



# ТРАНСПОРТ НА АЛЬТЕРНАТИВНОМ ТОПЛИВЕ



№ 5 (65) 2018



Автопробег газомоторной техники на СПГ

Развитие рынка СПГ-бункеровки

Дозаправка автомобильных баллонов



**Учредитель и издатель**

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

**Периодичность**

6 номеров в год

**Главный редактор**

**А.Г. Ишков**

заместитель начальника Департамента –  
начальник Управления ПАО «Газпром», д.х.н.

**Члены редакционной коллегии**

**Б.В. Будзуляк**

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

**С.П. Горбачев**

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

**В.И. Ерохов**

профессор «МАМИ», д.т.н.

**Р.З. Кавтарадзе**

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

**Т.В. Климова**

начальник отдела информационного обеспечения  
ИТЦ ООО «Газпром трансгаз Москва»,  
заместитель главного редактора

**С.И. Козлов**

д.т.н.

**С.В. Люгай**

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

**В.А. Марков**

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

**А.В. Николаенко**

ректор «МАМИ», профессор, д.э.н.

**Ю.В. Панов**

профессор МАДИ, к.т.н.

**Н.Н. Патрахальцев**

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

**Е.Н. Пронин**

координатор проекта «Голубой коридор»

**В.С. Сафонов**

советник генерального директора ООО «Газпром ВНИИГАЗ»,  
д.т.н., профессор

**В.Н. Фатеев**

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

**В.С. Хахалкин**

главный инженер – заместитель генерального директора  
ООО «Газпром газомоторное топливо»

**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 типографии «ТалерПринт»  
109202, г. Москва, ул. 1-ая Фрезерная, д. 2/1

Номер заказа

Сдано на верстку 15.08.2018 г.

Подписано в печать 15.09.2018 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



Главный редактор журнала . . . . .	3
Заседание членов Совета Ассоциации организаций в области газомоторного топлива «Национальная газомоторная ассоциация» . . . . .	5
Члены Ассоциации организаций в области газомоторного топлива «Национальная газомоторная ассоциация» . . . . .	7
Самый протяженный в мире автопробег газомоторной техники на СПГ . . . . .	10
Таксопарки переходят на метан . . . . .	12
Новый рынок для СПГ – судоходство . . . . .	13
Выставка GasSuf 2018: важное событие в сфере газомоторной отрасли в России и Европе . . . . .	23
Обзор публикаций российских СМИ . . . . .	25
Обзор зарубежных публикаций по GMT . . . . .	29
<b>Белоусова С.Ю., Зарубин В.С., Осадчий Я.Г.</b> Оценка эффективности дозаправки метаном автомобильных баллонов после их охлаждения окружающим воздухом . . . . .	35
<b>Евстифеев А.А.</b> Основы планирования и организации территориальной службы ремонта и обслуживания сети АГНКС . . . . .	47
<b>Семенищев С.П., Мерзляков П.П.</b> Современные мобильные газозаправщики автотранспортных средств . . . . .	51
<b>Ощепков П.П., Бижаев А.В., Заев И.А., Смирнов С.В., Адегбенро Симеон Адедожа</b> Исследование дизельного топлива с добавками пальмового масла . . . . .	56
<b>Лиханов В.А., Лопатин О.П.</b> Горение природного газа и спиртоотопливных эмульсий в поршневом двигателе . . . . .	63
<b>Фомин А.П., Овсянников Е.М.</b> Система пропорционального управления электроприводом велосипеда . . . . .	70
Abstracts of articles . . . . .	78
Авторы статей в журнале № № 5 (65) 2018 г. . . . .	80



**Founder and Publisher**

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

**Published**

6 issues a year

**Editor-in-Chief**

**Ishkov, A.G.**

Deputy Director of the Department,  
Head of the Department, PJSC GAZPROM, Doctor of Chemistry

**Editorial board members**

**Budzulyak, B.V.**

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

**Erokhov, V.I.**

MAMI Professor, Doctor of Engineering

**Fateev, V.N.**

Deputy Director of RNC Kurchatovsky Institute,  
Doctor of Chemistry

**Gorbachev, S.P.**

Professor, Gazprom VNIIGAZ, Doctor of Engineering

**Kavtaradze, R.Z.**

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

**Khakhalkin, V.S.**

Chief technology officer,  
deputy director general LLC «Gazprom Gas-Engine Fuel»

**Klimova, T.V.**

Head of Information support department, Engineering  
and Technical center, Gazprom Transgaz Moskva LLC,  
deputy chief editor

**Kozlov, S.I.**

Doctor of Engineering

**Lyugai, S.V.**

PhD, Director of the Centre «Gas Use»,  
JSC «Gazprom VNIIGAZ»

**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.**

Coordinator of the «Blue Corridor» project

**Safonov, V.S.**

Adviser to director general Gazprom VNIIGAZ,  
doctor of engineering, professor

**Editor**

**Ershova, O.A.**

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

**Subscription and Distribution Department**

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

**Translation by**

**Khlystova A.I.**

**Computer imposition**

**Sherstyuk, I.V.**

**Editorial office address:**

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

**Order number**

Passed for press on 15.08.2018

Endorsed to be printed on 15.09.2018

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

Editor-in-Chief .....	3
Meeting of the «National gas vehicle association» council members .....	5
Members of «National gas vehicle association» in 2018 .....	7
Shipping industry is the new market for LNG .....	13
GasSuf 2018 Exhibition: important event in the gas vehicle field in Russia and Europe .....	22
Review of Russian media publications .....	25
Review of foreign publications on gas motor fuel .....	29
<b>Svetlana Belousova, Vladimir Zarubin, Yakov Osadchy</b> Estimating the effectiveness of refueling with methane of automobile gas cylinders after their cooling with ambient air .....	35
<b>Andrey Evstifeev</b> Basics of planning and organization of the territorial service of repair and maintenance of the NGV filling stations network .....	47
<b>Sergey Semenishchev, Pavel Merzlyakov</b> Modern mobile gas tank trucks for vehicles. ....	51
<b>Petr Oschepkov, Anton Bizhaev, Ivan Zaev, Sergey Smirnov, Adegbro Simeon Adedoza (Nigeria)</b> Research of diesel fuel with additives of palm oil. ....	56
<b>Vitaly Likhonov, Oleg Lopatin</b> Combustion of natural gas and alcohol-fuel emulsions in a piston engine. ....	63
<b>Alexander Fomin, Evgeniy Ovsyannikov</b> Proportional control system of a bike's electrodrive .....	70
Abstracts of articles .....	78
Contributors to journal issue № 5 (65) 2018 г. ....	80



## Главный редактор журнала

С августа 2018 года журнал «Транспорт на альтернативном топливе» возглавил новый главный редактор – Александр Гаврилович Ишков.



Александр Гаврилович работает заместителем начальника Департамента – начальником Управления ПАО «Газпром». Имеет ученую степень доктор химических наук, является профессором.

### Профессиональная деятельность

В период своей трудовой деятельности в отрасли (с 1992 г. – по н.в.) А.Г. Ишковым проведена значительная работа по решению экологических проблем и повышению экологической безопасности. Существенный вклад он внес в повышение эффективности управления в области охраны окружающей среды и осуществления экологического контроля в г. Москве. А.Г. Ишков – автор Комплексной экологической программы Москвы, Кон-

цепции экологической безопасности Москвы, соавтор ряда законов г. Москвы, а также законопроектов Российской Федерации экологической направленности. Под руководством А.Г. Ишкова созданы три национальных парка и государственный природный заповедник, подготовлен экологический раздел заявки России на проведение Олимпийских игр в Сочи, подготовлены и приняты обоснования по снятию претензий ЮНЕСКО к выполнению Российской Федерацией обязательств по объектам Всемирного природного наследия, создан Российский реестр углеродных единиц, разработан проект Экологического Кодекса РФ, успешно реализованы проекты Глобального экологического фонда, издано пять Государственных докладов о состоянии и охране окружающей среды в РФ.

Во время работы в ПАО «Газпром» Александром Гавриловичем организована реализация ряда крупных международных проектов, направленных на снижение выбросов парниковых газов в атмосферу, разработаны новая Экологическая политика ПАО «Газпром», корпоративные экологические цели, организовано внедрение системы экологического менеджмента, соответствующей международным стандартам серии ISO 14000, обеспечено экологическое сопровождение крупнейших проектов: Северный поток, Турецкий поток, Восточная газовая программа и др.

### Награды и заслуги

- Медаль «50 лет Вооруженных Сил СССР» (1967 г.);
- Медаль «За военную доблесть» (1970 г.);
- Лауреат Государственной премии СССР в области науки и техники (1991 г.);
- Медаль «В память 850-летия Москвы» (1997 г.);
- Орден Почета (1998 г.);
- Почетная грамота Правительства г. Москвы (1998 г.);
- Почетная грамота Госкомэкологии (1998 г.);
- Три раза удостоен Премии Правительства России в области науки и техники за разработку природоохранных технологий (1998, 2003, 2012 гг.);
- Почетная грамота МПР России (2002 г.);
- Почетное звание «Почетный работник охраны природы» (2007 г.);
- Почетная грамота ОАО «Газпром» (2008 г.);
- Благодарность Правительства Российской Федерации (2013 г.);
- Почетная грамота Комитета Государственной Думы по природным ресурсам, природопользованию и экологии (2014 г.);
- Почетная грамота Минприроды России (2016 г.);
- Трижды удостоен Премии ПАО «Газпром» в области науки и техники (2009, 2013, 2017 гг.);
- Медаль Союза нефтегазопромышленников России «За развитие нефтегазового комплекса России»;
- Звание «Заслуженный эколог Российской Федерации» (2017 г.).

