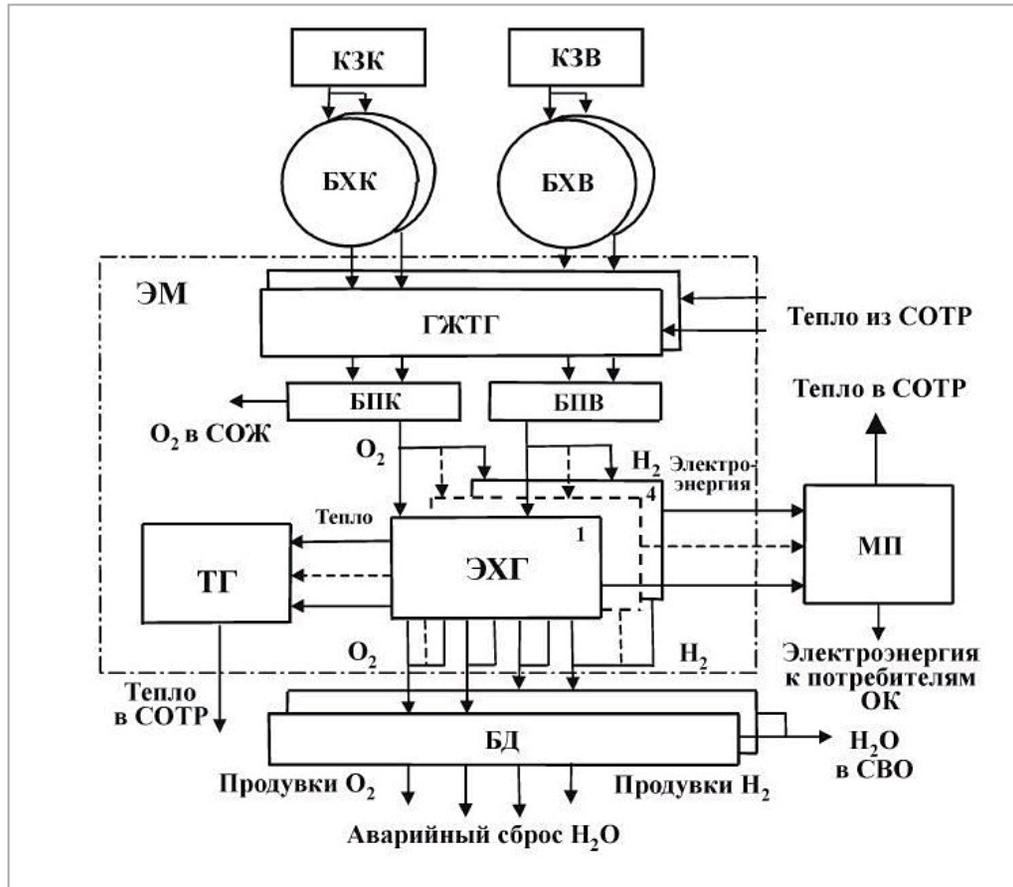
Энергоустановка (ЭУ) орбитального корабля «Буран» (рис. 5) включает в себя четыре ЩТЭ «Фотон» и следующие системы: хранения и подачи криогенных компонентов (СХП); обеспечения теплового режима (СОТР); водоудаления и продувок компонентов; управления, контроля и электросиловой коммутации.

Наряду с применением ЩТЭ в космических кораблях в СССР велись работы по созданию подводной лодки с энергетическими установками на ЩТЭ, которые были начаты в первой половине 70-х гг. прошлого века, когда в ЦКБ «Лазурит» был разработан проект переоборудования дизель-электрической подводной лодки проекта 613 под размещение на ней опытной ЭУ с ЭХГ. В разработках ЭУ на основе 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 подлодки. Был создан ряд наземных и плавучих стендов для отработки конструкции ЭУ, и в 1988 г. подводная лодка «Катран» (рис. 6) успешно прошла государственные испытания и подтвердила принципиальную возможность создания и эффективно использования ЩТЭ для этого вида военной техники.

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 твердополимерные ТЭ.

В 70-80 гг. прошлого века НПО «Квант» совместно с рижским автобусным заводом «РАФ» был разработан прототип мини-автобуса на щелочных топливных элементах, который в 1982 г. изготовили и успешно продемонстрировали.



**Рис. 5.** Структурная схема ЭУ орбитального корабля «Буран»:

ЭМ – энергомодуль; СОЖ – система обеспечения жизнедеятельности; ТГ – теплообменник генераторный; СОТР – система обеспечения теплового режима; КЗК – колодка заправочная кислорода; БХК – блок хранения кислорода; КЗВ – колодка заправочная водорода; БХВ – блок хранения водорода; ГЖТГ – газожидкостный теплообменник-газификатор; БПК – блок подачи кислорода; БПВ – блок подачи водорода; ЭХГ – электрохимический генератор (батарея ЩТЭ); БД – блок дренажа; МП – модуль приборный; ОК – орбитальный корабль; СВО – система водообеспечения

Эти работы на долгое время были остановлены и лишь в конце 90-х специалистами РКК «Энергия» совместно с УЭХК на основе ЩТЭ «Фотон» была разработана энергоустановка для автомобиля. На автосалоне-2001 в Москве был представлен электромобиль «Лада АНТЭЛ-1» (рис. 7), в котором использовалась такая ЭУ, работающая на сжатом водороде и кислороде.

Следующей моделью автомобиля на щелочных топливных элементах стал «ВАЗ-2111 АНТЭЛ-2» (рис. 8). Главное отличие этой машины от предшественника в том, что вместо громоздких кислородных баллонов установлены компактный компрессор для забора воздуха из атмосферы и система его очистки (в первую очередь от CO<sub>2</sub>).

Российская компания Independent Power Technologies разработала энергоустановку Cascade-6 на щелочных топливных элементах (рис. 9). Электрический КПД Cascade-6 составляет 45...50 %, он может использоваться для децентрализованного энергоснабжения стационарных объектов, обеспечения электроэнергией маломерного флота и городских электробусов.

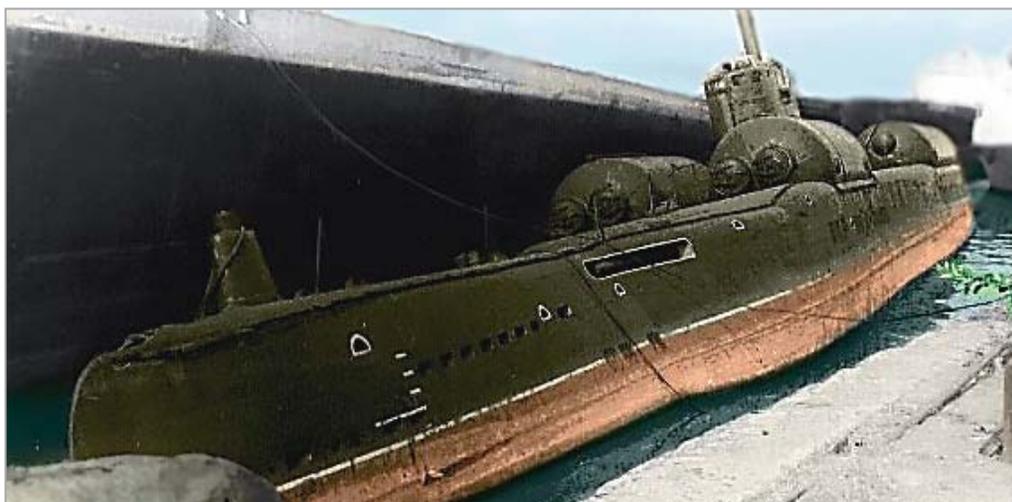


Рис. 6. Подводная лодка «Катран» с ЩТЭ и криогенным хранением реагентов



Рис. 7. Электромобиль «Лада АНТЭЛ-1» (АНТЭЛ – автомобиль на топливных элементах)



Рис. 8. Электромобиль «ВАЗ-2111 АНТЭЛ-2»



Рис. 9. Энергоустановка Cascade-6, справа – пульт управления

### Технические характеристики энергоустановки Cascade-6

Максимальная мощность ( $N_{max}$ ), кВт.....	6,0
Выходное напряжение, В.....	30,0...42,5
Максимальный ток (постоянный), А.....	200
Топливо.....	Технический водород
Расход топлива при $N_{max}$ , $\text{нм}^3/\text{ч}$ .....	< 4,3
Расход воздуха при $N_{max}$ , $\text{нм}^3/\text{ч}$ .....	< 36
Давление реагентов.....	Атмосферное
Температура окружающей среды, °С.....	-20-40
Размеры, мм.....	1250×582×863
Общая масса, кг.....	<240
Время запуска, мин	
3 кВт при 20 °С.....	< 5
6 кВт при 20 °С.....	< 20
Электролит.....	6,6 М КОН (водный раствор)
Давление подачи газов, МПа.....	0,4...0,6

Установка может быть подключена к устройствам, производящим водород «на месте», таким как электролизеры, риформеры природного газа или жидкого углеводородного топлива (с дополнительными системами очистки от  $\text{CO}_2$ ). В качестве окислителя используется кислород воздуха. По сравнению с аналогичными водно-щелочными системами ЭУ Cascade-6 обладает рядом преимуществ. К ним относятся:

- полностью автоматизированная система контроля и управления;
- безопасность эксплуатации;
- запуск без внешнего источника энергии при отрицательных температурах до -20 °С;
- очистка поступающего в генератор воздуха при помощи регенеративного скруббера;
- расход электроэнергии на собственные нужды менее 5 %;
- КПД при номинальной нагрузке до 50 %.



Рис. 10. Стационарная когенерационная энергоустановка «ЭЛТЭГ», справа – блок утилизации теплоты

Одним из уникальных компонентов генератора является безотходный регенеративный скруббер, который используется для удаления  $\text{CO}_2$  из поступающего воздуха. Скруббер сокращает эксплуатационные расходы и увеличивает срок службы генератора.

В 2006 г. компанией НИК «Новые энергетические проекты» была представлена стационарная когенерационная энергоустановка «ЭЛТЭГ» (рис. 10) электрической мощностью 5,2 кВт и тепловой мощностью 6,0 кВт на основе щелочных ТЭ с проточным щелочным электролитом. В этой установке электролит (раствор КОН), нагревается до  $70^\circ\text{C}$  и подается в утилизатор теплоты, что позволяет использовать ее для обогрева зданий. С учетом утилизации теплоты общий КПД достигает 87 %. На выработку 1 кВт·ч расходуется 50 г водорода. ЭУ может быть использована в качестве резервного источника питания для различных систем.

#### Основные технические характеристики ЭУ «ЭЛТЭГ»

Максимальная электрическая мощность, кВт.....	6,0
Максимальная тепловая мощность, кВт.....	5,2
Выходное напряжение, В.....	29...33
Расход водорода, кг/кВт·ч.....	0,05
Температура окружающей среды, $^\circ\text{C}$ .....	От $-20$ до $40$
Уровень воздушного шума на расстоянии 2 м, Дб.....	$<64$
КПД ЭУ, %	
электрический.....	45
тепловой.....	42
полный.....	87
Масса ЭУ, кг.....	300

В качестве окислителя может использоваться воздух. Энергоустановка включает систему его очистки от диоксида углерода.

Следует подчеркнуть, что несмотря на определенный прогресс, перспективность ЩТЭ для широкомасштабного применения в гражданских целях 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 ЭУ на основе твердополимерных ТЭ, а существенные проблемы с  $\text{CO}_2$ , 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 исследования в России в какой-то мере являются проявлением определенной инерции.

## Литература

1. Козлов С.И., Фатеев В.Н. Водородная энергетика: современное состояние, проблемы, перспективы / Под ред. Е.П.Велихова. – М.: Газпром ВНИИГАЗ, 2009. – 520 с.
2. Патент РФ № 2229759 (2004.05.27) «Способ очистки воздуха для топливных элементов и устройство для его осуществления».

**Преимущества:**

- Расширенный температурный диапазон
- Минимальные потери газа
- Безопасность

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


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

**Преимущества:**

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

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

# Метод обеспечения работоустойчивости системы управления питанием газового транспортного средства

**А.А. Евстифеев**, начальник лаборатории ООО «Газпром ВНИИГАЗ», к.т.н.,  
**М.А. Заева**, зам. заведующего кафедры НИЯУ «МИФИ», к.т.н.,  
**М.С. Сергеев**, доцент НИЯУ «МИФИ», к.т.н.

В статье дано описание модернизированной кассетной сборки для компримированного природного газа, оснащенной средствами коммутации с бортовой системой управления питанием транспортного средства, разъемом к газовой магистрали транспортного средства, дополнительными, расположенными по диагонали кассетной сборки, выходами для подключения ее к электрической бортовой сети транспортного средства с целью питания и управления элементами, а также системой диагностики, мониторинга и контроля, установленной на кассетной сборке. Представлена методика обеспечения работоустойчивости системы управления питанием, предназначенная для расчета периодичности выполнения диагностических и ремонтных работ с целью достижения заданных характеристик ее работы и гарантированного коэффициента готовности. Приведены примеры практического использования разработанного математического аппарата.

**Ключевые слова:**

системный анализ, система управления, повышение эффективности управления производственными процессами, компримированный природный газ.

**В** процессе эксплуатации газобаллонных муниципальных городских автобусов и полевой сельскохозяйственной техники периодически возникает необходимость провести дозаправку транспортного средства (ТС) непосредственно у кромки поля или на обочине дорожного полотна [1]. Для этих целей в настоящее время используются передвижные автомобильные газовые заправщики (ПАГЗ) для компримированного (КПГ) или сжиженного (СПГ) природного газа. При использовании ПАГЗ для КПГ коэффициент опорожнения при наличии на борту компрессора составляет от 0,7 до 0,85, а без бортового компрессора – от 0,45 до 0,65 [2].