### Общественная деятельность

Профессор кафедры ЮНЕСКО «Зеленая химия для устойчивого развития» Российского химико-технологического университета имени Д.И. Менделеева.

Член Попечительского совета Неправительственного экологического фонда имени В.И. Вернадского.

Первый вице-президент Российской экологической академии, академик Российской академии естественных наук, Международной академии технологических наук.

Главный редактор журнала «Экология промышленного производства».

Член редакционной коллегии журнала «Газовая промышленность».

Наряду с успешной производственной деятельностью А.Г. Ишков ведет плодотворную научную и общественную работу. Автор 156 научных работ и монографий, 38 изобретений и патентов, 60 научно-популярных статей и учебных пособий по экологии и природопользованию.

Указом Президента РФ № 416 от 10.09.2017 г. Александру Гавриловичу Ишкову присвоено звание «Заслуженный эколог Российской Федерации».

## Заседание членов Совета Ассоциации организаций в области газомоторного топлива «Национальная газомоторная ассоциация»

9 августа 2018 года в Санкт-Петербурге состоялось заседание членов Совета Ассоциации организаций в области газомоторного топлива «Национальная газомоторная ассоциация» (Ассоциация). На заседании Совета Ассоциации присутствовали Н.П. Акимова (ООО «Региональная газовая компания»), С.В. Алимов (ПАО «Газпром автоматизация»), Д.Д. Гайдт, В.Н. Коробейников (ООО «Кировский завод Газовые технологии»), В.С. Хахалкин (ООО «Газпром газомоторное топливо»), А. Шуманн (Юнипер Глобал Коммодитиз СЕ), а также исполнительный директор Ассоциации В.Л. Зинин и заместитель исполнительного директора Ассоциации Ю.Н. Дрыгина.

На заседании Совета Ассоциации обсуждались планы работы до конца 2018 года и направления повышения эффективности текущей деятельности Ассоциации. В частности, было отмечено, что основной инструмент организации текущей работы Ассоциации – тематические секции – нуждается в совершенствовании. В связи с этим, было принято решение о необходимости зафиксировать состав участников каждой секции, провести по одному мероприятию в каждой секции в сентябре-ноябре 2018 г., и по результатам проведенных мероприятий утвердить дальнейшие планы работы каждой секции на очередном заседании Совета Ассоциации.

Наименование секции	Ответственный	Предлагаемое мероприятие в 2018 г.
Компримированный природный газ - инфраструктура и оборудование	ООО «Газпром газомоторное топливо»	Совещание об организации единого центра по контролю за обращением баллонов
Сжиженный природный газ – инфраструктура и оборудование	ООО «Газпром ВНИИГАЗ»	Публикация обзора современных технологий использования СПГ в качестве моторного топлива в различных странах мира
Газовая автомобильная техника	ПАО «КАМАЗ»	Проведение заседания секции на тему «Продвижение автомобильной техники, использующей в качестве моторного топлива природный газ»
Маркетинговые исследования и локализация объектов газомоторной инфраструктуры	АО «Агентство прямых инвестиций»	Публикация рейтинга субъектов Российской Федерации по уровню развития рынка газомоторного топлива
Международное сотрудничество	Газпром Интернешнл	Публикация обзора лучших практик стимулирования развития рынка газомоторного топлива в странах присутствия Газпром Интернешнл
Взаимодействие с органами власти, регионами и общественностью	ООО «Газпром газомоторное топливо»	Круглый стол по вопросам совершенствования нормативного регулирования рынка КПП и СПГ

Также необходимо отметить, что перечень тематических секций может быть увеличен по мере расширения состава Ассоциации. Руководство Ассоциации будет вести активную работу по привлечению новых участников по следующим направлениям:

- Частные владельцы АГНКС,
- Автопроизводители,
- Сельскохозяйственные предприятия,
- Логистические компании,
- Таксомоторные парки,
- Предприятия, использующие карьерную технику,
- Организаторы автобусных пассажирских перевозок,
- Предприятия ЖКХ, владеющие специализированной транспортной техникой,
- Пароходства,
- Железнодорожные перевозчики,
- Лизинговые и страховые компании, институты развития,
- Корпорации развития субъектов Федерации,
- ВУЗы и НИИ по направлениям транспорт, энергетика, экономика, экология,
- Представители Федеральных органов исполнительной власти.

Отдельно обсуждался план работы Экспертного совета Ассоциации. До конца 2018 г. в качестве ключевого направления его деятельности обозначено совершенствование нормативно-правовой базы как в части развития газозаправочной инфраструктуры, так и в части стимулирования использования транспорта на газомоторном топливе.

Член Совета Ассоциации Надежда Петровна Акимова предложила поручить Экспертному Совету Ассоциации проработать предложения по мерам стимулирования использования природного газа в качестве моторного топлива, а именно:

- Обнуление таможенных пошлин для транспортных средств на газомоторном топливе,
- Отмена транспортного налога для транспортных средств на газомоторном топливе на федеральном уровне,
- Отмена взносов на пользование системой «Платон» для транспортных средств на газомоторном топливе,
- Разрешение на въезд грузовых автомобилей в крупные города в ночное время для транспортных средств на газомоторном топливе,
- Применение нулевой ставки налога на имущество для объектов газозаправочной инфраструктуры,
- Отмена транспортного налога для ПАГЗ,
- Применение льготной ставки земельного налога и льготных арендных ставок на использование земельных участков на период строительства объектов газозаправочной инфраструктуры,
- Предоставление льготных финансовых инструментов со стороны институтов развития (кредиты, гарантии, страхование, лизинг оборудования).

Существенная часть заседания Совета была посвящена перспективам развития международного научного журнала «Транспорт на альтернативном топливе». Принято решение расширять содержание журнала в сторону отраслевой аналитики, обзоров лучших международных практик использования газа как моторного топлива, экономических исследований, сохранив при этом высококачественные научно-технические публикации в качестве базы. Наш журнал будет расти и развиваться в качестве основной экспертной площадки рынка газомоторного топлива.

И Вы также можете внести свой вклад в развитие журнала! Присылайте свои материалы о лучших практиках работы на рынке, проблемах и перспективах использования газа на транспорте по адресу [transport.1@ngvrus.ru](mailto:transport.1@ngvrus.ru).

Обращаем Ваше внимание, что до конца 2018 г. ценовая политика журнала, вероятно, будет пересмотрена. Спешите оформить подписку на международный научный журнал «Транспорт на альтернативном топливе» на действующих условиях!

# Члены Ассоциации организаций в области газомоторного топлива «Национальная газомоторная ассоциация», 2018 год



## АО «Агентство Прямых Инвестиций»

Независимая российская инвестиционно-консалтинговая компания.



## ООО «АТС-сервис»

Производство и переоборудование автотранспорта на КПГ, производство ПАГЗ, поставка технологического оборудования для АГНКС.



## ЗАО «БАРРЕНС»

Проектирование АГНКС, производство и поставка оборудования для АГНКС, ПАГЗ, МКПГ и их комплектующих.



## ООО «Бауэр Компрессоры»

Производство компрессоров, комплектных АГНКС.



## ООО «ВИТКОВИЦЕ Рус»

Ведущий европейский производитель баллонов, АГНКС, ПАГЗ, аккумуляторов газа, оборудования для добычи, транспортировки, хранения и переработки газа. Переоборудование транспорта на КПГ (железнодорожного, морского, автомобильного).



## АО «ВНИКИ»

Проведение фундаментальных и прикладных исследований в области железнодорожного транспорта. Разработка локомотивов, работающих на СПГ.



## ООО «Газкомплект»

Полный спектр услуг в области производства газовых автомобилей и переоборудования транспорта на газовое топливо.



## ООО «Газпарт 95»

Продажа газобаллонного оборудования для ТС.



## ПАО «Газпром автоматизация»

НИОКР, проектирование, осуществление полного цикла работ по строительству и реконструкции АГНКС.



## ООО «Газпром газомоторное топливо»

Создание инфраструктуры для развития рынка газомоторного топлива в РФ: строительство АГНКС, КриоАЗС, КСПГ и прочих инфраструктурных объектов.



## АО «Газпром оргэнергаз»

Диагностика и обслуживание оборудования, газопроводов, АГНКС.



## ОАО «Газпром трансгаз Беларусь»

Реализация КПГ, переоборудование транспортных средств на газомоторное топливо.



## ООО «Газпром трансгаз Екатеринбург»

Транспорт газа, строительство и обслуживание АГНКС, переоборудование автомобилей на КПГ.