Основными проблемами при использовании ПАГЗ для КПГ являются следующие: высокая общая масса ПАГЗ, что сокращает его мобильность и проходимость; длительная продолжительность заправки как непосредственно ПАГЗ на автомобильной газонаполнительной компрессорной станции (АГНКС), так и автотранспортного средства; большой объем хранимого и транспортируемого газа, являющегося взрывопожароопасным веществом и обладающего высокой тепловой и кинетической энергией.

При наличии на борту автобуса или спецтехники съемных кассетных модулей целесообразно производить замену использованной газовой кассеты заполненной. Средний вес заполненной газовой кассеты составляет 0,45 т [3].

Приведенные в ряде работ оценки позволяют с достаточной степенью уверенности определить объемную потребность в КПГ и СПГ конкретного потребителя [4], а также выбрать наиболее подходящий вид газового моторного топлива на базе оценки экономической целесообразности его применения [5] и сравнения экономических затрат автотранспортного предприятия [6].

Основным неудобством при замене газовых кассет является необходимость подниматься на крышу автобуса для отключения и подключения газовых кассет к бортовой магистрали высокого давления транспортного средства. В зимнее время из-за образования наледи на скругленной крыше автобуса это может привести к падению работника с крыши, получению им производственной травмы или даже гибели. При этом необходимо предусматривать в конструкции автотранспортного средства лестницу или подножку для обеспечения доступа сотрудника к соединительному узлу «газовая кассета – топливная магистраль ТС», что требует внесения дополнительных конструктивных изменений в транспортное средство, портит внешний вид. Отдельно следует сказать об устранении потенциальной возможности для безбилетного проезда, зацепления за лестницу ТС и возникновения травм, связанных с падением и попаданием людей под колеса сторонних транспортных средств.

Другим недостатком существующей конструкции газовых кассетных сборок является отсутствие в них следующих систем:

- контроля состояния отдельных элементов;
- управления отдельными запорными устройствами, подключенными к общей магистрали;
- информирования водителя о состоянии газовой кассетной сборки;
- контроля сроков технического обслуживания и периодического осмотра;
- автоматической идентификации газовой аппаратуры и информирования о ее местонахождении.

С целью исключения выявленных в более ранних моделях газовых баллонных сборок для общественного транспорта недостатков была разработана система управления системой питания газового транспортного средства.

Аналоги систем, выполняющих перечисленные выше задачи, в настоящее время используются в различных областях народного хозяйства, в том числе и на автотранспортных средствах. Сложность современных ТС и необходимость защиты водителей от оборудования, опасного в использовании или не прошедшего своевременно технического обслуживания и освидетельствования, делают оснащение кассетных баллонных сборок системами мониторинга, контроля и управления насущной необходимостью. При работе такая система потребляет электрическую энергию и проводит обмен с вычислительными средствами, установленными на борту транспортного средства. С целью обеспечения данной связи в конструкции кассетной сборки предусмотрен промышленный разъем, поддерживающий режим «горячей замены» и размещаемый строго по диагонали от разъема газовой магистрали с целью предотвращения возможности появления электрической дуги возле запорной арматуры газовой магистрали.

Опыт разработки систем мониторинга, контроля и управления [7, 8] показывает, что для достижения промышленных объемов внедрения таких систем необходимо обеспечивать их соответствие некоторым общим принципам проектирования и доступа. Достигается это за счет применения четко описанных формализованных

протоколов взаимодействия. При этом необходимо добиться заданных характеристик по устойчивости работы системы управления и гарантированному коэффициенту готовности. Для этого был разработан метод обеспечения работоспособности системы управления.

Будем считать заданными: функцию распределения времени безотказной работы системы управления подачей газового моторного топлива ТС, выполняющего товаротранспортную работу по заранее установленному маршруту  $F(x) = P(\xi < x)$ , где  $\xi$  – случайная величина; характеристики контроля и ремонтпригодности (функции распределения времени различных восстановительных работ, проводимых в системе). Отмеченные характеристики, а также стратегия назначения сроков выполнения восстановительных работ определяют изменения состояний системы. Обозначим конечное множество состояний системы управления через  $E = \{E_1, E_2, \dots, E_n\}$ . Изменение состояний системы управления во времени описывается случайным процессом  $x(t)$ , представляющим собой ступенчатую функцию. На отрезке  $[0, t]$  процесс  $x(t)$  задается числом переходов  $m$ , моментами переходов  $t_0 < t_1 < t_2 < \dots, t_m \leq t$  и набором состояний  $E_{i_0}, E_{i_1}, \dots, E_{i_m}$ .

Если для реализации процесса  $x(t)$  можно определить математическое ожидание некоторого функционала, то будем говорить, что этот функционал определен на траекториях случайного процесса  $x(t)$ . Такой функционал определим как

$$M \left[ \sum_{k=0}^{m-1} C_{i_k} (t_{k+1} - t_k) + C_{i_m} (t - t_m) \right], \quad (1)$$

где  $C_i$  – стоимость единицы времени пребывания системы в состоянии  $E_i$ .

Функционал (1) при заданных характеристиках отказоустойчивости (надежность) системы управления определяет стратегию контроля, профилактики, восстановления. При длительной эксплуатации системы управления функционал (1) имеет вид

$$j = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{M \left[ \sum_{k=0}^{m-1} C_{i_k} (t_{k+1} - t_k) + C_{i_m} (t - t_m) \right]}{t}. \quad (2)$$

Если система управления в процессе эксплуатации неоднократно возвращалась в исходное состояние, и поведение процесса в вероятностном смысле повторяется, то процесс  $x(t)$  называется регенерирующим случайным. Изучение такого процесса можно свести к изучению его на периоде между точками регенерации. Определим коэффициент  $K_i$  как отношение среднего времени  $M_i$  пребывания процесса  $x(t)$  в состоянии  $E_i$  между точками регенерации к средней длительности периода регенерации  $M$ . Для регенерирующего процесса функционал  $j$  (2) определяется как

$$j = \sum_{i=1}^n C_i K_i = \sum_{i=1}^n C_i \frac{M_i}{M} = \frac{\sum_{i=1}^n C_i M_i}{M}. \quad (3)$$

Считаем, что работа по диагностике и техническому обслуживанию системы управления, возвращающая ее в исходное состояние, осуществляется через время  $\eta$ , распределенное по закону  $G(x)$ . Для величин  $M, M_i$  имеем

$$M = \int_{-\infty}^0 \int_{-\infty}^0 B(x, y) dG(x) dF(y); \quad M_i = \int_{-\infty}^0 \int_{-\infty}^0 A_i(x, y) dG(x) dF(y), \quad (4)$$

где  $B(x, y)$  – условная средняя длительность периода регенерации процесса  $x(t)$  при реализации события  $\{\xi=y, \eta=x\}$ ;  $A_i(x, y)$  – условное среднее время пребывания

процесса  $x(t)$  в состоянии  $E_i$  на периоде регенерации или при осуществлении события  $\{\xi=y, \eta=x\}$ .

В этом случае функционал (3) записывается как дробно-линейный функционал (относительно функций  $G$  и  $F$ ) вида

$$j = j(G, F) = \frac{\int_0^0 \int_0^0 A(x, y) dG(x) dF(y)}{\int_0^0 \int_0^0 B(x, y) dG(x) dF(y)} . \quad (5)$$

Если  $A_i(x, y) = \sum_{i=1}^n C_i A_i(x, y)$ , то про  $A(x, y)$  можно говорить как про средний

доход на период регенерации, полученный при условии выполнения события  $\{\xi=y, \eta=x\}$ .

Дальше будем рассматривать такие показатели оптимизации, как коэффициент готовности системы управления и вероятность выполнения функциональной принадлежности в решении задачи. Результаты покажем на разработке дробно-линейного функционала (5), который представляет собой некоторый обобщенный показатель качества функционирования системы управления. Данный функционал необходимо исследовать на экстремум по некоторому множеству функций распределения  $F(x)$  и  $G(x)$ . Процедура исследования упрощается, если использовать теоремы, доказанные В.А. Каштановым [9].

При решении задач контроля, диагностики и обслуживания системы управления в условиях нет недостатка информации.

Пусть  $\Gamma_i$  – граница множества  $A_i$ , максимум функционала  $j(\psi)$  достигается на функции  $\psi(x)$  ступенчатого вида, имеющей не более одного скачка на любом отрезке  $[y_i, y_j]$ ,  $0 \leq i \leq j \leq n+1$  для всех  $K, i < k < j, \psi(y_k) \notin \Gamma_k$ .

Из второй теоремы В.А. Каштанова вытекает важное следствие, которым мы и воспользуемся. Пусть каждое множество  $A_i = (\pi_i)$  состоит из одной точки  $0 = \pi_0 \leq \pi_1 \leq \dots \leq \pi_n \leq \pi_{n+1} = 1$ . Тогда максимум  $j(\psi)$  достигается на ступенчатой функции  $\psi(x)$ , имеющей на каждом полуинтервале  $(-\infty, y_1), [y_1, y_2], \dots, (y_n, +\infty)$  единственный скачок величиной  $\Delta\pi_i = \pi_{i+1} - \pi_i$ .

Известно, что эмпирические функции распределения времени безотказной работы системы управления и других характеристик ее надежности, ремонтно-пригодности и безопасности будут ступенчатыми, со скачками в отдельных точках. Это значит, что суть рассматриваемых задач надежности и безопасности сводится к задаче поиска экстремума функционала  $j(\psi)$  на множестве функций распределения  $\Omega(n, y, \pi)$ , где  $\pi = (\pi_0, \pi_1, \dots, \pi_n)$ , то есть считаем, например, что все функции  $F(y)$  принадлежат классу (множеству)  $\Omega(n, y, \pi)$  и все функции распределения этого класса в заданных точках  $y = (y_0, y_1, \dots, y_n)$  принимают фиксированные значения  $\pi = (\pi_0, \pi_1, \dots, \pi_n)$ .

Пусть  $a(x)$  и  $b(x)$  – кусочно-непрерывные ограниченные функции, а  $\psi(x)$  имеет смысл функции распределения. Введем в рассмотрение дробно-линейный функционал

$$j(\psi) = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} a(x) d\psi(x)}{\int_{-\infty}^{\infty} b(x) d\psi(x)} . \quad (6)$$

Практически интересующие нас функции распределения (времени безотказной

работы и другие) известны не полностью. Мы знаем только доверительные интервалы, например, для вероятности безотказной работы системы управления. Постановка задачи поиска экстремумов функционала (6) состоит в следующем.

Пусть  $A=(A_0, A_1, \dots, A_n)$  – набор замкнутых числовых множеств;  $\Omega(n, y, \pi)$  – множество функций распределения  $\psi(x)$ , принимающих в фиксируемых точках  $y=(y_0, y_1, \dots, y_n)$  значения из заданного множества  $A_i (i=\overline{1, n}): \psi(y_k) \notin A_k$ , где  $k=\overline{1, n}$ . Задача заключается в поиске функции  $\psi(x)$ , доставляющей экстремум – максимум  $\psi \in \Omega(n, y, \pi)$  – функционалу (6).

В соответствии со второй теоремой В.А. Каштанова максимум (минимум) функционала (6) достигается на множестве  $\Omega^*(n, y, A)$  ступенчатых функций распределения, имеющих не более одного скачка в каждом из полуинтервалов:

$$[y_i, y_{i+1}]: \min_{\Psi \in \Omega(n, y, A)} j(\Psi) = \min_{\Psi \in \Omega^*(n, y, A)} j(\Psi); \quad \max_{\Psi \in \Omega(n, y, A)} j(\Psi) = \max_{\Psi \in \Omega^*(n, y, A)} j(\Psi).$$

Оказывается, что экстремум  $j(\Psi)$  достигается на функции  $G(x)$ , имеющей единственный скачок в точке  $\tau > 0$  и являющейся вырожденной функцией распределения. Но это верно тогда, когда полностью известны соответствующие характеристики диагностики, надежности и ремонтпригодности. Если некоторые (или все) эти характеристики системы управления полностью известны, тогда необходимо использовать минимаксный подход, при котором определяется периодичность контроля, обеспечивающая гарантированную безопасность.

В момент начала эксплуатации ( $t=0$ ) системы управления планируется проведение предупредительного восстановления через время  $\eta$ , распределенное в соответствии с функцией  $G(x)$ . Если к этому времени  $\xi > \eta$  (система не отказала), то проводится предупредительное восстановление в течение времени  $T_{\text{ПВ}}$  (среднее), в противном случае  $\xi \leq \eta$  (система отказала) до истечения времени  $\eta$ , и в момент  $t=\eta$  проводится аварийное восстановление, на которое затрачивается среднее время  $T_{\text{АВ}}$ . После окончания любого вида восстановления процесс технического обслуживания системы управления полностью повторяется.

Рассмотрим оптимизацию плана контроля диагностики и восстановления (обслуживание) по коэффициенту готовности  $K_r$  системы, который есть доля времени пребывания системы в работоспособном состоянии. Поэтому из множества состояний  $E$  следует выделить подмножество работоспособных состояний  $\dot{E} (\dot{E} \subset E)$  и коэффициенты  $C_i$  трактовать не как доход в состоянии  $E_p$ , а положить их равным либо 1, либо 0 (чистое время пребывания системы в работоспособном состоянии), а функцию  $A(x, y)$  определить как среднее время, проведенное системой в работоспособном состоянии  $\dot{E}$  на периоде регенерации при условии осуществления события  $\{\xi=y, \eta=x\}$ .

Это означает, что если  $\dot{E} = \{E_{i_1}, E_{i_2}, \dots, E_{i_k}\}$ , то  $C_i=1$  при  $i=i_s$  и  $C_i=0$  при  $i \neq i_s$ , где  $s=1, K$ .

Так как в нашем случае только  $E_0$  и  $E_1$  означают состояние работоспособности системы, то при рассмотрении в качестве показателя оптимизации коэффициента готовности их можно объединить и представить так:  $E_0 \cup E_1$ . И момент перехода процесса  $x(t)$  в объединенное состояние  $E_0 \cup E_1$  будет моментом регенерации. В данном случае

$$A(x, y) = \min(x, y) = \begin{cases} x, & x < y, \\ y, & x > y. \end{cases}$$

Функция  $B(x, y)$  является средней длительностью периода регенерации, то есть

$$B(x, y) = \begin{cases} x + T_{ПВ}, & x < y, \\ y + T_{АВ}, & x > y. \end{cases}$$

Пусть

$$D(x, y) = B(x, y) - F(x, y) = \begin{cases} x - y + T_{АВ}, & y < x, \\ T_{ПП}, & y \geq x, \end{cases}$$

тогда

$$K_r(G, F) = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} A(x, y) dG(x) dF(y)}{\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} B(x, y) dG(x) dF(y)} = \left[ 1 + \frac{\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} D(x, y) dG(x) dF(y)}{\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} A(x, y) dG(x) dF(y)} \right]^{-1}. \quad (7)$$

Ясно, что функционал  $K_r(G, F)$  является дробно-линейным по  $G$  и  $F$ . Определим его минимум по  $F(x) \in \Omega(n, y, \pi)$ . Заметим, что функции  $A(x, y)$  и  $D(x, y)$  являются монотонными. Из следствия второй теоремы В.А Каштанова о том, что минимум функционала (7) по  $F$  при фиксировании  $G$  достигается на множестве ступенчатых функций  $\Omega^*(n, y, \underline{\pi})$ , имеющих на полуинтервале  $[y_i, y_{i+1}]$  один скачок величиной  $\Delta\pi = \pi_{i+1} - \pi_i$ , можно представить (7) как

$$\min_{F \in \Omega(n, y, \underline{\pi})} K_r(G, F) = \min_{F \in \Omega(n, y, \underline{\pi})} K_r(F) = \min_{\substack{i \in (n, y, \underline{\pi}) \\ i=0, n}} \left[ 1 + \frac{\sum_{i=0}^n \Delta\pi_i \int_{-\infty}^0 D(x, y) dG(x)}{\sum_{i=0}^n \Delta\pi_i \int_{-\infty}^0 A(x, \tau_i) dG(x)} \right]^{-1}. \quad (8)$$

Для упрощения процедуры нахождения искомого минимума функционала  $K_r(G, F)$  сделаем отступление. Будем утверждать, что в классе  $\Omega^*(n, y, \underline{\pi})$  функция  $F_1(y) \in \Omega^*$  «хуже» функции  $F_2(y) \in \Omega^*$ , если при  $y \geq 0$ ,  $F_1 \geq F_2$ . Тогда в классе  $\Omega^*(n, y, \underline{\pi})$  будет иметь место «наихудшая» функция распределения  $p^*(y)$ , имеющая скачки величины  $\Delta\pi$ , в точках  $\tau_i = y_i + 0$ . Поэтому

$$\min_{F \in \Omega(n, y, \underline{\pi})} K_r(G, F) = K_r(G^*, F^*),$$

то есть функция (8) монотонна  $F(x) \in \Omega(n, y, \underline{\pi})$  по переменной  $\tau_i$ .

Для выражения (8) при фиксированном  $x \in (0, \infty)$  функция  $D(x, y)$  – невозрастающая, а  $A(x, y)$  – неубывающая. Поэтому на основании сформулированного утверждения максимум по  $\tau_i$  знаменателя (8) или минимум (7) обеспечиваются при  $\tau_i = y_i + 0$ . Это значит, что

$$\min_{F \in \Omega(n, y, \underline{\pi})} K_r(G, F) = \frac{\int_{-\infty}^0 \left( \sum_{i=0}^n A(x, y_i + 0) \Delta\pi_i \right) dG(x)}{\int_{-\infty}^0 \left( \sum_{i=0}^n B(x, y_i + 0) \Delta\pi_i \right) dG(x)}. \quad (9)$$

Таким образом, «наихудшая» экстремальная функция

$$F^*(y) = \begin{cases} 0, & y \leq 0, \\ \pi_{i+1}, & y_i < y \leq y_{i+1}, i = 0, 1, \dots, n-1, \\ 1, & y > y_n, \end{cases}$$

не зависит от  $G(x)$ , что существенно облегчает поиск оптимальной функции  $G(x)$  и максимума выражения (9), которое является дробно-линейным функционалом по

$G(x) \subset \Omega$ . Поэтому его максимум по  $G$  на основании следствия из второй теоремы В.А. Каштанова достигается на множестве  $\Omega^*$  функций  $G(x)$  вида

$$G^*(x) = \begin{cases} 0, & x \leq \tau, \\ 1, & x > \tau. \end{cases}$$

Поэтому  $\tau$  находится из условия

$$\max_{G \in \Omega} \min_{F \in \Omega(n, y, \pi)} K_\Gamma(G, F) = \max_{G \in \Omega^*} \frac{\int_0^0 (\sum_{i=0}^n A(x, y_i + 0) \Delta \pi_i) dG(x)}{\int_{-\infty}^0 (\sum_{i=0}^n B(x, y_i + 0) \Delta \pi_i) dG(x)} = \max_{\tau \in [0, \infty]} \frac{\sum_{i=0}^n A(\tau, y_i) \Delta \pi_i}{\sum_{i=0}^n B(\tau, y_i) \Delta \pi_i}. \quad (10)$$

Из (10) с учетом функций  $A(x, y)$  и  $B(x, y)$  ясно, что функции в числителе и знаменателе (10) по  $\tau$  являются кусочно-линейными для различных интервалов изменения:

$$\tau \in [y_k, y_{k+1}], k = \overline{0, n}: \sum_{i=0}^n A(\tau, y_i) \Delta \pi_i = \sum_{i=0}^k y_i \Delta \pi_i + \tau \sum_{i=k+1}^n \Delta \pi_i, \quad (11)$$

при  $\tau \in [y_k, y_{k+1}], k = \overline{0, n}$ ,

$$\sum_{i=0}^n B(\tau, y_i) \Delta \pi_i = \sum_{i=0}^k (\tau + T_{AB}) \Delta \pi_i + \sum_{i=k+1}^n (\tau + T_{PB}) \Delta \pi_i = \tau + T_{AB} \pi_k + T_{PB} (1 - \pi_{k+1}),$$

при  $\tau \in [y_k, y_{k+1}], k = \overline{0, n}$ .

На основании вышеупомянутого следствия максимум функции (11) по  $\tau$  достигается либо в точке  $\tau = y_{k+1} + 0$  при  $\sum_{i=0}^k y_i \Delta \pi_i > T_{AB} \pi_{k+1} + T_{PB} (1 - \pi_{k+1})$ , либо в точке  $\tau = y_{k+1} - 0$ , если  $\sum_{i=0}^k y_i \Delta \pi_i \leq T_{AB} \pi_{k+1} + T_{PB} (1 - \pi_{k+1})$ . Следовательно,

$$K_\Gamma(G^*, F^*) = \max_{0 < k < n} \left\{ \max \left[ \frac{\sum_{i=0}^k y_i \Delta \tau_i + y_k (1 - \pi_{k+1})}{y_k + T_{AB} \pi_{k+1} + T_{PB} (1 - \pi_{k+1})}; \frac{\sum_{i=0}^k y_i \Delta \tau_i + y_k (1 - \pi_{k+1})}{y_{k+1} + T_{AB}^* \pi_{k+1} + T_{PB} (1 - \pi_{k+1})} \right] \right\}. \quad (12)$$

Индекс  $k_0$ , соответствующий максимуму (12), определяет оптимальную периодичность диагностирования и контроля системы управления, осуществляемую через оптимальное время  $\tau^*$ . Заметим, что в (12) запись вида  $\max(x, y)$  означает следующее. Если, например,  $x > y$ , то  $\max(x, y) = x$ , а если  $x < y$ , то  $\max(x, y) = y$ . Поэтому если

$$\frac{\sum_{i=0}^{k_0} y_i \Delta \pi_i + y_{k_0} (1 - \pi_{k_0+1})}{y_{k_0} + T_{AB} \pi_{k_0+1} + T_{PB} (1 - \pi_{k_0+1})} > \frac{\sum_{i=0}^{k_0} y_i \Delta \pi_i + y_{k_0} (1 - \pi_{k_0+1})}{y_{k_0+1} + T_{AB}^* \pi_{k_0+1} + T_{PB} (1 - \pi_{k_0+1})}, \quad (13)$$

то восстановление системы управления необходимо проводить через время  $\tau = y_{k+1} + 0$  и

$$\max_{G \in \Omega} \min_{F \in \Omega(n, y, \underline{\pi})} K_{\Gamma}(G, F) = \frac{\sum_{i=0}^{k_0} y_i \Delta \pi_i + y_{k_0} (1 - \pi_{k_0+1})}{y_{k_0} + T_{AB} \pi_{k_0+1} + T_{ПВ} (1 - \pi_{k_0+1})} .$$

Если

$$\frac{\sum_{i=0}^{k_0} y_i \Delta \pi_i + y_{k_0} (1 - \pi_{k_0+1})}{y_{k_0} + T_{AB} \pi_{k_0+1} + T_{ПВ} (1 - \pi_{k_0+1})} \leq \frac{\sum_{i=0}^{k_0} y_i \Delta \pi_i + y_{k_0} (1 - \pi_{k_0+1})}{y_{k_0+1} + T_{AB}^* \pi_{k_0+1} + T_{ПВ} (1 - \pi_{k_0+1})} ,$$

то восстановление системы управления следует проводить через время  $\tau=y_{k+1}-0$  и

$$\max_{G \in \Omega} \min_{F \in \Omega(n, y, \underline{\pi})} K_{\Gamma}(G, F) = \frac{\sum_{i=0}^{k_0} y_i \Delta \pi_i + y_{k_0+1} (1 - \pi_{k_0+1})}{y_{k_0+1} + T_{AB} \pi_{k_0+1} + T_{ПВ} (1 - \pi_{k_0+1})} .$$

## Примеры расчетов по предложенной методике

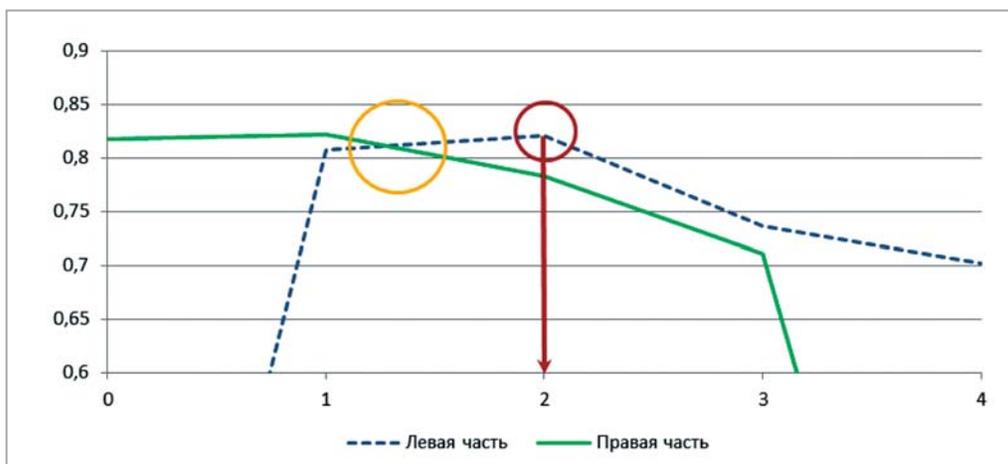
### Пример №1

Требуется определить гарантированное значение коэффициента готовности системы и период ее проверки при следующих исходных данных (рисунок):  $T_{ПВ}=1$  год;  $T_{AB}=2$  года;  $Y=(y_0=0; y_1=10; y_2=20; y_3=30; y_4=40)$ ;  $\underline{\pi}=(\pi_0=0; \pi_1=0,1; \pi_2=0,15; \pi_3=0,3; \pi_4=0,5)$ .

**Решение.** Вычислим для приведенных исходных данных значение левой и правой частей равенства (13) и результаты для различных  $k$  сведем в табл. 1.

Таблица 1

$k$	0	1	2	3	4
Левая часть (13)	0	0,807	0,821	0,736	0,702
Правая часть (13)	0,818	0,822	0,783	0,711	0



Результаты анализа исходных данных примера №1

Таким образом, планировать диагностирование системы управления [10] необходимо через  $\tau=20$  ч ( $\tau=y_{k+1}-0=20-0$ ), где гарантированное значение коэффициента готовности  $K_{\Gamma}=0,821$ .

Теперь рассмотрим оптимизацию по показателю вероятности выполнения

системой целевых функций. Этот показатель определим в том смысле, что система должна быть работоспособной в момент времени  $t$  и проработать после момента времени  $t$  безотказно время  $z$ .