## ООО «Газпром трансгаз Казань»

Транспорт газа, строительство и обслуживание АГНКС, переоборудование автомобилей на КПГ.



## ООО «Газпром трансгаз Самара»

Транспорт газа, строительство и обслуживание АГНКС, переоборудование автомобилей на КПГ.



## ООО «Газпром трансгаз Сургут»

Транспорт газа, строительство и обслуживание АГНКС, переоборудование автомобилей на КПГ.



## ООО «Газпром трансгаз Томск»

Транспорт газа, строительство и обслуживание АГНКС, переоборудование автомобилей на КПГ.

## Газпром ЭП Интернэшнл Б.В.



Единый оператор проектов ПАО «Газпром» по поиску, разведке и разработке месторождений углеводородов за пределами Российской Федерации.



**ОАО НПО «Гелимаш»**

Производство установок сжижения природного газа и водорода, производство криогенных топливных баков и систем.

**ООО «ИновацияСПб Холдинг»**

Переоборудование транспорта для работы на газомоторном топливе. Поставка оборудования для транспортировки, хранения и использования газомоторного топлива.

**ООО «Интехгаз»**

Определение количественного и качественного состава газомоторного топлива, поставка газоиспользующего и газобаллонного оборудования.

**ПАО «КАМАЗ»**

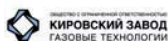
Производство грузовой и специализированной автомобильной техники.

**ООО «Каменский завод газоиспользующего оборудования»**

Производство газорегуляторного и газоиспользующего оборудования, блочно-модульных котельных, выполнение монтажных и пусконаладочных работ.

**ООО «КИМАКО»**

Дистрибуция промышленного оборудования, производимого в Южной Корее.

**ООО «Кировский завод Газовые технологии»**

Строительство АГНКС под ключ: строительные-монтажные работы, технический надзор. Проектирование: проектно-изыскательные работы, авторский надзор. Производство собственного оборудования: система автоматического управления АГНКС «САУ-КЗГТ», колонки газозаправочные «КЗГТ-КСМ». Шеф-монтаж и пусконаладочные работы. Сервисное и послепродажное обслуживание, обучение. Поставка оборудования и запасных частей.

**ООО «Компрессор газ»**

Разработка и производство газового компрессорного оборудования.

**ЗАО «Комптех»**

АГНКС, компрессоры, системы хранения и распределения газа.

**ООО «Корпорация Роснефтегаз»**

Переработка газа в бензин, эксплуатация многопливных АЗС, переоборудование АТС на газ.

**ООО «Краснодарский компрессорный завод»**

Производство компрессорного оборудования для АГНКС.

**ООО «Криогазтех»**

Проектно-строительная компания, специализирующаяся на реализации проектов в формате EPC, в том числе уникальных проектов топливно-энергетического сектора. От проектирования до ремонта и техобслуживания готового объекта.

**ООО «КРИОСТАР РУС»**

Производство высокотехнологичного криогенного оборудования: центробежных и поршневых насосов, турбодетандеров, турбокомпрессоров, турбогенераторов, заправочных станций, малотоннажных установок по производству СПГ.

**ООО «ЛЕВИТЭК»**

Поставка полного комплекта оборудования для АГНКС, насосно-компрессорного оборудования для предприятий нефтегазовой отрасли.

**ООО «Легион Эстейт»**

Поставка нефти и нефтепродуктов. Оказание логистических услуг по перевозке стабильного газового конденсата, нефти и нефтепродуктов. Строительство АГНКС и КриоАЗС «под ключ», в том числе поставка технологического оборудования, проектные и строительные-монтажные работы.

**ООО НПК «ЛенПромАвтоматика»**

Капитальный ремонт и модернизация АГНКС. Автоматика для АГНКС. Проектирование и строительство полнокомплектных АГНКС.

**ЗАО «Мелстон Инжиниринг»**

Проведение полного комплекса работ по строительству, реконструкции и оснащению АЗС/АГЗС/АГНКС необходимым оборудованием.

**ООО «Мониторинг Вентиль и Фитинг»**

Разработка, изготовление и поставка оборудования для применения КПГ и СПГ, криогеники и технических газов. Оборудование предназначено для АНКС, КриоАЗС, КСПГ, промышленных предприятий, нефтегазовой промышленности, лабораторий, научных исследований.

**ОАО «Новогрудский завод газовой аппаратуры»**

Производство газозапорной и газорегулирующей аппаратуры.

**ООО «НПК «НТЛ»**

Разработка, проектирование и производство наукоемкой продукции для предприятий газовой отрасли, в том числе комплексы малотоннажного производства СПГ.

**ООО «НПО «НХП»**

Инжиниринговая компания, предоставляющая услуги в нефтяной, газовой и нефтехимической промышленности.

**ООО «НТА-Пром»**

Поставка трубной арматуры малого диаметра.

**ООО «ПетроГазТех»**

Идентификация, разработка, внедрение и продвижение технологий в области разведки и добычи нефти и газа.

**АО «РариТЭК Холдинг»**

Производство, реализация и сервис автомобилей КАМАЗ, коммунальной техники, автобусов НЕФАЗ и Bravis с газовыми двигателями. Производство ПАГЗ. Обучение на право обслуживания и эксплуатации газомоторной техники.

**ООО «Региональная Газовая Компания»**

Инжиниринг. Установка газовой топливной аппаратуры и оборудования. Техническое обслуживание и ремонт автотранспортных средств. Торговля автомобильными деталями, узлами и принадлежностями.

**ООО НПФ «Реал-Шторм»**

Стальные барабаны, цистерны, газовые баллоны.

**ООО «Салаватнефтемаш»**

Ведущий производитель оборудования для нефтедобывающей, нефтегазоперерабатывающей, нефтехимической и других отраслей промышленности, в т.ч. связанных с обращением, транспортированием, хранением жидких, газообразных веществ.

**ООО «ТЕГАС»**

Производство газоразделительного, компрессорного и холодильного оборудования.

**ООО «ТЕГУСС»**

Комплексные технологические решения в энергетике и нефтегазовой сфере. Проектирование, поставка и обслуживание стационарных и мобильных газозаправочных установок. Продажа автомобильной и специальной техники различного назначения.

**ООО «ТЕГУСС КОМПЛЕКТ»**

Проектирование, поставка и обслуживание стационарных и мобильных газозаправочных установок. Продажа автомобильной и специальной техники различного назначения.

**ООО «ТрансЭнергоСтройГрупп»**

Ремонт машин и оборудования; техническое обслуживание и ремонт автотранспортных средств. Поставка автомобильных деталей, узлов и принадлежностей.

**АО «УдмуртАвтоТранс»**

Автомобильные пассажирские перевозки.

**ООО «Хэм-Лет»**

Диагностика и обслуживание оборудования, газопроводов, АГНКС.

**ООО «Эксайтон Групп»**

Реализация и поставка газобаллонного оборудования.

**АО «Эр Ликвид Глобал И энд Си Солюшнс Франция»**

Производство и поставка газов, технологий и услуг для промышленности и здравоохранения.

**Представительство Юнипер Глобал Коммодитиз СЕ (Германия)**

Участие в нефтегазовых и энергетических проектах.

**АО UNIDOM Co.,LTD**

Инжиниринговые услуги, проектирование и поставка газового оборудования широкого спектра.

**KOA ENG CO., LTD**

Инжиниринг и строительство АГНКС.

**KwangShin Machine Industry Co., LTD**

Производство поршневых компрессоров.



КазМунайГаз  
NATIONAL COMPANY ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ  
ҰҚАМДЫ ҚОҒАМЫ



中国石化

## Самый протяженный в мире автопробег газомоторной техники на СПГ

4 сентября в г. Жудун (провинция Цзянсу, Китай) состоялся торжественный старт автопробега газомоторной техники «Газ в моторы», который пройдет по территориям Китая, Казахстана и России.



Этап маршрута в Китае

Организаторами выступили крупнейшие энергетические компании трех стран – CNPC (Китай), «КазМунайГаз» (Казахстан) и «Газпром». В числе партнеров автопробега – немецкая компания Upiper, а также Ассоциация поддержки и развития автоспорта «Силквей ралли», которая является организатором Международного ралли «Шелковый путь».

Маршрут автопробега «Газ в моторы» проложен, в основном, по создающемуся новому международному транспортному коридору (МТК) «Европа – Китай». Автопробег прошел через города Суцзянь,

Чжэнчжоу, Сиань, Динси, Увэй, Цзяюйгуань, Хами, Турфан, Усу, Хоргос (Китай); Алматы, Тараз, Туркестан, Кызылорда, Аральск, Актобе (Казахстан); Оренбург, Альметьевск, Казань, Нижний Новгород, Владимир, Торжок и Санкт-Петербург (Россия). «Газ в моторах» стал самым протяженным в мире автопробегом газомоторной техники на сжиженном природном газе (СПГ) – 9 881 км.

Всего в автопробеге приняли участие 15 грузовых, легковых автомобилей и автобусов преимущественно на СПГ, а также автомобильные газовые заправщики. Заправку транспорта природным газом обеспечивали компании-участники проекта: в Китае – KunLun Energy Company Limited (входит в CNPC), в Казахстане и России – «Газпром газомоторное топливо».