Пусть множество  $\ddot{E}=\{E_{i1}, \dots, E_{im}\}$  есть множество состояний системы. Процесс  $x(t)$ , пребывание в котором означает выполнение целевого предназначения, показывает, что  $(\ddot{E} \subset \dot{E})$ . Вероятность выполнения целевого предназначения численно равна времени пребывания системы в состоянии  $\ddot{E}$ . Обозначим эту вероятность  $R(Z)$ , тогда

$$R(Z) = \frac{M[x(T)]}{T} = \frac{1}{T} \int_0^T P(x(t) = \ddot{E}) dt \quad (14)$$

– вероятность того, что в равномерно распределенном интервале  $(0, T)$  в момент  $t$  имеет место событие  $\{x(t) = \ddot{E}\}$ . Для данного случая

$$C_i = \begin{cases} 1, & t = j_s (S = \overline{1, m}), \\ 0, & t \neq j_s, \end{cases}$$

и функция  $A(x, y)$  имеет смысл среднего времени пребывания системы управления в состоянии  $\ddot{E}$  на периоде регенерации при осуществлении события  $\{\xi=y, \eta=x\}$ . Надо полагать, что для рассматриваемого случая  $\ddot{E}=E_0$  (момент регенерации процесса  $x(t)$  есть моменты перехода в состояние  $E_0$ ), поэтому  $\xi=y \geq z, \eta=x$ . Тогда

$$A_z(x, y) = \min(x, y - z) = \begin{cases} y - z, & x > y - z, \\ x, & x \leq y - z. \end{cases}$$

В данном случае  $A_z(x, y)$  трактуется как время пребывания в состоянии  $E_0$  на периоде регенерации. Числитель (14) в стационарном режиме работы системы ( $t \rightarrow \infty$ ) равен среднему времени пребывания процесса  $x(t)$  в состоянии  $E_0 (\xi > z)$ , тогда

$$\int_0^\infty \int_z^\infty A_z(x, y) \frac{dF(y)}{\partial F(z)} dG(x) = \frac{1}{\bar{F}(z)} \int_0^\infty \int_0^\infty \tilde{A}_z(x, y) dF(y) dG(x),$$

где  $\bar{F}(z) = 1 - F(z)$ ;  $\tilde{A}_z(x, y) = \min(x, \max(0, y - z))$ .

Знаменатель функционала  $R(Z) = \lim_{t \rightarrow \infty} R(t, z)$  равен

$$\int_0^\infty \int_z^\infty B(x, y) \frac{dF(y)}{\partial F(z)} dG(x) = \frac{1}{\bar{F}(z)} \int_0^\infty \int_0^\infty b(x, y) dF(y) dG(x),$$

где  $b(x, y) = \begin{cases} x + T_{AB}, & x \geq y, \\ x + T_{PB}, & x < y. \end{cases}$

Таким образом,

$$R(Z, G, F) = \frac{\int_0^\infty \int_0^\infty \tilde{A}_z(x, y) dF(y) dG(x)}{1 + \int_0^\infty \int_0^\infty b(x, y) dF(y) dG(x)}. \quad (15)$$

Пусть  $D(x, y) = b(x, y) - \tilde{A}_z(x, y)$ , тогда (15) можно записать как

$$R(Z, G, F) = \frac{\int_0^\infty \int_0^\infty \tilde{A}_z(x, y) dF(y) dG(x)}{\int_0^\infty \int_0^\infty \tilde{A}_0(x, y) dF(y) dG(x)} \cdot \frac{\int_0^\infty \int_0^\infty \tilde{A}_0(x, y) dF(y) dG(x)}{\int_0^\infty \int_0^\infty \tilde{A}_0(x, y) dF(y) dG(x)}. \quad (16)$$

При анализе (16) мы повторим прежние методические рассуждения: этот функционал является дробно-линейным, потому при фиксированной функции  $G(x)$  минимум этого функционала по  $F(y) \in \Omega(n, y, \underline{\pi})$  обеспечивается на множестве ступенчатых функций распределения  $\Omega^*(n, y, \underline{\pi})$ , то есть

$$\max_{F \in \Omega(n, y, \underline{\pi})} R(Z, G, F) = R(Z, G, \bar{F}^*) = \frac{\sum_{i=0}^n \Delta \pi_i \int_0^{\infty} \tilde{A}_z(x, y_i + 0) dG(x)}{\sum_{i=0}^n \Delta \pi_i \int_0^{\infty} b(x, y_i + 0) dG(x)}, \quad (17)$$

где

$$F^*(y) = \begin{cases} 0, & y \leq 0, \\ \pi_{i+1}, & y_{i-1} < y_i \leq y_{i+1}, i = 0, 1, \dots, n-1, \\ 1, & y > y_n. \end{cases}$$

Исследуем (17) на максимум по  $G \in \Omega$ . Из записи видно, что это выражение является дробно-линейным функционалом, и его экстремум по  $G(x)$  достигается на вырожденной функции распределения  $G^*(x)$ . Поэтому

$$\max_{G \in \Omega} R(Z, G, F^*) = \max_{G \in \Omega} R(Z, G^*, F^*) = \max_{\tau > 0} \frac{\sum_{i=0}^n \Delta \pi_i \tilde{A}_z(\tau, y_i + 0)}{\sum_{i=0}^n \Delta \pi_i b(\tau, y_i + 0)}. \quad (18)$$

Ясно, что числитель и знаменатель (18) – кусочно-линейные функции по  $\tau$ , в которых функция (18) дробно-линейная, точки  $y_i$  или  $(y_k - z)$  – концы полуинтервалов. В одной из этих точек обеспечивается экстремум функции (18) при  $\tau = y_k$ . Эта функция непрерывна, а при  $\tau = y_i$  имеет разрыв. Окончательно запишем

$$\max_{G \in \Omega} \min_{F \in \Omega(n, y, \underline{\pi})} R(Z, G, F) = \max_{\substack{\tau = y_i \pm 0, y_{k+1} - z, \\ i=0, n, k=k_0+1, n}} \frac{\sum_{i=0}^n \Delta \pi_i \tilde{A}_z(\tau, y_i)}{\sum_{i=0}^n \Delta \pi_i b(\tau, y_i)}. \quad (19)$$

В точке максимума функция (19)  $\tau = \tau_0$  ( $\tau_0$  – искомый оптимальный период диагностирования системы управления).

**Пример №2**

Пусть по прежнему  $T_{ПВ}=1$  год;  $T_{АВ}=2$  года;  $Y=(y_0=0; y_1=10; y_2=20; y_3=30; y_4=40)$ ;  $\underline{\pi}=(\pi_0=0; \pi_1=0,1; \pi_2=0,15; \pi_3=0,3; \pi_4=0,5)$ ;  $Z = 25$  лет.

Значения (19) в точке  $y_k \pm 0, y_k - z$  даны в табл. 2.

Таблица 2

$y_k \leq \pm 0$	5-0	5+0	10-0	10+0	20+0	20-0
Значения (19)	0,70	0,57	0,54	0,53	0,52	0,40

Из таблицы видно, что максимум (19) вероятности  $R(Z, G, F)$ , равной 0,7, обеспечивается при  $y=(5-0)$ , то есть  $\tau=5$ ч (при  $k_0=2$ ).

## Литература

1. Васильев Ю.Н., Гриценко А.И., Чириков К.Ю. Заправка транспорта. – М.: Недра, 1995. ISBN 5-247-03535-6.
2. ОАО «КАМАЗ». Основная информация о газовых автомобилях. <http://www.kamaz.ru/ru/vehicle/gas>, дата просмотра 12 сентября 2012.
3. Евстифеев А.А. Обеспечение муниципальных автобусных парков мегаполиса газовым моторным топливом // Газовая промышленность. – 2014. – 2(702). – С. 86-89.
4. Евстифеев А.А. Математическая модель анализа потребности в КПП и СПГ на вновь газифицируемых территориях // Газовая промышленность. – 2013. – № 01 (685). – С. 87-88.
5. Балашов М.Л., Евстифеев А.А. Методика определения границы экономической эффективности перехода на природный газ в качестве моторного топлива // Транспорт на альтернативном топливе. – 2013. – 2 (32). – С. 4-5.
6. Люгай С.В., Евстифеев А.А., Тимофеев В.В., Балашов М.Л., Дрыгина Ю.Н. Сравнение экономических показателей при использовании жидкого моторного и газомоторного топлив // Транспорт на альтернативном топливе. – 2013. – № 5 (35). – С. 14-19.
7. Евстифеев А.А. Программный комплекс для анализа систем теплоснабжения предприятий ОАО «Газпром» // Газовая промышленность. – 2004. – № 5. – С. 23.
8. Евстифеев А.А., Заева М.А., Хетагуров Я.А. Применение математического моделирования при испытаниях и отработке сложных технических систем // Вестник Национального исследовательского ядерного университета МИФИ. – 2013. – № 1. – Т. 2. – С. 115.
9. Барзилович Е.Ю., Каштанов В.А. Некоторые математические вопросы теории обслуживания сложных систем. – М.: Советское радио, 1997. – 272 с.
10. Evstifeev A., Zaeva M., Krasnikova S., Shuvalov V. Multi-criteria equipment control in complex engineering systems. // Asian Journal of Applied Sciences. – 2015. – № 1. – Т.8. – С. 86-91.

### Международная конференция и выставка СПГ-2022 Пройдет в Санкт-Петербурге

Международная конференция и выставка по СПГ (LNG International Conference & Exhibition) в 2022 г. пройдет в Санкт-Петербурге. Об этом было объявлено в ходе церемонии открытия Международной конференции и выставки по СПГ в г. Перт (Австралия), которые состоялись в марте этого года. Это крупнейшее мероприятие в области СПГ, сопоставимое по масштабу с Мировым газовым конгрессом.

«Россия играет на международном рынке СПГ все более важную роль. Поэтому вполне закономерно, что эта крупнейшая международная отраслевая конференция пройдет в Санкт-Петербурге. Мы убеждены, что СПГ-проекты, которые сейчас реализует Группа «Газпром», внесут серьезный вклад в развитие мировой торговли этим товаром», – сказал заместитель председателя правления ПАО «Газпром» Александр Медведев.

Заявка на проведение Международной конференции и выставки по СПГ в 2022 г. в Санкт-Петербурге была подана представителем Российской Федерации – ПАО «Газпром».

Международная конференция и выставка по СПГ проводятся раз в три года поочередно в странах-производителях и странах-потребителях. Следующая конференция пройдет в Шанхае 1-5 апреля 2019 г.

Управление информации ПАО «Газпром»



Завод по производству СПГ на Сахалине



## Памяти Алексея Сергеевича Хачияна

20 марта 2016 г. не стало Алексея Сергеевича Хачияна – ведущего ученого в области двигателей внутреннего сгорания, широко известного как в нашей стране, так и за рубежом, профессора кафедры «Теплотехника и автотракторные двигатели» и одного из старейших преподавателей МАДИ.

А.С. Хачиян родился 11 сентября 1928 г. в семье сельских учителей в селе Гадрут Нагорно-Карабахской автономной области Азербайджанской ССР. В 1950 г. с отличием закончил Азербайджанский индустриальный институт им. Азизбекова (г. Баку). И в этом же году поступил в аспирантуру МАДИ. Руководителем ему был назначен профессор МАДИ Н.Р. Брилинг – известный советский ученый в области двигателестроения, член-корреспондент АН СССР.

Во время учебы в аспирантуре и после ее окончания (с 1952 по 1959 г.) работал в Отдельном конструкторском бюро НАМИ Министерства машиностроения СССР, где под руководством Н.Р. Брилинга принимал активное участие в создании семейства быстроходных дизелей ДБ, которые на несколько десятков лет опередили западные разработки.

В 1955 г. успешно защитил кандидатскую диссертацию на тему «Методика расчета и исследование впрыска топлива насос-форсунками при упругом приводе».

В 1959 г. Алексей Сергеевич был приглашен на работу во ВНИИГАЗ Газпрома СССР, где возглавил работы по созданию на базе дизель-генератора полностью автоматизированного двигатель-генераторного агрегата с газовым двигателем мощностью 80 л.с., который был принят в массовое производство.

В 1963 г. А.С. Хачиян поступил на работу в МАДИ, где вел ряд курсов лекций, руководил аспирантами и дипломниками. Он также возглавлял научные группы, занимающиеся работами по широкому кругу вопросов, относящихся к дизелям: процессами впрыскивания и распыливания дизельного топлива, смесеобразования, тепловыделения, регулирования частоты вращения, наддува и тепловой напряженности деталей дизеля.



Начиная с 1986 г., не оставляя дизельной тематики, А.С. Хачиян возглавил группу исследователей, занимавшихся вопросами создания двигателей транспортного назначения, питаемых природным газом. Был разработан ряд моделей газовых двигателей с искровой системой зажигания для городских автобусов. Часть двигателей прошла успешные эксплуатационные испытания и применялась на автобусах, работающих на регулярных городских маршрутах.

В последние годы Алексей Сергеевич руководил работами по созданию инновационного газодизеля, использующего минимизированную порцию дизельного топлива для воспламенения природного газа.

Профессор Хачиян возглавлял ряд научно-исследовательских работ по государственным постановлениям правительства СССР и научно-техническим программам РФ. Много раз представлял МАДИ на научно-технических конференциях в нашей стране и за рубежом. Неоднократно выезжал в зарубежные командировки, из них трижды – в длительные командировки в Индию по двухстороннему соглашению. Также Алексей Сергеевич работал как эксперт ЮНЕСКО и ЮНИДО.

А.С. Хачияном лично и в соавторстве выпущено семь монографий, шесть учебников для вузов, большое количество книг, учебных и методических пособий, получено 22 патента, авторских свидетельств и свидетельств о полезных моделях. Всего имеется более 180 публикаций.

За более чем пятидесятилетнюю деятельность в МАДИ Алексей Сергеевич Хачиян создал научную школу, подготовив огромное число студентов, стажеров и выпустив под своим руководством почти два десятка отечественных и зарубежных аспирантов, из которых многие стали ведущими работниками предприятий, научно-исследовательских организаций и высших учебных заведений в нашей стране и по всему миру.

А.С. Хачиян был неоднократно отмечен правительственными наградами, в том числе медалью «За трудовую доблесть», он удостоен званий «Почетный работник высшего профессионального образования» и «Лауреат премии Правительства Российской Федерации в области науки и техники».

Алексей Сергеевич Хачиян оставил у коллег по работе и друзей воспоминания о себе как о высокопрофессиональном, широко эрудированном, принципиальном, при этом очень добром и отзывчивом человеке, всегда готовом прийти на помощь. Он не мыслил себя без любимой работы и занимался ею до последнего дня. Был настоящим патриотом своей страны и МАДИ.

Вместе со своей женой создал большую и дружную семью: двое сыновей, трое внуков и правнучка.

Светлая память об Алексее Сергеевиче Хачияне навсегда останется в сердцах его коллег, друзей и учеников.

**Коллективы кафедр МАДИ:  
«Теплотехника и автотракторные двигатели»,  
«Детали машин и теория механизмов»**



# Мы ждем перемен!

64

На российском рынке газовых баллонов сложилась не самая благоприятная ситуация. Значительная часть действующего парка устарела и не отвечает требованиям безопасности, что порой приводит к плачевным последствиям. По оценкам экспертов, выводу из эксплуатации подлежит не менее 25 % емкостей. Однако, принимая во внимание новые требования Ростехнадзора, которые вступили в силу в 2014 г., остается непонятным, какие баллоны должны подвергнуться выбраковке.

Международная конференция «Газовые баллоны и вентили 2016», организованная компанией CREON Energy, состоялась в Москве 2 марта. Партнером мероприятия выступила компания «Газпром газэнергосеть». Конференция прошла при поддержке Российского газового общества.

В приветственном слове **Сан-джар Тургунов**, генеральный директор CREON Energy, отметил: «На наших конференциях по промышленным газам, сжиженным углеводородным газам, гелию, водороду мы из года в год обсуждаем их хранение и транспортировку. И каждый раз приходим к тому, что парк баллонов устарел, а законодательство несовершенно. Постепенно стало понятно – тему газовых баллонов нужно обсуждать более детально и конкретно, а именно – на отдельном мероприятии, которое мы и решили организовать. Наша задача – не просто обсудить состояние рынка газовых баллонов, а понять, как отрасли развиваться дальше».

В октябре 2015 г. Орский машиностроительный завод анонсировал выпуск баллона вместимостью 50 л с давлением 20 МПа из легированной стали. Благодаря современному оборудованию российскому производителю удалось получить уникальный диаметр 229 мм, что

обеспечивает повышение вместимости баллона с 40 до 50 л. При этом сохраняется эргономичная высота 1500 мм. Рабочее давление 20 МПа позволяет заправлять в 1,5 раза больше газа. Применяемая сталь 34CrMo4, признанная для баллонов оптимальной во всем мире, отличается хорошей коррозионной стойкостью в среде промышленных газов, и новый баллон имеет срок службы 40 лет. Об этом участникам конференции сообщил **Александр Корниенко**, главный специалист управления по реализации газовых баллонов Трубной металлургической компании (ТМК), куда с 2007 г. входит Орский машиностроительный завод.

В 2007-2009 гг. на предприятии был реализован инвестиционный проект по реконструкции производства газовых баллонов. После модернизации к сортаменту баллонов автомобильной промышленности и пожаротушения добавлена линейка емкостей для технических газов. Проектная мощность целой линии составляет до 120 тыс. ед. в год. Газовые баллоны на предприятии изготавливают методом горячей закатки роликом из собственной трубной заготовки, поставляемой заводами ТМК.

**Сергей Шлевис**, начальник цеха по производству баллонов Первоуральского новотрубного завода, отметил, что потребление новых баллонов в России по сравнению с советскими временами заметно снизилось. Если в начале 1990-х гг. производство только 40-литровых баллонов достигало 550 тыс. ед. в год, то на данный момент едва составляет 50 тыс. Основной причиной таких показателей является ввоз баллонов из Европы (как новых, так и б/у) и стран СНГ (еще советского производства). По словам докладчика, проблема также состоит в том, что госкорпорации недостаточно

тесно взаимодействуют с производителями баллонов в части реализации государственных программ импортозамещения. С. Шлевис считает, что для устранения данного препятствия необходимо запретить импорт баллонов в качестве одной из ответных мер на санкции против РФ.

Первоуральский новотрубный завод (ПНТЗ) является крупнейшим в России производителем стальных труб и газовых баллонов. Его доля на рынке стальных труб в РФ составляет около 20 %. Производственные мощности – 4 млн т. Предприятие выпускает баллоны по трем ГОСТам и 50 техническим условиям с рабочим давлением до 39,2 МПа. При изготовлении баллонов используются углеродистые, легированные, коррозионностойкие марки стали и титановые сплавы. Баллоны ПНТЗ широко используются практически во всех отраслях экономики РФ.

По словам **Елены Довгаль**, исполнительного директора компании Hexagon Composites Rus, на данный момент в России в обращении находится более 30 млн газовых баллонов СУГ бытового применения. Из них более 60 % составляют уже отслужившие свой срок газовые баллоны. Это, наряду с переполнением баллонов при заправке и неправильной эксплуатацией, приводит к большому числу несчастных случаев. Так, в 2014 г. произошло 75 взрывов, в которых погибло более 40 человек.

Ежегодно в нашей стране продается 500-600 тыс. новых баллонов для СУГ (70 % – для пополнения обменных фондов газовых компаний, 30 % – в розницу). В теории существует 4 типа баллонов, по факту же, говорит Е. Довгаль, на рынке используются лишь два: стальные и композитные (рис. 1). Последние, несмотря на более высокую стоимость, получают все большее распространение. Их преимущества неоспоримы, так как полимерно-композитные баллоны обладают уникальными свойствами, среди которых легкость (почти в 2 раза легче

металлического), взрывобезопасность, прозрачность (можно контролировать уровень газа), антикоррозийность, удобство в эксплуатации. Кроме того, существует возможность их вторичной переработки.

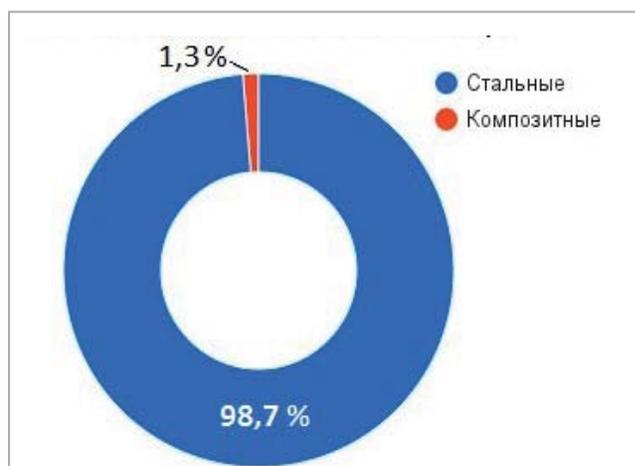


Рис. 1. Бытовые газовые баллоны в мире

Об использовании аппаратуры, работающей с различными газовыми средами, сообщил начальник газовой службы НИИ скорой помощи им. Н.В. Склифосовского **Алексей Козырев**.

В химико-токсикологическом центре используются баллоны емкостью 40 л с лабораторными газами, такими как аргон и гелий высокой чистоты, для проведения высокоточных анализов на хроматографах различного типа. В институт поставляется новое оборудование, ориентированное на иностранные стандарты подключения источников газовых сред. Баллоны, которые идут в комплекте с данной аппаратурой, не сертифицированы и не регламентированы в соответствии с требованиями российского законодательства. В дальнейшем возникает проблема с заправкой таких баллонов, так как ввиду отсутствия сертификатов и паспортов поставщики отказываются заполнять их. Также (с точки зрения медицинских работников) баллоны должны легко подключаться, быть устойчивыми к опрокидыванию, легко транспортироваться

и не требовать от персонала специальных навыков эксплуатации. На сегодняшний момент таким требованиям соответствуют баллоны с интегрированным вентилем западного производства. Стандартные баллоны, произведенные на территории РФ, уже устарели, и их тяжело подключать к аппаратам ИВЛ и другому оборудованию.

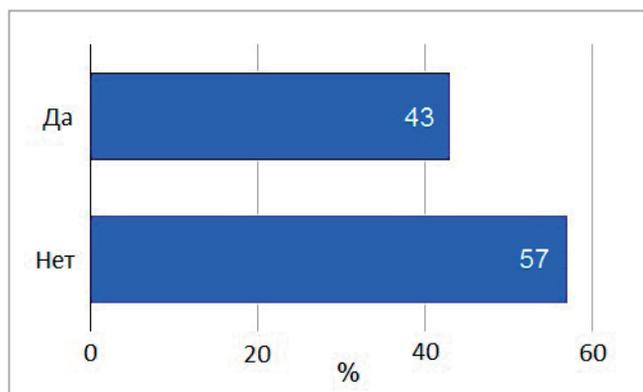
Среди актуальных проблем, касающихся сегмента газовых баллонов, докладчик выделил большое число недобросовестных поставщиков. Помимо этого, А.Козырев отметил существенное снижение контроля со стороны органов Ростехнадзора, что связано с изменением закона в области промышленной безопасности. Раньше инспекторы контролировали используемый парк баллонов и поставщиков, предупреждая тем самым возникновение инцидентов и аварий у потребителей. В настоящее время последним приходится брать ситуацию в свои руки. По мнению докладчика, заказчикам выгоден один крупный поставщик, обладающий лабораториями, испытательным оборудованием и большим производством современных баллонов, которые отвечают федеральным нормам и правилам.

Аварийные ситуации у потребителей баллонов чаще всего происходят из-за неправильной эксплуатации предыдущими владельцами. Однако установить, кто

пользовался емкостями раньше, не представляется возможным (рис. 2).

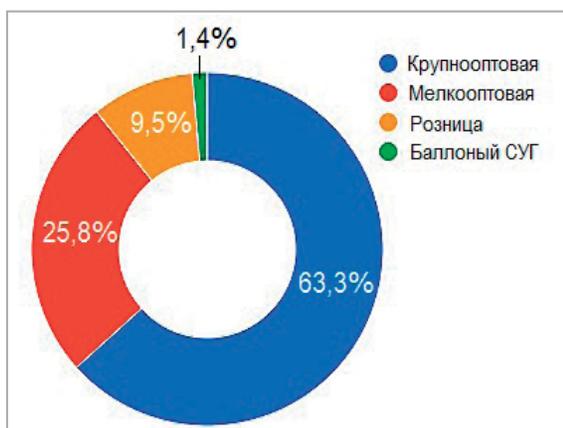
В рамках конференции состоялся конструктивный и принципиальный разговор о техническом регулировании в области сосудов высокого давления. **Александр Раменский**, президент Национальной ассоциации водородной энергетики (НАВЭ), член общественного совета при Федеральном агентстве по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт), отметил: «Отечественные предприятия, опираясь на действующую в настоящее время систему технического регулирования, могут выступить инициаторами имплементации международных стандартов в национальную нормативно-техническую базу». На его взгляд, в нынешних условиях предприятия, производящие продукцию, имеют возможность в рамках соответствующих технических комитетов Росстандарта, опираясь на собственные ресурсы, организовать работу по гармонизации национальных и международных стандартов в области своей специализации.

О преимуществах композиционных баллонов четвертого типа рассказала **Дарья Берндт**, директор по продажам в Центральной и Восточной Европе компании xperion Energy & Environment. Среди них можно выделить высокую прочность и надежность, малый вес (на 70 % легче стальных баллонов), герметичность, срок эксплуатации от 20 лет и дольше. Данные баллоны успешно прошли различные испытания по ГОСТ Р ИСО 11439–2010. К примеру, по результатам теста на «утечку до разрушения» было установлено, что емкости выдерживают более 100 тыс. циклов без протечки и взрыва, а также не взрываются, даже если дают утечку. Сферой применения таких баллонов является автомобильная промышленность. Также баллоны четвертого типа монтируются в модули-контейнеры для перевозки газов (КПГ, водород, гелий и т.д.).



**Рис. 2.** Ответы на вопрос «Знаете ли вы, где и кем эксплуатировались баллоны до того, как попали к вам?»

В 2015 г. доля баллонного СУГ в общем объеме реализации АО «Газпром газэнергосеть» составила 1,38 % или 17,2 тыс. т, из которых 12,6 тыс. т (73 %) приходится на баллонный балансовый СУГ. Компания использует практически все каналы сбыта данной продукции: крупнооптовая реализация составляет 63,3 % (железнодорожный транспорт), мелкооптовая – 25,8 %, собственная розничная сеть – 9,5 %, реализация СУГ в баллонах – 1,4 % (рис. 3). Такую информацию участникам конференции представил **Сергей Степанов**, заместитель начальника управления реализации газа и продуктов нефтехимии компании.



**Рис. 3.** Объем реализации СУГ по каналам сбыта АО «Газпром газэнергосеть»

При этом деятельность по обеспечению населения газом для бытовых нужд является стабильно убыточной: за 2013-2015 гг. общий размер убытка составил 36,2 млн руб. Для этого есть целый ряд причин: сокращение объема потребления баллонного СУГ при сохранении инфраструктуры ГРО (затраты компаний на обслуживание газонаполнительных станций и пунктов налива газа на одну тонну газа не уменьшаются, а растут); недобросовестная конкуренция со стороны частных компаний, пренебрегающих требованиями Ростехнадзора при обслуживании инфраструктуры; недостаточный уровень регулируемых цен на СУГ.

Тем не менее группа компаний «Газпром газэнергосеть» продолжает обеспечивать население баллонным газом, учитывая социальную значимость данного продукта.

В соответствии с недавно принятыми требованиями Ростехнадзора баллоны, выпущенные до 2014 г. по ТУ, имеют срок службы 20 лет, баллоны по ГОСТу – 40 лет, если другой срок службы не установлен производителем. Таким образом, около 20 % существующего баллонного парка России ежегодно подлежит замене. И в этой связи ключевым становится вопрос – а за чей счет должно происходить обновление? Ведь стоимость замены всех старых баллонов на территории РФ по экспертным оценкам может составить порядка 7 млрд руб. В регионах присутствия «Газпром газэнергосеть» ежегодной замене подлежат около 160 тыс. баллонов (около 180 млн руб.).