В рамках автопробега были организованы встречи с представителями органов власти и общественности, производителей и поставщиков газомоторной техники и оборудования, а также компаний, использующих технику на природном газе и занимающихся ее сервисным обслуживанием.

Финиш автопробега состоится 4 октября в Санкт-Петербурге в рамках VIII Петербургского международного газового форума.

Автопробег «Газ в моторы» призван продемонстрировать экономичность, экологичность и безопасность использования природного газа в качестве моторного топлива, многообразие модельного ряда газомоторной техники, ее высокие потребительские свойства, качество и надежность.



Заправщик СПГ

Результаты автопробега позволят оценить возможности трансконтинентального автомобильного коридора с точки зрения использования газомоторной техники на сжиженном природном газе. Это будет способствовать развитию газозаправочной инфраструктуры на МТК «Европа – Китай» и унификации нормативных требований стран-участниц в области использования заправочных устройств и газомоторной техники.

#### ***Справка***

CNPC – крупнейшая китайская нефтегазовая компания. Сфера деятельности дочерней компании CNPC – KunLun Energy Company Limited – включает, в частности, развитие рынка газомоторного топлива в КНР. Компания управляет сетью заправок КПП и СПГ, которая охватывает различные регионы Китая, тремя терминалами по импорту СПГ и значительным количеством заводов по производству СПГ. Кроме этого, в составе корпоративной структуры CNPC также ведут деятельность профильные проектные подразделения, занимающиеся разработкой специального оборудования для использования в сфере газомоторного топлива.

АО «Национальная компания «КазМунайГаз» – оператор по разведке, добыче, переработке и транспортировке углеводородов, представляющий интересы государства в нефтегазовой отрасли Республики Казахстан. В состав группы компаний АО «Национальная компания «КазМунайГаз», основанной в 2002 году, входят 220 организаций.

Uniper SE – дочерняя компания E.ON SE по производству электроэнергии, а также глобальной энергетической торговле. «Газпром» и Uniper SE осуществляют совместную деятельность в сфере поставок и транспортировки газа за рубежом, реализуют программы научно-технического и социально-культурного сотрудничества.

Международный транспортный коридор «Европа – Китай» – масштабный комплексный инвестиционный проект, охватывающий территории России, Казахстана и Китая. Общая протяженность составит более 8 тыс. км.

Работа по созданию газозаправочной инфраструктуры на МТК «Европа – Китай» ведется в рамках сотрудничества «Газпрома», CNPC и «КазМунайГаза». Соответствующий меморандум был подписан 5 октября 2017 года во время проведения VII Петербургского международного газового форума.

Управление информации ПАО «Газпром»



## Таксопарки переходят на метан

12

В Москве состоялся VI Международный Евразийский форум «ТАКСИ», в рамках которого компания «Газпром газомоторное топливо» представила проекты по переводу коммерческого транспорта на природный газ (метан).

Одним из важнейших вопросов мероприятия стало обсуждение опыта и перспектив внедрения экологических технологий в сфере коммерческих перевозок.

Компания «Газпром газомоторное топливо» в рамках собственных маркетинговых программ предлагает различные условия по переводу служб такси на природный газ. Таксопарки на метане в настоящее время успешно функционируют в Краснодаре, Саратове, Самаре, Сочи, Тольятти, Томске и Ярославле. Большим потенциалом для перевода на природный газ обладает парк такси Мос-

квы, который насчитывает порядка 150 тыс. единиц техники.

В рамках работы форума компанией достигнуты договоренности о переводе 200 автомобилей в трех таксопарках Москвы на метан. До конца года в столице в эксплуатацию планируется ввести около 400 газомоторных автомобилей. Заправку транспорта в Москве обеспечат 10 газозаправочных станций, шесть из которых работают под брендом «Газпром».

Также достигнута договоренность о переоборудовании автомобилей службы такси в Твери. Заправляться транспорт будет на АГНКС «Газпром».

«Топливные затраты занимают до 20 % в структуре доходов владельцев такси, при этом цены на нефтяные виды топлива постоянно растут. Эффективным решением снижения топливных затрат является перевод таксопарков на природный газ. Сегодня газозаправочная сеть «Газпром» представлена в 63 регионах России и позволяет планировать маршрут движения газомоторного транспорта», – подчеркнул генеральный директор «Газпром газомоторное топливо» Михаил Лихачев.

### Справка

На территории Москвы и около МКАД располагаются шесть АГНКС «Газпром»: в п. Развилка (23-й км МКАД), на ул. Левобережная, 8, ул. Ижорская, д.18, ул. Полбина, д. 47 А, ул. Кусковская и 109-й км МКАД, а также четыре АГНКС ФГУП «Мосавтогаз» (15-й, 43-й, 73-й, 79-й км МКАД). До конца 2018 года запланировано завершение строительства еще четырех АГНКС «Газпром» в Москве на пересечении ул. Зенитчиков и ул. Дубравная, на ул. Подольских курсантов, вл. 5 Б, Промзоне Очаково (Проектный пр., д. 22-15) и Походном проезде, вл. 2.

<http://gazprom-gmt.ru/press-center/news/>



## Уважаемые читатели!

Рады сообщить, что коллектив журнала предполагает запуск цикла аналитических статей о современном состоянии и перспективах использования СПГ в качестве бункеровочного топлива. Цель данного цикла – провести обзор сектора бункеровки судов, дать оценку сложившейся ситуации на рынке, обозначить ключевые предпосылки и существующие риски развития сектора бункеровки для СПГ.

Информационным поводом для анализа стали новости, связанные с активизацией использования СПГ в качестве топлива для морских судов. Актуальность обзора обусловлена планомерным ужесточением требований к содержанию оксидов серы, азота и углерода, а также твердых частиц в выбросах морских судов (Приложение VI Международной Конвенции MARPOL).

Информационно-аналитические статьи ориентированы на широкий круг специалистов нефтегазовой отрасли, будут включать в себя информацию о последних событиях в секторе бункеровки и использования СПГ в качестве бункерного топлива.

В этом номере привлечь внимание читателей мы хотели бы обсуждением предпосылок развития рынка СПГ-бункеровки.

# Новый рынок для СПГ – судоходство

## Экологические предпосылки

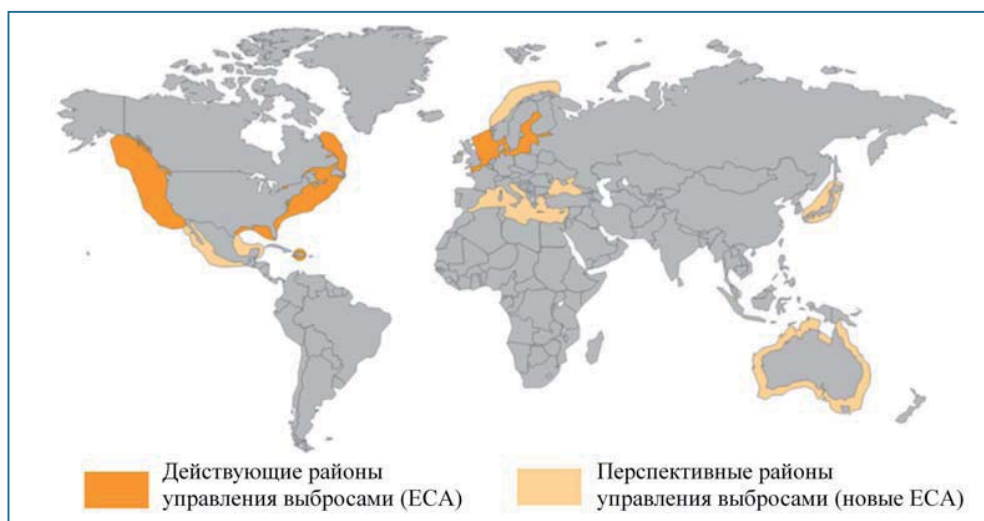
Одной из главных предпосылок изменений в судоходном секторе, в частности использования СПГ для бункеровки судов, стало планомерное введение новых экологических норм (табл. 1), которые «ограничивают содержание серы в судовом топливе, запрещают любой преднамеренный выброс в атмосферу озоноразрушающих веществ и ограничивают выброс оксидов азота» в районах контроля выбросов (ECA).

Таблица 1

Дата введения ограничения	Зона действия ограничения	Содержание вредных веществ (сера, азот), %
С 1 января 2015 г.	В районах контроля выбросов серы (SECA) <sup>1</sup>	Не более 0,1
В настоящее время	Вне районов контроля выбросов серы (SECA)	Не более 3,5
С 1 января 2020 г.	Вне районов контроля выбросов серы (SECA)	Не более 0,5
С 2021 года	В районах контроля выбросов азота (NECA) <sup>2</sup>	Не более 1,5

1. К районам со статусом SECA относятся Балтийское и Северное моря, Западные побережья Соединенного Королевства, Ирландии, Бельгии, Франции, Испании, Португалии, прибрежные воды США и Канады, Карибское море, Средиземное море, побережье Японии, Малаккский пролив.

2. В районах со статусом NECA потребуются соответствие стандарту Tier III по уровню предельно допустимых выбросов оксидов азота двигателями, установленными на судах, построенных начиная с 1 января 2021 года и после этой даты.



Действующие и перспективные районы управления выбросами (ECA) в мире

Источник: Международная морская организация

Экологические ограничения и система штрафов<sup>3</sup> за превышение содержания вредных веществ в судовом топливе вынуждают компании отказаться от традиционных видов бункерного топлива и искать новые пути. Судовладельцы, операторы судов, бункерные и транспортные компании сформировали три основных варианта решения данной проблемы:

- переход на более чистый, но дорогостоящий вид топлива (дистилляты, в том числе газойль);
- использование SCR-технологий, оборудования по очистке судовых выхлопов (скрубберы);
- использование газомоторного топлива (СПГ, метанол).

Переход на СПГ в качестве судового топлива позволит полностью обеспечить соблюдение всех экологических норм (табл. 2), а именно:

- исключается выброс оксидов серы (SO) и твердых частиц;
- снижаются на 90 % выбросы оксидов азота (NO<sub>x</sub>);
- уменьшаются на 30 % выбросы углекислого газа CO<sub>2</sub>, что после ратификации Парижского соглашения стало главным преимуществом использования СПГ.

Таблица 2

Вид топлива	Количество выбросов при сгорании топлива (по опыту эксплуатации среднеоборотных морских дизельных двигателей), г/кВт·ч			
	SO	PM	NO <sub>x</sub>	CO <sub>2</sub>
Мазут	13	1,5	9...12	580...630
Морское дизельное топливо	2	0,25...0,5	8...11	580...630
Очищенное дизельное топливо	0,4	0,15...0,25	8...11	580...630
СПГ	0	0	2	430...480
Уровень снижения выбросов при использовании СПГ	100 %	100 %	90 %	30 %

Источник: MARINTEC

3. Штрафные санкции в случае несоответствия топлива экологическим нормам MARPOL различаются по странам. Например, в Германии – 7000 евро/сут, Польше – 62 тыс. долл./сут, Великобритании – 83 тыс. долл./сут, США – 25 тыс. долл./сут.

## Технологические предпосылки

Среди наиболее часто обсуждаемых выделяют проблему невозможности использования СПГ для судов всех типов. В среднем корабли эксплуатируются на протяжении 20-30 лет. Это означает, что масштабной замены двигателей на эксплуатируемых судах не произойдет. Для переключения эксплуатируемого судна на СПГ необходимо провести его переоборудование. Дизельный двигатель дорабатывается, а на корабль дополнительно устанавливается емкость для СПГ, что не всегда возможно из-за нехватки места.

Основным вопросом при постройке крупнотоннажных судов является выбор типа и места расположения емкостей для хранения газомоторного топлива, которое требует в четыре раза большего объема по сравнению с дизельным топливом. С развитием технологий появилось решение этой проблемы – система хранения СПГ в танках (контейнеры-цистерны) специальной конструкции, которая позволяет вписывать ее в конструкцию судна, не уменьшая его вместимость. Примерами таких решений могут служить следующие:

- Конструкция IHI Marine United Inc. (ИНИМУ, Япония), применяемая для контейнеровозов на СПГ. Компания разработала криогенные танки особого типа SPB, где хранится запас топливного СПГ на судне. За счет особенностей конструкции танка топливная система на СПГ может быть размещена на корабле практически в тех же объемах, что и обычная система на традиционном топливе, без существенного ущерба вместимости судна.

- Компания Wärtsilä (Финляндия) производит силовые установки, состоящие из двухтопливных двигателей и танков. У круизного лайнера Viking Line два танка для хранения СПГ, вместимостью по 200 м<sup>3</sup>, расположены на открытой палубе в кормовой части и наполняются через судовые бункеровочные станции.

Также компания Wärtsilä сконструировала пятицилиндровый главный двигатель для танкера Ternsund. Судно с двухтопливным двухтактным двигателем, работающим по технологии подачи газа под низким давлением X-DF, спущено на воду в 2015 году в Шанхае. Оно является первым из четырех танкеров на СПГ, заказанных шведской компанией Terntank.

Другими примерами применения подобной технологии являются танкер-продуктовоз Bit Viking – первое судно на газовом топливе в компании Germanischer Lloyd и контейнеровозы Nor Lines – суда с дедвейтом по 5000 т, построенные по проекту Rolls-Royce Marine с главными двигателями на СПГ. Крупнейшая паромная компания в Норвегии FJORD1 уже владеет 12 паромами, работающими на СПГ. Последний из них, MF Voknafjord, является крупнейшим в мире судном такого типа.

Возможности применения СПГ в качестве судового топлива не ограничиваются типом судов. Судостроительная верфь Arctech Helsinki Shipyard передала Транспортному агентству Финляндии ледокол Polaris, использующий СПГ в качестве основного топлива. Ледокол также может использовать морское дизельное топливо с низким содержанием серы.

Таким образом, вышеописанные технологические решения уже находят применение на существующих судах различного назначения. В 2015 году мировой флот, использующий только СПГ как топливо, включал 102 судна, и около 80 находились в стадии строительства. Описание перспективных проектов по строительству новых судов будет представлено в соответствующем разделе обзора.

С точки зрения безопасности перевозок двигатель на СПГ имеет преимущество





перед традиционным. В отличие от паров нефтепродуктов или СУГ, метан – намного легче воздуха и благодаря этому рассеивается в случае утечки.

В сравнении с традиционным топливом, СПГ обеспечивает легкость приготовления равномерной топливоздушнoй смеси. Газовая смесь сгорает полностью, поэтому не образуется нагар на деталях двигателя. Кроме того, СПГ содержит меньше загрязняющих веществ, способных на химическом уровне разрушать детали двигателя. Таким образом, использование СПГ увеличивает ресурс эксплуатации двигателей судов и удешевляет их техническое обслуживание.

### Инфраструктурные предпосылки

Использование судами СПГ как судового топлива во многом зависит от имеющейся инфраструктуры, включающей стационарные бункеровочные станции и приемные терминалы СПГ.

Мощным стимулом для развития строительства и модернизации морского транспорта на СПГ выступает реализация программ по созданию как наземной, так и морской инфраструктуры для бункеровки СПГ в ключевых портах и хабах.

Так, оператор (Gate Terminal B.V.) и акционеры (Gasunie и Vopak) завершили расширение СПГ-терминала Gate в портовом районе Роттердама – Маасвлакте (Maasvlakte). На терминале осуществляется разбивка поставок СПГ на более мелкие партии для дальнейшего распределения по территории Нидерландов и Северо-Западной Европы. СПГ с терминала будет далее поставляться на станции для бункеровки судов и заправки грузовых автомобилей. В течение нескольких следующих лет новый причал начнет заправлять большие океанские суда на СПГ с помощью судов-бункеровщиков.

В портах Пори (Финляндия) и Гётеборг (Швеция) впервые выполнили бункеровку двухтопливного судна. В первом случае топливные танки заправлялись по технологии терминал – борт, а во втором – с использованием бункеровочного судна по технологии борт – борт.

Администрации портов ожидают, что суда с СПГ-двигателями будут заправляться в портах на регулярной основе. В качестве стимулирования покупателей СПГ порты предлагают различные скидки и привилегии. Так, порт Гётеборга ввел скидку в 30 % на портовый сбор для судов на СПГ, а в порту Роттердам действуют программы Environmental Ship Index и LNG Bunkering Incentive, которые в сумме дают судну скидку в 10 % от портовых сборов. На средства ЕС создается инфраструктура для СПГ-бункеровки судов в балтийских портах: Орхус, Хельсингборг, Хельсинки, Мальме-Копенгаген, Таллинн, Турку и Стокгольм.

Отсутствие инфраструктуры непосредственно в порту не является барьером для использования СПГ в качестве судового топлива. В этом случае средством доставки СПГ являются суда-бункеровщики. Особенно это удобно для судов, обслуживающих линии между определенными портами, например, контейнеровозов, ролкеров, паромов, круизных лайнеров, а также буксиров и прогулочных судов. Заправка судна СПГ с бункеровщиков дешевле, чем с береговых комплексов.

Переоборудование или строительство бункеровочных барж представляется инновационным решением для морской отрасли. В частности, Jensen Maritime, США (Crowley Maritime Corp.) разработала два проекта барж для бункеровки СПГ:

- для существующих барж – установка надпалубного танка для СПГ или других нефтепродуктов по желанию заказчика, позволяющего быстро менять конфигурацию баржи без существенных технологических издержек;

- для новых барж – строительство модифицированных барж с трюмным размещением СПГ-емкостей различной вместимости.

## Организационные предпосылки

Основные игроки сектора бункеровки проявляют интерес к внедрению СПГ на морском транспорте, и их действия являются непосредственными предпосылками по развитию морского газомоторного транспорта. Основных участников сектора можно условно разделить на четыре группы (табл. 3).