С.Степанов озвучил три возможных пути решения проблемы обновления баллонного парка. Первый – обновление за счет потребителей (то есть пользователи самостоятельно приобретают новые баллоны). Вторым является включение затрат на замену баллонов уполномоченных компаний в розничную цену СУГ. И третий – обновление баллонного парка за счет дотаций из региональных бюджетов.

По мнению специалистов, если данные затраты и в дальнейшем будут перекладываться на уполномоченные компании, ответственные ГРО, работающие в соответствии со всеми нормативными документами, будут уходить из сферы обеспечения населения баллонным газом.

Более 90 % парка баллонов СУГ в России составляют стальные баллоны, изготовленные по ГОСТ 15860–84. При правильном использовании такие емкости могут прослужить от 20 до 40 лет. Проблема безопасной эксплуатации кроется в устаревшей запорной арматуре,

которая не соответствует элементарным нормам безопасности. **Андрей Вычужанин**, генеральный директор компании «Газовый вектор», считает, что в данном случае нужно обратиться к опыту США. С 1998 г. там на законодательном уровне запрещена эксплуатация бытовых газовых баллонов без запорно-предохранительных устройств с отсечным механизмом. По мнению специалиста, применение в России подобных безопасных запорных устройств позволит значительно снизить число происшествий с газовыми баллонами и увеличить объем реализации газа для населения на 25-30 %.

Внедрение на рынке РФ безопасных запорных устройств, предотвращающих переполнение баллонов при заправке, позволило бы решить ряд важных системных задач, среди которых следующие: обеспечение населения газом в труднодоступных и удаленных местах; максимальное приближение конечных потребителей к имеющейся инфраструктуре по реализации СУГ (ближайшая к потребителю АГЗС); повышение уровня безопасности при использовании ГБО с СУГ; снижение расходов бюджета на устранение последствий чрезвычайных ситуаций при эксплуатации газобаллонного оборудования; вывод из тени и легализация розничного рынка СУГ. Решение этих вопросов приведет к росту реализации СУГ и, соответственно, к пополнению бюджета за счет увеличения налоговых поступлений и др.

В ближайшие годы в России потребуется вывести из оборота несколько миллионов баллонов и заменить их на новые. Толчком к этому стало вступление в силу приказа Ростехнадзора № 116. **Андрей Сульдин**, директор ООО «ВТК», считает, что это, а также падение курса рубля и широкое использование транспорта на ГМТ позволят не только увеличить объем производства в РФ, но и перейти на современные технологии изготовления баллонов. У производителей техгазов будет поэтапно меняться парк балло-

нов, развитие получат on-site-проекты. По данным докладчика, только для КПП до 2020 г. потребуется произвести около 180 тыс. баллонов.

В конце января текущего года состоялось заседание секции № 4 НТС Ростехнадзора, на котором были рассмотрены предложения по внесению изменений в ФНП ОРПД. В обсуждении вопросов в части газовых баллонов приняли участие представитель лаборатории баллонов РосНИТИ и члены рабочей группы по газовым баллонам Ассоциации производителей промышленных и медицинских газов. **Алексей Ушков**, заведующий лабораторией баллонов РосНИТИ, руководитель подкомитета «Баллоны» ТК 357, рассказал о том, какие предложения от лаборатории были сделаны на заседании по корректировке ФНП ОРПД.

Техническое освидетельствование (ТО) баллонов должно проводиться в соответствии с требованиями ФНП ОРПД согласно производственной инструкции (утверждается руководителем организации, занимающейся данным видом деятельности), которая разрабатывается на основе методики ТО, утвержденной разработчиком конструкции. Срок службы всех видов газовых баллонов определяется разработчиком конструкции в соответствии с национальным (межгосударственный) стандартом или нормативно-технической документацией.

О техническом регулировании в области использования водородных автомобилей рассказал **Александр Раменский**. Он подчеркнул, что в настоящее время в Японии и Корее началось серийное производство водородных электромобилей с энергоустановками на топливных элементах. Заправка водородом таких транспортных средств осуществляется при давлении до 70 МПа. В бортовых системах хранения водорода на автомобилях используются облегченные современные баллоны, обеспечивающие высокие требования безопасности в процессе всего периода их эксплуатации.

Технический комитет Росстандарта «Водородные технологии» (ТК29) в течение 10 лет проводит работы, связанные с гармонизацией национальной и международной систем стандартизации в области водородных технологий и топливных элементов, в том числе применительно к водородным транспортным средствам, а также к инфраструктуре, необходимой для их заправки топливом, технического обслуживания и ремонта. Разработано более 20 национальных стандартов, идентичных международным стандартам ИСО и МЭК. Среди них: ГОСТ Р 55226–2012 («Водород газообразный. Заправочные станции»); ГОСТ Р 55891–2013/ISO/TS 15869:2009 («Водород газообразный и водородные смеси. Бортовые системы хранения топлива для транспортных средств»); ГОСТ Р ИСО 14687-1–2012 («Топливо водородное. Технические условия на продукт», в двух частях); ГОСТ Р ИСО 13985–2013 («Жидкий водород. Топливные баки для наземного транспорта») и др. Предложенная НАВЭ техническая политика, направленная на имплементацию международных стандартов в области водородных технологий и топливных элементов в национальную

систему стандартизации, позволит в ближайшее время создать условия для внедрения на российском рынке инновационных водородных технологий. Это возможно не только в области использования транспортных средств, но и применительно к автономным и аварийным энергоустановкам на топливных элементах, оснащенных эффективными и безопасными системами хранения водорода на основе сосудов высокого давления.

Подводя итоги конференции, **Сан-джар Тургунов** отметил: «Текущий беспорядок на рынке газовых баллонов не устраивает добросовестных производителей и поставщиков как газа, так и оборудования, но крайне выгоден проверяющим органам и недобросовестным компаниям, которые пытаются ловить рыбу в мутной воде. Из этой ситуации видятся два выхода. Первый из них заключается в том, что крупный холдинг возьмет бразды правления в свои руки и наведет порядок в существующей нормативной базе, а также отладит экономику процесса. Второй вариант развития событий более печальный – государство обратит внимание на проблему и начнет ее решать только после трагического форс-мажора».

## Требования по подготовке статей к опубликованию в журнале

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

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

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

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

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

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

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

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

## Рынок бензинов как отражение российской экономики

70

Состояние рынка бензинов в РФ можно охарактеризовать как стабильное. Спрос достиг своего максимума, производственные мощности тоже загружены почти полностью. Никакие изменения законодательства или конъюнктуры – цены, акцизы, ремонты, новые стандарты – не способны серьезно поколебать это равновесие.

4 апреля компания CREON Energy провела Восьмую международную конференцию «Бензины 2016». Мероприятие прошло при поддержке «СПбМТСБ», генеральным информационным спонсором выступил журнал «Нефть России», информационными спонсорами – журнал «Автобизнес» и агентство Russian Automotive Market Research.

В приветственном слове управляющий директор Группы CREON **Сергей Столяров** акцентировал внимание делегатов на изменениях на рынке бензинов: «С 1 апреля вырос акциз на топливо. А поскольку все мы автомобилисты, главный вопрос теперь – когда и на сколько вырастут цены на заправках. Возможны два варианта. Первый – это подорожание постепенное и в пределах инфляции. Второй, более жесткий, – скачок цен, если нефтяные компании захотят сразу компенсировать расходы на уплату акциза». Летом рынок «тряхнет» еще раз – с 1 июля страна официально переходит на топливо класса Евро-5. Насколько к этому готовы НПЗ и потребители – Сергей Столяров предложил обсудить в ходе конференции.

По итогам 2015 г. производство автомобильных бензинов в РФ составило 39,2 млн т, это на 2,3 % больше по сравнению с данными за 2014 г. Такую информацию сообщил **Константин Нижегородов**,

заместитель директора департамента углеводородного сырья CREON Energy. Из года в год в общем объеме производства растет доля бензина класса Евро-5. Если в 2012 г. она составляла всего 24 %, то в прошлом году – уже 85 %.

Докладчик отметил, что внутренняя розничная цена на бензин практически независима от колебаний курсов валют и стабильно повышается. Средняя разница между АИ-92 и АИ-95 составляет чуть более 2,5 руб./л.

Что касается структуры производства, 62 % принадлежат трем крупнейшим российским нефтяным компаниям – Роснефти, «Газпром нефть» и Лукойлу (рис. 1). На мини-НПЗ по итогам 2015 г. было произведено чуть менее 250 тыс. т бензина.

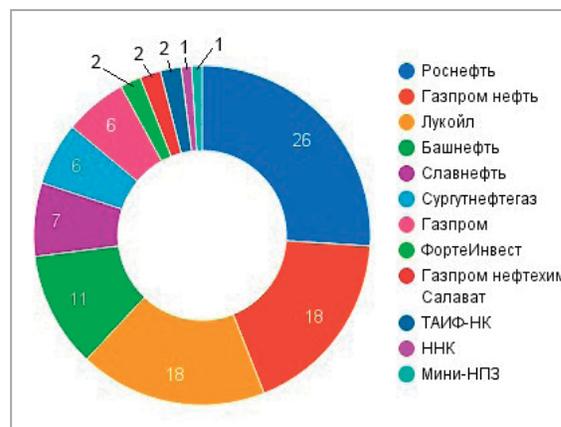


Рис. 1. Структура производства автомобильного бензина по компаниям, %

Внутреннее потребление за прошлый год показало незначительный рост (в пределах 0,5 %) и составило 34,6 млн т. Экспорт зафиксирован на уровне 4,6 млн т. Импорт бензина в Россию невелик (чуть выше 800 тыс. т), но его влияние ощутимо на региональном уровне, особенно

во время летних остановов российских НПЗ на плановый ремонт. Основным поставщиком продолжает оставаться Белоруссия (около 95 % суммарного импорта), несмотря на двукратное падение объемов торговли в 2015 г.

Топливный рынок традиционно является самым проблемным с точки зрения антимонопольного ведомства. А дополнительные факторы в виде изменений законодательства усложняют и без того непростую ситуацию. Как рассказал начальник управления контроля ТЭК ФАС России **Дмитрий Махонин**, последние месяцы биржевые котировки на бензин, а вслед за ними и внебиржевые цены, показывали рост. Причин несколько: это и небывалое (второй раз за полугодие) повышение акцизов, и рост экспорта, и замедление нефтепереработки. Соответственно объемы предложения на бирже снизились. ФАС приняла решение сбить волну роста цен, для чего провела ряд мероприятий по контролю за работой нефтяных компаний. В итоге был достигнут положительный результат практически по всем направлениям. Экспорт бензинов почти прекратился, увеличились объемы производства, накоплены запасы в объеме 1,9 млн т.

Рост биржевой цены на автомобильный бензин и ее поддержание в значительной степени связаны с увеличением продаж на вторичном рынке. Как считает Д.Махонин, уже давно назрел и требует решения вопрос о регулировании деятельности трейдеров. На «СПбМТСБ», например, сейчас 3 тыс. покупателей, из которых не все и не всегда ведут себя добросовестно. Объединение трейдеров должно сделать рынок более предсказуемым и сократить количество спекуляций.

Прокомментировал эксперт и грядущий переход страны на топливо класса Евро-5: «ФАС пока не видит предпосылок к дефициту топлива из-за введения Евро-5. Прошедшие модернизацию НПЗ вполне способны удовлетворять внутренний спрос. Проблемой остается неготовность

значительной части автопарка к переходу на бензин более высокого класса».

Сергей Столяров поинтересовался, как ФАС относится к варианту переноса уплаты акциза с нефтеперерабатывающих заводов на АЗС. Несколько дней назад руководители крупнейших российских НК обратились с такой идеей к президенту России. По мнению Дмитрия Махонина, такой перенос нецелесообразен и всерьез не рассматривается: «Попытки переложить финансовое бремя на АЗС нефтяные компании уже предпринимали и раньше, однако безуспешно. Основным противником этой схемы является Минфин, который не сможет должным образом администрировать данные выплаты».

В целом участники конференции, как показало онлайн-голосование, ожидают негативных последствий от введения акциза, а именно – резкого роста цен.

Тему обращения бензинов на бирже продолжил вице-президент «СПбМТСБ» **Антон Карпов**. Прошедший год он охарактеризовал как удачный в плане развития биржевой торговли: «Созданный Биржевой комитет, о котором упомянул Дмитрий Махонин, стал неким новым форматом взаимодействия между биржей и ее участниками. Мы приняли новую редакцию правил торговли и кардинально поменяли ряд существенных аспектов, касающихся взаимоотношений между покупателями и продавцами». Произошли изменения в категории участников «Контролеры поставки», которые раньше были освобождены от ответственности за неисполнение обязательств. Теперь ответственность для всех участников торгов стала одинаковой независимо от их статуса.

А. Карпов остановился и на ответственности покупателей за сверхнормативный простой вагонов-цистерн. Ранее из-за длинной цепочки посредников появлялось большое количество претензий, которые решались долго и трудно, часто в суде. Сейчас же расширен перечень

первичных документов, которые подтверждают, что простои возникают не по вине получателя или продавца.

Антон Карпов согласился с мнением Дмитрия Махонина о необходимости повышать дисциплину торговли на биржевом рынке: «Для участников биржевого сообщества необходимо ввести ряд критериев: как торговать, как получать доступ к рынку. Чтобы их разработать, мы проведем открытую дискуссию и до конца года, надеюсь, внедрим новую систему».