Таблица 3

<p>Поставщики и производители бункерного топлива</p>	
<p>Судостроители Судовладельцы Операторы судов Фрахтователи Брокеры</p>	
<p>Собственники терминалов Операторы терминалов Арендаторы мощностей</p>	
<p>Международные организации</p>	

Одной из наиболее активных нефтегазовых компаний, стремящейся к диверсификации своего бизнеса и развитию газомоторного транспорта, является концерн Royal Dutch Shell. Shell заключила соглашение с компаниями AIDA и Costa Cruises на бункеровку круизных судов на СПГ в европейских портах Средиземного и Северного морей.



## Программы международных организаций по поддержке развития бункеровки СПГ

Организации	Программы	Цели
Европейская комиссия (ЕС)	CEF (Connecting Europe Facility)	Проектное финансирование транспорта, энергетики и высокотехнологичных проектов в рамках Европейского Союза
Международная морская организация (IMO)	Введение стандартов для повышения энергоэффективности действующих судов	Проектирование судов с учетом новых стандартов
Международное общество операторов газовозов и терминалов (SIGTTO)	Использование СПГ в качестве судового топлива	Обмен опытом в области использования сжиженного газа, в том числе в использовании газа в движительных установках танкеров-газовозов, в способах перевозки газа и работе терминалов
SEA\LNG партнерство	Продвижение СПГ в качестве топлива для судоходной отрасли на международном уровне	Объединение опыта и знаний крупнейших судовладельцев, экспертов в области энергетики, классификационных обществ, портовых сооружений Carnival Corporation. Участники: DNV-GL, GTT, GE Marine, Lloyds Register, ENGIE, Qatargas, Shell Downstream, Mitsubishi, ENN Group, NYK Line, TOTE, Wärtsilä, Порт Роттердам
Общество за газ в качестве судового топлива (SGMF). Образовано при участии SIGTTO в форме неправительственной организации (НПО)	Обеспечение безопасности при эксплуатации судов, использующих СПГ в качестве топлива, и других операций, связанных с поставкой СПГ как топлива	Содействие разработке критериев безопасного использования СПГ в качестве судового топлива

Gasnor (Shell – 100 %) – пионер малотоннажного производства СПГ и один из ключевых поставщиков СПГ для бункеровки судов в Северной Европе. Опираясь на свою обширную распределительную сеть, компания обеспечивает бункеровку растущего флота судов, работающих на СПГ. Gasnor стала пионером в области маркетинга природного газа в Норвегии и взяла на вооружение инновации, которые помогают поставлять природный газ операторам судов и промышленным компаниям в Европе, где использование газа, поступающего по трубопроводам, нецелесообразно. В настоящее время компания эксплуатирует три собственных завода по производству СПГ на западном побережье Норвегии. Продукция этих заводов поставляется промышленным компаниям и растущему флоту судов на СПГ. На данный момент Gasnor осуществляет бункеровку примерно 30 судов.

Мировые производители судовых дизельных двигателей (Wärtsilä, MAN, Rolls Royce) разрабатывают многотопливные малооборотные двигатели, способные использовать в качестве топлива мазут, дизельное топливо и СПГ.

Wärtsilä и MAN совместно с рыболовецкой компанией Asbjørn Selsbane AS (Норвегия) изучили возможность применения двигателей на СПГ на рыболовных судах. Разработчики проекта предлагают переоборудовать или перевести на газ новые суда, что технически реализуемо и экономически оправданно. Исследование проводилось в рамках гранта от Норвежского Фонда сокращения выбросов NO<sub>x</sub> (Norway's NO<sub>x</sub> Fund).

Судостроители в свою очередь активно заключают контракты на строительство или переоборудование судов, применяющих в качестве судового топлива СПГ, а также контракты на проектирование таких судов.

Компании Vopak и Gasunie, которые имеют опыт создания крупных объектов инфраструктуры, построили терминал, позволяющий связать уже действующий крупный терминал Gate в порту Роттердам с мелким рынком СПГ.

Международные организации также ставят перед собой цели по поддержке развития бункеровки СПГ (табл. 4) в крупных портах, обучению заинтересованных сторон в отношении рисков и возможностей использования СПГ.

## Регулятивные предпосылки

Введение требований к судовому топливу наиболее активно провели (лоббировали) страны Северной Европы. Эти страны имеют национальные программы и стратегии, способствующие росту СПГ-инфраструктуры в регионе и строительству СПГ-флота.

В Норвегии строительство судов на природном газе (не являющихся газовозами) стимулируется экономическими мерами. В стране организован специальный правительственный фонд – Norway's NO<sub>x</sub> Fund. За счет средств фонда оказывается поддержка проектам, ведущим к снижению выбросов NO<sub>x</sub>, – предоставляются субсидии судовладельцам, переоборудующим или заказывающим новые суда на газовом топливе. Размер субсидий покрывает до 80 % дополнительных затрат на установку газовых двигателей и размещение криогенных танков для хранения газового топлива. Средства фонда формируются за счет отчислений промышленными и транспортными предприятиями, осуществляющими выбросы оксидов азота.

Таблица 5

**Программы государственного стимулирования перехода судов на использование СПГ**

Страна	Получатель субсидии	Назначение	Размер субсидий, млн евро
Финляндия	Судостроительные компании	Переоборудование работающих на Балтике судов	7
	Порты	Строительство терминала по бункеровке СПГ	36
Германия	Судовладельцы	Перевод всех контейнеровозов на СПГ	н/д
ЕС	Организация Балтийских портов, ОБП (ВРО): Орхус, Хельсингборг, Хельсинки, Мальме-Копенгаген, Таллинн, Турку, Стокгольм	Программа «СПГ в портах Балтийского моря» (в рамках Программы ЕС TEN-T)	4,7



Таблица 6

## Национальные подходы к СПГ-бункеровке

Страна	Требования к судам на СПГ	Требования к бункеровке судов СПГ	Справка
Германия	Временное руководство MSC.285(86) перенесено в национальное законодательство	Не регулируется. Процедура требует особого разрешения	Разрабатывается закон на основе исследования DNV GL «Бункеровка СПГ в портах Германии»
Швеция	Проведена национальная процедура одобрения MSC.285(86)	Не регулируется на национальном уровне. Некоторые порты дают специальное разрешение на проведение процедуры	Порты Гётеборг и Стокгольм имеют свои утвержденные руководства по проведению бункеровки
Россия	Нормативные ограничения отсутствуют в Правилах Российского морского регистра и Российского речного регистра по применению газового топлива на судах	По согласованию с компанией	В 2015-2020 гг. в РФ реализуется госпрограмма по внедрению газомоторной техники с разделением на отдельные подпрограммы по различным видам транспорта, включая морской

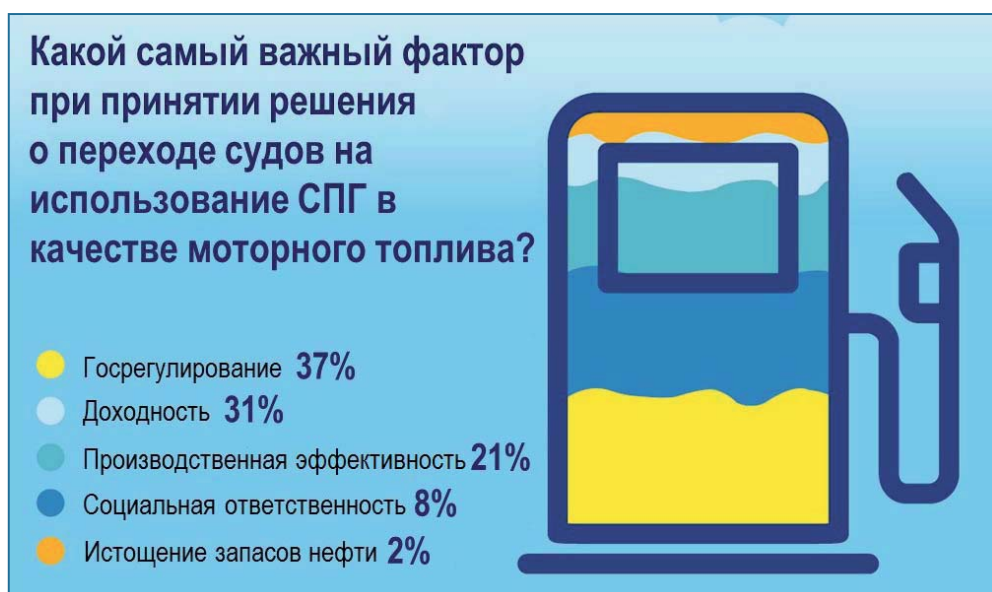
В ряде стран Европы реализуются программы государственного стимулирования (табл. 5, 6) перехода судов на использование СПГ как судового топлива и проекты, связанные с бункеровкой СПГ.

Принятие программ государственного регулирования и стимулирования перехода судов на использование СПГ может стать ключевым драйвером развития сектора СПГ-бункеровки.