Динамика потребления бензина зависит от многих внешних факторов – стоимости нефти, изменений в законодательстве, сбытовой политики нефтяных компаний. Но состояние автопарка по-прежнему самым прямым образом влияет на спрос – и этот момент нельзя не учитывать. Как рассказал директор по развитию Russian Automotive Market Research **Александр Козлов**, на начало 2016 г. в России насчитывалось 40,9 млн легковых автомобилей. Ожидается, что к 2020 г. их число вырастет до 42,6...43,9 млн – в зависимости от скорости восстановления рынка после кризиса. Увеличится и доля иностранных брендов – с нынешних 60 до 64 %. В нашей стране, как и в США, популярны бензиновые легковые автомобили. К дизельным население традиционно относится с предубеждением, а доля газовых, гибридных и на электрической тяге и вовсе ничтожно мала.

Что касается грузовиков, их по стране сейчас ездит 3,6 млн, и в ближайшие несколько лет это число серьезно не увеличится – не более 3,9 млн к 2020 г. В этом сегменте преобладают отечественные машины, и такая тенденция в ближайшей перспективе сохранится. Отрицательным эксперт назвал тот факт, что 75 % парка – это грузовики старше 10 лет (в основном дизельные). Они не отличаются экологичностью и по нормам токсичности соответствуют классу Евро-0/Евро-1. К сожалению, до 2020 г. улучшения не

прогнозируется – число таких машин все равно будет не менее 65 % общего парка.

В сегменте автобусов, который сейчас составляет 440 тыс. ед., прироста не ожидается – максимум на 30 тыс. Связано это, по словам А.Козлова, с тем, что обновление и расширение парка происходит за счет муниципальных закупок. А они, как правило, осуществляются по минимуму и только по необходимости. Поэтому две трети российских автобусов – это машины старше 10 лет.

Сегмент легкого коммерческого транспорта насчитывает сейчас 4,4 млн ед. и к 2020 г. может вырасти до 4,9 млн. Больше половины – машины отечественного производства, по типу двигателя преобладают бензиновые модели (75 %).

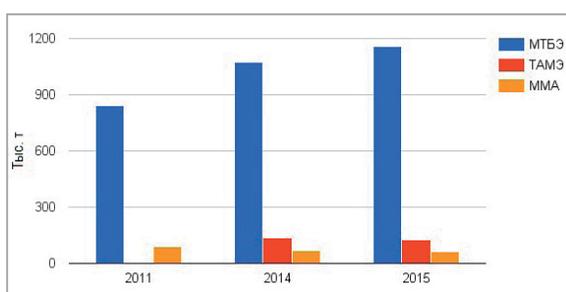
Есть ли у газомоторной техники шансы на успех в России? «Да, но только в сегменте муниципальных закупок, – говорит Александр Козлов. – Драйвером развития рынка ГМТ должно стать государство, а именно – программа субсидирования затрат на закупку техники». Всего субъекты РФ в 2016 г. планируют приобрести 1,2 тыс. ед. газомоторной техники: около тысячи автобусов и почти 200 ед. техники ЖКХ. Однако эти действия должны быть подкреплены и развитием инфраструктуры. В 2015 г. в стране были открыты 52 новые газозаправочные станции. Ожидается, что и в нынешнем году будет введено в эксплуатацию столько же. Пока по факту за первый квартал создано всего пять новых газовых заправок.

Как бы ни сопротивлялся рынок, переход страны на топливо класса 5 состоится, и произойдет это уже в ближайшее время. НПЗ заявляют о почти полной готовности обеспечить потребителей высококачественным бензином с октановым числом не ниже 95. В этой связи тема кислородсодержащих добавок становится все актуальнее. Производство каких из них вырастет, а какие останутся за бортом? Генеральный директор института «ВНИПИнефть» **Владимир Капустин**

исчерпывающе ответил на эти вопросы: «В мире применяется несколько оксигенатов, но Технический регламент ТС с июля 2016 г. оставляет нам небольшой выбор – МТБЭ или ТАМЭ. Метанола, который активно используется за рубежом, там нет, ММА тоже исключен».

По словам докладчика, лучше всего сейчас себя чувствует сегмент метил-трет-бутилового эфира (МТБЭ), однако и метил-трет-амиловый эфир (ТАМЭ) укрепляет позиции (рис. 2). Связано это прежде всего с активной позицией Роснефти, которая внедряет ТАМЭ в свое топливо. В конце 2015 г. компания ввела в эксплуатацию установку МТБЭ на одном из своих предприятий, к запуску готовы еще три. На первый план сейчас вышел ТАМЭ в связи с покупкой «Санорса», способного выпускать до 300 тыс. т/год этой добавки. В целом по итогам 2015 г. в России было произведено всего 125 тыс. т. ТАМЭ, однако, говорит Владимир Капустин, этот показатель будет расти.

Увеличатся и объемы выпуска МТБЭ. В 2015 г. они составили 1,16 млн т, дальнейший рост будет обусловлен необходимостью замещать выходящий монометиланилин (ММА).



**Рис. 2.** Производство кислородсодержащих добавок к бензинам в России

По словам эксперта, после запрета ММА на российском рынке высокооктановых добавок почти наверняка произойдут негативные изменения. Из Китая и других зарубежных стран хлынет поток веществ-заменителей. С коллегой согласен и руководитель службы продаж

N-метиланилина «Волжского оргсинтеза» **Сергей Майер**: «В 2011 г. из общего объема производства ММА 60 тыс. т отправлялось на заводы. В прошлом году – только 10 тыс. т. А с июля предприятия не получают и этого минимума. Чем его заменить – пока вопрос. Частично это будет МТБЭ, но, подчеркиваю, только частично – ресурс по МТБЭ весьма ограничен. И уж точно МТБЭ не будут использовать нечистые на руку торговцы, им это невыгодно. Для них альтернатива – это импортные добавки, которые гораздо более вредны, чем ММА».

В целом, утверждает Владимир Капустин, наиболее перспективным оксигенатом на российском рынке является МТБЭ. ТАМЭ вряд ли вытеснит его, так как уступает МТБЭ по октановому числу. Однако по совокупности параметров ТАМЭ может быть конкурентоспособен как отдельный товарный продукт.

«Для получения высокооктановых бензинов кислородсодержащие соединения применять нужно обязательно, – говорит Капустин. – Однако хотелось бы видеть настоящий рынок, на котором будут все те соединения, которые используются в мире».

Пока же требования к автомобильному бензину в мире и России существенно отличаются. Ключевые автопроизводители Европы, Японии и США разработали Всемирную топливную хартию (ВТХ), которая, если говорить упрощенно, определяет, каким должен быть оптимальный современный бензин. Заведующий отделом автомобильных и авиационных бензинов и присадок к ним ВНИИ НП **Михаил Ершов** сравнил стандарты ВТХ и техрегламента, действующего в России. Ключевое отличие – это требования ВТХ к чистоте топливной системы, которые полностью отсутствуют в нашей стране. Хартия предполагает активное использование мощных присадок, в России же оно необязательно. Есть существенная разница между ВТХ и ТР ТС в отношении

объемной доли олефинов. В Хартии это не более 10 %, в России же допускается 18 %. По мнению М.Ершова, не стоит ждать движения России вслед за западными странами – снижение требований к доле олефинов вряд ли в ближайшее время состоится.

Эксперт подробно остановился на теме концентрации металлов в бензине. По его словам, использование металло-содержащих присадок дает даже лучший эффект, чем применение ММА. ВТХ запрещает добавление подобных присадок в топливо, в России же предписание сформулировано неоднозначно. Оно звучит следующим образом: «Не допускается применение в автомобильном бензине металлосодержащих присадок (содержащих марганец, свинец и железо)». То есть запрет напрямую распространяется всего на три металла, другие же фактически разрешены. Безвредного для двигателя металла не бывает, утверждает Михаил Ершов. Сейчас все большее распространение получает литий. Он дешев, его активно предлагают на рынке в качестве антидетонационной присадки. Однако его влияние на двигатель и экологию требует изучения.

Конкуренцию МТБЭ и ТАМЭ может составить биоэтанол. Его среднее октановое число даже выше, чем у популярных оксигенатов, а рыночная стоимость – ниже. В США биоэтанол сверхпопулярен (в том числе благодаря своей экологичности), у нас же пока распространен мало. Его дальнейшее внедрение на рынок, говорит М.Ершов, должно проводить государство. Это даст целый ряд преимуществ: создание новых рабочих мест на биоэтанольных и топливных предприятиях, а также в сельском хозяйстве; вытеснение с региональных рынков фальсифицированного топлива; улучшение качества воздуха за счет использования биоэтанола.

Так каков же он, идеальный бензин? Лучшими характеристиками обладает

бензин для первой заправки – ASF (Anti Spark Fouling). Именно такой заливает в свои новые автомобили концерн «Фольксваген», рассказала Елена Цуканова, специалист лаборатории качества материалов «Фольксваген Груп Рус». Это топливо высокой степени очистки, по своим характеристикам превосходящее стандартный бензин на АЗС. Главная задача ASF – минимизировать образование нагара на свечах при частых повторных запусках. Основное отличие бензина ASF от обычного – более низкая доля ароматических соединений и бензола. Это не только снижает образование нагара, но и уменьшает отрицательное воздействие на сотрудников завода.

Естественно, Елене Цукановой задали вопрос: какая же российская компания поставляет этот волшебный бензин? Но ожидаемого чуда и сенсации не случилось – ASF закупается за рубежом. Ни один отечественный производитель не смог представить топливо для первой заправки, удовлетворяющее требованиям «Фольксваген Груп Рус». Специально же его российские компании разрабатывать не будут – потребности концерна в России в бензине ASF составляют всего 650 т/год.

По словам главы Группы CREON Energy Фареса Кильзие, рынок бензинов в РФ окончательно перешел в стадию исключительно «ручного» управления и зависит от решений, которые принимаются кулуарно. Это отражает реалии всей российской экономики и ставит отрасль в полную зависимость от настроений и желаний лиц, принимающих решения. Долгосрочное планирование в этой ситуации невозможно. «Будем считать, что пока все стабильно. Но надо четко понимать, что эта стабильность хрупка и при изменении конъюнктуры станет легко уязвимой. То есть по факту рынка бензинов в классическом его понимании в России сейчас нет», – резюмировал Ф.Кильзие.

## Электромобили: за чей счет праздник?

В марте этого года на трех рижских маршрутах проводилась демонстрационная эксплуатация низкопольного 18-метрового польского электробуса Solaris Electric на 50 сидячих мест. Мэр Риги Нил Ушаков в своем профиле на Facebook пояснил: «Пока что город не собирается приобретать такие электробусы – речь идет лишь о бесплатных тестах».

Польская компания предлагает еще две модификации электрического автобуса Solaris Urbino длиной 8,9 и 12 м. Девятиметровая модель автобуса Solaris Electric впервые была продемонстрирована на автобусной выставке Busworld в Бельгии в 2011 г.



Электробус Solaris Electric-18

Аккумуляторные батареи на 90 кВт·ч расположены на крыше автобуса и обеспечивают пробег на одну зарядку 150 км. Время зарядки батареи: 5-6 часов. В связи с этим подобный автобус пока не подходит для эксплуатации в крупных городах.

Бытует мнение, что электромобили, не имеющие двигателя внутреннего сгорания, не производят и негативных выбросов. Это утверждение является главным доводом в системе аргументации в пользу автомобилей на электрических батареях и топливных элементах. При этом апологеты такого транспорта не говорят, сколько и какого топлива необходимо сжечь для получения требуемого количества электроэнергии. Получается так: в нашем районе чисто, а что происходит в соседнем, где работает электростанция, – не наше дело.

Немало разговоров и об экономической привлекательности электромобилей. Производители электробусов, например, утверждают, что в течение 10 лет эксплуатации их машина позволяет сэкономить от 30 до 40 % затрат на топливо. Пока эти цифры выглядят не очень убедительно.

Электротранспорт дотируется и не участвует в справедливой конкурентной борьбе. Одним из наиболее дорогих элементов электромобилей являются накопители энергии: литиево-ионные батареи. В настоящее время, по оценке экспертов из США, их цена составляет примерно 600 долл./кВт·ч. Предполагается, что к 2020 г. она может упасть до 200, а к 2025-му до 160 долл./кВт·ч.

К электротранспорту присматриваются не только в Риге. Это – общеевропейское и даже мировое увлечение. В Министерстве транспорта Латвии сообщили, что в ближайшее время предполагается затратить 7,84 млн евро (в том числе 6,66 млн евро из Европейского фонда регионального развития и 1,18 млн евро – из госбюджета Латвии) на строительство 55 станций зарядки автомобилей вдоль трасс Европейской транспортной сети (TEN-T) и 163 – на региональных автодорогах, соединяющих магистрали TEN-T. Это должно обеспечить беспрепятственный проезд на электричестве по всей территории Латвии. Сейчас в стране работают 11 станций, в том числе шесть в Риге.



Электробус Solaris Electric-9



Электромобиль на зарядном посту в Брюсселе



Электромобиль Tesla



Расположение элементов питания

Электромобили, безусловно, впишутся в систему городского автомобильного транспорта. Однако пока говорить о тотальной электрификации машин преждевременно. Может быть, лет через пятьдесят можно будет полностью отказаться от углеводородов. Ниша для применения электроэнергии на колесном транспорте пока намного меньшая, чем у КПГ и СПГ.

Тем не менее во многих странах это направление поощряется государством. Так, в США в ряде штатов существуют дополнительные скидки и субсидии. Именно таким образом цену электромобиля опускают значительно ниже (на 4-4,5 тыс. долл.) цены газовой машины. Поддержка властей распространяется не только на электромобили, но и на электроэнергию для них. Два года назад дотированная стоимость полной зарядки автомобиля на фоне рекордно высоких цен на нефть равнялась всего 2-3 долл., а в некоторых штатах даже 1,5 долл. В Калифорнии создали электрический седан Tesla на 5-7 пассажиров. Возможна установка батареи емкостью 40 кВт·ч (пробег 260 км), 60 кВт·ч (пробег 370 км) и 85 кВт·ч (пробег 480 км). Самая мощная модель обеспечивает разгон до 100 км/ч за 4,4 с. Медленная (20 мин) зарядка 50 % аккумулятора Tesla Model S на заправках компании будет бесплатной. А вот на автоматическую замену батареи уйдет всего 90 с, но заплатить за это придется 60-80 долл., то есть примерно столько же, сколько за полный бак бензина.