Таким образом, в долгосрочной перспективе СПГ может стать привлекательной альтернативой традиционному топливу. Особенно для морских судов, находящихся в эксплуатации в районах контроля выбросов (ЕСА), в непосредственной близости от мест добычи, заводов и терминалов СПГ, вблизи бункеровочных станций.

Подтверждением данных слов может служить экспертное мнение более 500 отраслевых специалистов, опубликованное организаторами саммита LNG Bunkering Summit 2018. На рисунках ниже показаны результаты опроса.





## Что будет основным препятствием для развития СПГ-бункеровки?



## В каком регионе развитие сектора СПГ-бункеровки будет происходить быстрее в 2018 году?



## Что будет способствовать развитию сектора СПГ-бункеровки?



## Выставка GasSuf 2018: важное событие в сфере газомоторной отрасли в России и Европе

Директор выставки GasSuf Ирина Вершинина рассказала журналу «Транспорт на альтернативном топливе» о предстоящей 16-й Международной выставке газобаллонного, газозаправочного оборудования и техники на газомоторном топливе GasSuf 2018.

*Ирина, выставка GasSuf состоится в этом году уже в 16-й раз, есть ли какие-то перемены в газомоторной отрасли, и как сказываются они на выставке?*

Значительных перемен в этом году мы не наблюдаем, газомоторный рынок России довольно-таки стабилен и демонстрирует рост. В этом году чувствуется особое внимание к выставке со стороны иностранных компаний, заинтересованных в продвижении газобаллонного оборудования на российский рынок. Мы это связываем с тем, что в настоящий момент выставка GasSuf является одной из крупнейших в Европе в данной тематике. Свои экспозиции представят компании из Польши, Италии, Китая, Кореи, Германии, Белоруссии, Чехии, Турции.



*Посетителей из каких профессиональных областей вы ждете на выставке? И какие маркетинговые инструменты используете, чтобы привлечь их?*

Мы стараемся привлекать только целевых посетителей, заинтересованных в закупке оборудования, которое представляют участники выставки. Регулярные рассылки по e-mail специалистам дают возможность проинформировать большое количество представителей различных фирм и предприятий: сервисных компаний по установке и переоборудованию транспорта на газомоторное топливо; оптовых и розничных компаний по продаже газобаллонного оборудования; автозаводов; автопарков логистических и крупных производственных компаний; автоколонн и автобусных парков городского общественного транспорта; компаний по строительству и проектированию газозаправочных станций.

*Расскажите подробнее, какое оборудование будет представлено на выставке?*

На выставке GasSuf есть три тематических раздела, в рамках которых и формируется состав участников. Первый раздел – газобаллонное оборудование, второй – газозаправочное оборудование, третий – техника на газомоторном топливе.

Конечно, самым большим по составу участников является раздел с газобаллонным оборудованием, в котором будут представлены баллоны, электроники, автозапчасти и автокомпоненты для перевода автотранспорта на газ.

Среди участников этого года: Auto-Gaz Centrum, Certools, Global Gas, Graf S.p.a., Forno Gas, Hami Tech CO, HL Propan, Landi Renzo, LPG Tech, Rezol (Lovato), Автогаз Эксперт (Zavoli), БАЛСИТИ, «Газпарт 95», «Левитэк», «Марафон», «Микрометан», «Ника НПК», «Русские Цилиндры» и другие.





## Выставки, форумы, конференции

Газобаллонное и газозаправочное оборудование, представленное на выставке GasSuf, предназначено для заправки пропан-бутаном (СУГ) и метаном.

***Ирина, есть ли разница в оборудовании для пропан-бутана и метана? И как определить, какое оборудование лучше выбрать?***

Определенно есть, и существенная. Начну с того, что метан – это природный газ, без цвета и запаха. Для заправки автомобилей метан используют в сжатом (КПП) или сжиженном (СПГ) виде. Газобаллонное оборудование под КПП немного тяжелее, чем оборудование для пропана, так как метан необходимо удерживать в компримированном состоянии. Соответственно и установка метанового оборудования обойдется автовладельцу немного дороже, чем для пропана. Но со временем оборудование быстро окупается, и экономия на топливе получается гораздо более существенная. Установка оборудования для СУГ будет стоить дешевле, но расходы на это топливо будут заметно дороже, чем на метан. В любом случае, при переводе транспорта на СУГ или природный газ автовладелец получает существенную экономию. По данной теме в рамках деловой программы GasSuf состоится панельная дискуссия, в которой как раз будет обсуждаться сравнение эксплуатационных и экономических особенностей установки и использования оборудования для СУГ и метана. Будут рассмотрены уже готовые кейсы компаний, которые перевели свой автотранспорт на пропан и метан.

***Вот мы и подошли к деловой программе. Расскажите, какие мероприятия запланированы в этом году в рамках деловой программы?***

Мероприятия деловой программы в этом году будут проходить все три дня, с 23 по 25 октября. В первый день состоится сессия: «Развитие газозаправочной инфраструктуры и транспорта на газомоторном топливе». Будут рассмотрены вопросы по развитию транспортной системы и состоянию рынка газомоторного топлива, планы реализации проектов по развитию сети газозаправочной инфраструктуры, перспективы развития многотопливных АЗС и использование ПАГЗ. Запланировано проведение круглого стола на тему: «Как увеличить закупки транспорта и техники на ГМТ в субъектах РФ?».

Сессия второго и третьего дня будет посвящена теме: «Эксплуатация транспорта на ГМТ и установка ГБО». Будут затронуты следующие вопросы: этапы и процедура регистрации переоборудования ГБО; безопасная эксплуатация автомобилей, работающих на ГМТ; требования к организациям, выполняющим услуги по установке ГБО; сертификация автосервиса на соответствие услуг по переоборудованию и техническому обслуживанию ТС; соответствие техническим требованиям по установке ГБО и техническому обслуживанию; применение технического регламента 018/2011 при внесении изменений в конструкцию ТС при установке ГБО и другие темы.

***И напоследок – почему стоит посетить выставку GasSuf? Какие аргументы вы можете назвать, чтобы у специалистов появилось намерение прийти на выставку?***

Выставка – это живое общение, что очень важно для развития b2b бизнеса. На выставке посетители могут провести личные встречи и переговоры с представителями сразу нескольких компаний, ознакомиться с оборудованием и оценить его характеристики, сравнить цены и выбрать наиболее выгодные условия сотрудничества.

Будем рады видеть всех на выставке GasSuf, которая состоится с 23 по 25 октября 2018 года в Москве, КВЦ «Сокольники», пав. 4.1.

**Для бесплатного посещения выставки специалисты  
могут получить электронный билет на сайте [www.gassuf.ru](http://www.gassuf.ru)**

## Обзор публикаций российских СМИ

### Инфраструктура

#### Росавтодор

В Федеральном дорожном агентстве состоялось совещание по вопросам строительства в России газозаправочной инфраструктуры и расширения использования природного газа в качестве моторного топлива в рамках реализации Концепции развития объектов дорожного сервиса (ОДС) вдоль федеральных автомобильных дорог, разработанной Росавтодором.

В мероприятии приняли участие заместитель руководителя Федерального дорожного агентства Игорь Астахов, начальник управления земельно-имущественных отношений Росавтодора Александр Лукашук, заместитель начальника управления земельно-имущественных отношений Росавтодора Владимир Яшков, депутат Государственной Думы РФ, член комитета по транспорту и строительству ГД РФ Александр Старовойтов, президент Ассоциации компаний сервиса и туризма Денис Арсентьев, коммерческий директор по реализации газа и жидких углеводородов ПАО «Новатэк» Алексей Кувандыков, заместитель директора департамента маркетинга и реализации газа ПАО «Новатэк» Дмитрий Капошко, заместитель генерального директора по развитию и капитальному строительству ООО «Лукойл – нефтепродукт» Оксана Круглова, а также представители малого и среднего бизнеса, экспертное сообщество.

По словам Игоря Астахова, в настоящее время федеральную дорожную сеть обслуживает свыше 700 подрядных организаций с парком техники около 10 тысяч единиц. Среди такого большого количества подрядчиков все больше и больше тех, кто уже либо перевел часть своего парка на газомоторное топливо, либо заинтересован в этом ввиду значительной экономии. При этом, к сожалению, ощущается отсутствие достаточно широкой газозаправочной инфраструктуры, в связи с чем данная техника вынуждена работать на расстоянии в 70-80 км от заправочной станции. Кроме того, растет количество потребителей газа среди перевозчиков и частных лиц.

«Рынок газомоторного топлива является перспективным направлением развития, так как сжиженный природный газ обладает большим потенциалом применения на автомобильном транспорте при дальнемагистральных грузовых и пассажирских перевозках. Необходимо выработать механизм взаимодействия государства с производителями газомоторного топлива и потребителями, чтобы газозаправочные станции имели широкое присутствие на федеральных автомобильных дорогах наравне с обычными АЗС для обеспечения потребности в данном экономичном и экологичном виде топлива всех – и частных лиц, и предприятий», – отметил заместитель главы Росавтодора.