Энергию для Tesla model S обеспечивают 7 тыс. (!) литий-ионных элементов питания, расположенных по днищу автомобиля. Силовым агрегатом служит индукционный двигатель переменного тока. Цены на автомобиль начинаются от 49,9 тыс.

Скидки и дотации на электромобили, биотопливо, водород и прочие лоббируемые виды топлива раскладываются на всех налогоплательщиков вне зависимости от того, есть у них вообще автомобиль или нет.

В связи с этим возникает справедливый вопрос: а за чей счет праздник?

MetanoGraph

## Abstracts of articles

### P. 19

#### *Research of diesel engine with natural gas adsorption storage system*

Vladimir Markov, Eugeny Pozdn'yakov, Viktor Shatrov, Anatoliy Zherdev, Eugeny Strizhenov

Advantages of using natural gas adsorption storage systems for internal combustion engines are shown. A diesel generator set powered by natural gas with a pilot dose of diesel fuel is described. Experimental studies of this diesel generator set are carried out. When converting the investigated diesel engine from a diesel cycle to a gas diesel cycle, improvement of its ecological indicators is stated.

**Keywords:** diesel engine, gas diesel engine, natural gas, pilot dose of diesel fuel, diesel generator set, adsorption storage system, ecological indicators.

#### References

1. Alternative fuels for internal combustion engines / A. Alexandrov, I. Arkharov, V. Markov et al., Ed. A. Alexandrov, V. Markov. – M.: LLC SIC «Engineer», LLC «Oniko-M», 2012. – 791 p.
2. Alternative motor fuels: Proc. Textbook for High Schools / A. Lapidus, I. Krylov, F. Zhagfarov etc. – M.: TsentrLitNefteGaz, 2008. – 288 p.
3. Gayvoronskiy A., Markov V., Ilatovsky Y. Use of natural gas and other alternative fuels in diesel engines. – M.: OOO «Gazprom Expo», 2007. – 480 p.
4. Patrahaltsev N. Increasing economic and environmental qualities of the internal combustion engine based on the use of alternative fuels: Proc. Textbook for High Schools. – M.: Publishing House of People's Friendship University, 2008. – 267 p.
5. Markov V.A., Biabenin E.V., Pozdnyakov E.F. Comparative evaluation of alternative fuels for diesel engines // Transport on alternative fuel. – 2013. – № 5. – S. 24-29.
6. Methane adsorption on a microporous carbon adsorbent AU-1 / EM Strizhenov et al. // Physical Chemistry of Surfaces and protection materials. – 2012. – V. 48. – № 6. – S. 521-526.
7. The adsorption of methane on a microporous carbon adsorbent AU-5 / E.M. Strizhenov et al. // Physical Chemistry of Surfaces and protection materials. – 2013. – V. 49. – № 5. – S. 483-490.
8. The accumulation of methane on activated carbon SU-7 / E. Strizhenov et al. // Chemical technology. – 2013. – № 12. – S. 729-738.

### P. 35

#### *Technology LPG, LNG and CNG for regional gasification facilities*

Boris Rachevsky

The problem of redundancy of liquefied propane-butane (LPG), liquefied (LNG) and compressed (CNG) natural gas for autonomous gas supply facilities is reviewed in this article. The equations that allow to calculate the amount of storage LPG, LNG and CNG, depending on the heat load gasified objects and gas flow from the storage time are introduced. Also, the method of calculating cost of storage and, as an example, to obtain analytical dependence for calculating the cost of storage for backup SPB is shown.

**Keywords:** liquefied propane-butane, compressed natural gas, liquefied natural gas, gas volume backup, the cost of gas storage facilities.

#### References

1. Rachevsky B. The use of compressed and liquefied petroleum gas for the gasification of settlements, industrial facilities and vehicles. Report on the VI International scientific-practical conference «The compressed and liquefied gas 2003», Turkey, Bildibi, 12-19 October 2003, the funds of CJSC «NefteGazTop», 2003. – 17 p.
2. Rachevsky B. Independent gas supply settlements and industrial objects // Polimergaz. – 2004. – № 1. – S. 44-46.
3. Rachevsky B., Berezkina S. Technical and economic comparison of autonomous gas supply facilities of liquefied propane-butane, liquefied and compressed natural gas. Conference materials at the exhibition «Russian gas industry. Actual aspects of 2007». – M.: Gazprom Expo, 2008. – P. 86-95.
4. Rachevsky B. Liquefied petroleum gas. – M.: OIL & GAS, 2009. – 640 p.
5. Rachevsky B. Improving the efficiency of the economy through the use of technology CNG and LNG // Transport on alternative fuel. – 2015. – № 5 (47). – S. 12-17.

P. 41

## *Aqueous-alkaline fuel cells*

Sergei Kozlov, Vladimir Fateev

The article provides a brief overview of the current status of alkaline fuel cells main types and power plants on their base by leading Western and Russian companies. The characteristics of alkaline fuel cells, their advantages and disadvantages are described. The principles of their work and the scope of use are shown. Results of the design of power plants for various purposes in the FC with an alkaline electrolyte are introduced. The parameters of ET spacecraft «Apollo», «Shuttle», «Buran», as well as the design features of the EC for the submarine project 613E, VAZ cars and stationary cogeneration power plant «ELTEG» are given.

**Keywords:** alkaline fuel cells electrode materials, power plant.

## *References*

1. Kozlov S., Fateev V. Hydrogen energy: current status, problems and perspectives / Ed. E. Velikhov. – M.: Gazprom VNIIGAZ, 2009. – 520 p.
2. RF Patent number 2229759 (2004.05.27) «Method of air purification for fuel cell and device for its implementation».

P. 51

## *Hardness management system technique for gas-powered vehicle*

Andrey Evstifeev, Margarita Zaeva, Maxim Sergeev

The article describes the upgraded cassette assembly for compressed natural gas, equipped with means of switching the vehicle on-board power management system, the connector to a gas line of the vehicle, further, arranged diagonally cassette assembly outputs for connecting to the electrical on-board network of the vehicle for the purpose of power and control elements, as well as diagnostics, monitoring and control assembly mounted on a cassette. The technique of providing power management system hardness is designed to calculate the frequency of performing diagnostic and repair work in order to achieve the specified performance of its work and the guaranteed availability is described. Examples of the practical use of the developed mathematical apparatus are given.

**Keywords:** system analysis, control system, improving process control efficiency, compressed natural gas.

## *References*

1. Vasiliev Y., Gritsenko A., Chirikov K. Transport refill. – M.: Nedra, 1995. ISBN 5-247-03535-6.
2. OJSC «KAMAZ». Basic information about gas vehicles. <http://www.kamaz.ru/ru/vehicle/gas>, view the date September 12, 2012.
3. Evstifeev A. Provision of municipal bus fleets metropolis gas motor fuel // Gas industry. – 2014. – № 2 (702). – S. 86-89.
4. Evstifeev A. Mathematical model of analysis in CNG and LNG needs to re-gasified areas // Gas industry. – 2013. – № 01 (685). – S. 87-88.
5. Balashov M., Evstifeev A. Methods of determining the boundaries of the economic efficiency of the transition to natural gas as a motor fuel // Transport on alternative fuel. – 2013. – № 2 (32). – P. 4-5.
6. Lyugai S., Evstifeev A., Timofeev V., Balashov M., Drygina Y. Comparison of economic indicators with liquid motor and gas engine fuels // Transport on alternative fuel. – 2013. – № 5 (35). – S. 14-19.
7. Evstifeev A. The software package for the analysis of enterprises of heat supply systems of JSC «Gazprom» // Gas Industry. – 2004. – № 5. – S. 23.
8. Evstifeev A., Zaeva M., Hetagurov J. The use of mathematical modeling in the tests and testing of complex technical systems // Bulletin of the National Nuclear Research University MEPhI. – 2013. – № 1. – T. 2. – P. 115.
9. Barzilovich E., Kashtanov V. Some mathematical problems in the theory of complex systems. – M.: Soviet Radio, 1997. – 272 p.
10. Evstifeev A., Zaeva M., Krasnikova S., Shuvalov V. Multi-criteria equipment control in complex engineering systems // Asian Journal of Applied Sciences. – 2015. – № 1. – V.8. – S. 86-91.

## Авторы статей в журнале № 3 (51) 2016 г.

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

**Жердев Анатолий Анатольевич**,  
д.т.н., профессор кафедры  
«Холодильная, криогенная техника, системы  
кондиционирования и жизнеобеспечения»  
МГТУ им. Н.Э. Баумана, руководитель  
Научно-учебного комплекса (НУК)  
«Энергомашиностроение» МГТУ им. Н.Э. Баумана,  
тел. 8-910-433-11-36,  
e-mail: azherdev@bmstu.ru

**Заева Маргарита Анатольевна**,  
к.т.н., зам. заведующего кафедрой 29 НИЯУ «МИФИ»,  
e-mail: MAZayeva@mephi.ru

**Козлов Сергей Иванович**,  
доктор технических наук,  
тел. 8 495 719 60 88,  
e-mail: si.kozlov2008@gmail.com

**Марков Владимир Анатольевич**,  
д.т.н., профессор кафедры «Теплофизика»  
Московского государственного технического  
университета им. Н.Э. Баумана  
(МГТУ им. Н.Э. Баумана),  
тел. 8-917-584-49-54,  
e-mail: vladimir.markov58@yandex.ru

**Поздняков Евгений Федорович**,  
к.т.н., генеральный директор  
ЗАО «Форант-Сервис», г. Ногинск,  
тел. 8-495-773-57-72, e-mail: pef07@mail.ru

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

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

**Сергеев Максим Станиславович**,  
к.т.н., доцент, кафедра 29 НИЯУ «МИФИ»,  
e-mail: MSSergeev@mephi.ru

**Стриженов Евгений Михайлович**,  
аспирант кафедры «Холодильная, криогенная техника,  
системы кондиционирования  
и жизнеобеспечения» МГТУ им. Н.Э. Баумана,  
тел: 8 926 565-47-73,  
e-mail: strizhenov@list.ru

**Фатеев Владимир Николаевич**,  
заместитель директора Центра физико-химических  
технологий НИЦ «Курчатовский институт»,  
профессор, д.х.н.,  
e-mail: Fateev\_VN@nrcki.ru

**Шатров Виктор Иванович**,  
к.т.н., ведущий инженер НИИ энергетического маши-  
ностроения Московского государственного техниче-  
ского университета им. Н.Э. Баумана  
(НИИЭМ МГТУ им. Н.Э. Баумана),  
тел. 8-916-592-56-77,  
e-mail: markov58@bmstu.ru

## Contributors to journal issue No 3 (51) 2016

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

**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,  
tel. + 7 (499) 128-59-51,  
e-mail: si.kozlov2008@gmail.com

**Markov Vladimir**,  
D. Sc. (Eng.), professor of «Heat Physics»  
department of the Bauman Moscow State  
Technical University,  
e-mail: vladimir.markov58@yandex.ru

**Pozdnyakov Evgeny**,  
General Director of «Forant-Service» venture,  
Ph.D., phone: (495) 773-57-72,  
e-mail: pef07@mail.ru

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

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

**Sergeev Maxim**,  
Ph.D., Associate Professor, Department 29 of National Re-  
search Nuclear University MEPHI  
(Moscow Engineering Physics Institute),  
e-mail: MSSergeev@mephi.ru

**Shatrov Viktor**,  
Ph.D., Leading Engineer Research Institute  
of Power Engineering, the Bauman Moscow State  
Technical University,  
phone: + 7 916-592-56-77,  
e-mail: markov58@bmstu.ru

**Strizhenov Eugene**,  
graduate student of the Bauman Moscow State  
Technical University,  
phone: + 7 926 565-47-73,  
e-mail: strizhenov@list.ru

**Zaeva Margarita**,  
Ph.D., Deputy Head of Department 29  
of National Research Nuclear University MEPHI  
(Moscow Engineering Physics Institute),  
e-mail: MAZayeva@mephi.ru

**Zherdev Anatoliy**,  
doctor of technical sciences, professor of department  
of the Bauman Moscow State Technical University,  
phone: + 7 910-433-11-36,  
e-mail: azherdev@bmstu.ru

# Подписка – 2016

## 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

80

### Уважаемые читатели! Продолжается подписка на 2016 г.

Подписчики	Годовая, 6 номеров	I полугодие, 3 номера
Россия	6 000 руб.	3 000 руб.
Страны СНГ	6 000 руб.	3 000 руб.
Страны дальнего зарубежья	190 евро	120 евро

Отдельные экземпляры журнала (1 000 руб) можно приобрести в редакции.

Электронная версия журнала (формат PDF, 6 номеров):

- для РФ и стран СНГ – 3 000 руб.
- для стран дальнего зарубежья – 100 евро.

Подписку на 2016 г. можно оформить по факсу, электронной почте или непосредственно в редакции; также через агентства «Роспечать» (подписной индекс 72149).

### Стоимость размещения рекламных полноцветных материалов в журнале:

В текстовом блоке	В рублях	В долларах США	В евро
1 страница (210 × 290 мм)	35 400	900	770
½ страницы (125 × 176 мм)	17 700	550	480
¼ страницы (70 × 176 мм)	11 800	300	260
Презентация (1 стр.)	11 800	300	260
Специальный раздел (1 стр.)	5 900	—	—
На обложке			
1-я страница (150 × 210 мм)	41 300	1000	860
2-я или 3-я страницы (290 × 210 мм)	35 400	900	770
4-я страница (290 × 210 мм)	39 000	950	820

### 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.