Заместитель начальника управления земельно-имущественных отношений Федерального дорожного агентства Владимир Яшков рассказал о реализации Концепции развития ОДС Росавтодора и ее главной части – Генеральной схемы размещения объектов. Напомним, что она предполагает создание свыше 700 новых объектов сервиса и более 250 многофункциональных зон, расположенных вдоль федеральных дорог. Точки размещения уже определены, будущие ОДС, которые отмечены на схеме, можно рассматривать в том числе в качестве площадки под строительство автомобильных газонаполнительных компрессорных станций (АГНКС).



Для обеспечения дальнейшего взаимодействия в данной сфере планируется подписание двустороннего соглашения между Федеральным дорожным агентством и ПАО «Новатэк» в рамках Международной специализированной выставки «Дорога 2018», которая пройдет в октябре в Казани. В документе предполагается предусмотреть дорожную карту по размещению газозаправочных станций в зонах дорожного сервиса.

В завершение совещания с докладом выступил член комитета по транспорту и строительству Государственной Думы РФ Александр Старовойтов. Он назвал наиболее актуальные вопросы реализации Концепции развития объектов дорожного сервиса на федеральных трассах и предложил вынести на дальнейшее обсуждение необходимость внесения поправок в действующее законодательство.

<https://glasnarod.ru/vlast/189060>

### Пермь

По данным департамента дорог и транспорта Перми, на начало июня в городе насчитывалось 153 единицы общественного транспорта на газомоторном топливе (ГМТ). Это 19 % от числа автобусов, ежедневно выходящих на линию, и 14 % от общего объема автопарка (с учетом резервного транспорта). Вместе с тем известно, что в середине июня на трех пермских маршрутах появились 12 автобусов на ГМТ, а к июлю, как утверждают в администрации, доля такой техники выросла до 30 %. Перевозчики готовы переходить на газ, но не хватает то заправок, то средств.

В середине августа участники рынка встретились с производителем газомоторной техники компанией «РариТЭК». Специалисты компании представили свои разработки, которые заинтересовали предпринимателей, однако последние посетовали на недостаточно развитую инфраструктуру – в городе всего четыре АЗС, и их мощность автобусников не удовлетворяет.

«Перевозчики двумя руками «за» покупку газомоторной техники, но для расширения автопарка необходимо решить проблемы с инфраструктурой», – говорит предприниматель Александр Стерлягов. Сейчас заправка газовых автобусов сопровождается часовыми очередями и зачастую происходит по ночам. Мощностей одной станции хватает на одновременную заправку одного-двух автобусов.

Тем не менее для некоторых перевозчиков эти проблемы стали уже неактуальны. Так, запуск АЗС по ул. Ласьвинской, 98 удовлетворил потребности закамских перевозчиков. По словам директора компании «Закамский автобус» Вадима Стерхова, «местным» ее возможностей хватает, а «чужие» на эту станцию не ездят из-за ее отдаленного расположения. Вместе с тем из-за финансовых сложностей покупка газомоторной техники для перевозчика – далеко не первостепенная задача. «Тариф на проезд не повышали с начала 2016 года, а себестоимость перевозки растет. Именно по этой причине некоторые перевозчики отказываются обслуживать маршруты», – отмечает

В. Стерхов. За последнее время департамент дорог и транспорта получил несколько уведомлений от предпринимателей о прекращении работы по договорам.

С одного из маршрутов (№ 34 «Площадь Дружбы – Новые Ляды») собирается уйти компания «Дизель». Ее директор Эдуард Мирзамухаметов рассказал, что в сложившейся ситуации приходится «сбрасывать балласт» – отказываться от обслуживания наиболее убыточных направлений.

– На сегодняшний день мы получили субсидии «за убыточность» за июнь, но не полностью, а только 30 %. Нас собрали, объяснили, что сейчас надо затянуть пояса и как-то продержаться до нового года. Потому что денег сейчас нет, а с проектом изменений в бюджет департамент транспорта выйдет только на октябрьскую Думу. Это повторяется из года в год. Как правило, мы получаем субсидии в 20-х числах декабря, – рассказал Э. Мирзамухаметов. – Мы написали уведомление о расторжении договора по маршруту № 34, чтобы как-то удержаться на плаву.

Об обновлении подвижного состава в таких условиях речь не идет.

Для начальника городского департамента дорог и транспорта Перми Романа Залесинского отказ предпринимателей от работы на убыточных маршрутах – аргумент в пользу приобретения автобусов для муниципального предприятия «Пермгорэлектротранс», о чем он заявил на площадке Торгово-промышленной палаты, где обсуждали проблемы пассажирских перевозок. Официально подробности планов по приобретению автобусов муниципалитетом не раскрываются. Однако известны примерные расчеты. Так, на покупку 101 единицы газомоторной техники потребуется от 830 млн до 1 млрд рублей в зависимости от модели. На такое же количество дизельных автобусов – от 930 млн до 1,1 млрд рублей. Однако при приобретении газомоторной техники возникнут дополнительные расходы – на реконструкцию автобазы и строительство заправочной станции.

К этому варианту властей могут подтолкнуть решения, принимаемые на уровне руководства страны. Согласно программе правительства России, к 2020 году половина общественного транспорта должна использовать газомоторное топливо. На покупку автобусов предоставляется субсидия, если техника произведена на территории государств – участников Единого экономического пространства и не ранее 2014 года. В мае президент Владимир Путин утвердил перечень поручений по итогам прошедшего совещания с членами правительства по вопросу расширения использования газомоторного топлива. В частности, до 1 октября президенту должны доложить о мерах по развитию газозаправочной сети и обеспечению ее загрузки до коммерчески эффективного уровня. Кроме того, необходимо представить предложения по механизмам персональной ответственности руководителей субъектов РФ по развитию рынка газомоторного топлива.

<https://www.business-class.su/news/2018/>

## Льготы

### Невельск

Первый вице-мэр Невельского городского округа Дмитрий Любчинов провел совещание, в котором приняли участие представители ОМВД, специалисты районной администрации и индивидуальные предприниматели, осуществляющие перевозки пассажиров в сфере такси. Участники совещания обсудили вопросы переоборудования автомобилей на газомоторное топливо и компенсации расходов автовладельцам.

В Сахалинской области делается ставка на экологические стандарты, и Невельский район не станет исключением. Практически 99 % топлива, которое



использует автомобильный транспорт, составляет бензин и дизель. Это положение неизменно уже несколько десятилетий. В последние годы государство начало активно стимулировать переход коммерческого и общественного транспорта на газ, так как использование природного газа на транспорте, благодаря его низкой стоимости, станет эффективным инструментом экономии для владельцев коммерческих автопарков.

Дмитрий Любчинов подчеркнул, что перевод личного автотранспорта на газомоторное топливо будет осуществляться собственниками автотранспорта. Для того, чтобы переоборудовать свой автомобиль под газ, владельцу придется понести определенные расходы, которые будут компенсированы в размере 70 % от фактических затрат. Для ветеранов Великой Отечественной войны, пенсионеров, инвалидов и семей с детьми-инвалидами, детей, потерявших кормильца, малоимущих граждан размер компенсации составит 100 %. В обязательном порядке будет учитываться главный критерий перевода – газовое оборудование должно быть установлено в специализированном центре Сахалинской области.

На совещании также было отмечено, что по инициативе областных властей для тех сахалинцев, кто решит переоборудовать свое авто на голубое топливо, транспортный налог будет снижен в два раза.

«Процедура переоборудования несложная. Автомобиль получает дополнительную топливную систему, которая наряду со штатной позволяет использовать в качестве горючего для двигателя природный газ. В зависимости от технических особенностей и габаритов машины устанавливаются газовые баллоны вместимостью от 40 до 150 литров. По своему усмотрению автовладелец может ездить как на бензине, так и на газе», – рассказал участникам совещания Максим Лискин, руководитель МКУ «Управление гражданской защиты и обеспечения деятельности».

В настоящее время сдерживающим фактором перехода на газовое топливо является отсутствие специализированных газозаправочных станций на территории Невельского района. Для решения этого вопроса в Невельске уже выделен в аренду земельный участок, на котором инвестор планирует построить АЗС, где, кроме прочего, будет оборудована заправка для газомоторного транспорта.

По материалам <https://sakhalin.info/news/156388/>

## Производство

### Курган

Курганский автобусный завод (КАВЗ) планирует увеличить выпуск автобусов на природном газе. Рынок показывает, что такие автобусы востребованы. Применение двигателей на КПГ не только уменьшает затраты перевозчиков на топливо, но значительно улучшает экологическую ситуацию. В 2017 году КАВЗ выпустил 135 автобусов на природном газе, прогноз на 2018 год составляет порядка 170 автобусов.

Власти Курганской области заявили о планах перевести более трети пассажирского транспорта региона на метан к 2021 году.

В 2016 году в России заработала государственная программа поддержки производителей техники на газомоторном топливе, которая подразумевает финансовые преференции со стороны государства. Государственная программа экономически выгодна как для покупателя, так и для предприятия: завод-изготовитель получает определенную субсидию, на эту же сумму уменьшается цена автобуса для перевозчиков. В 2018 году федеральная субсидия составляет 1,9 млн руб.

<http://tass.ru/ural-news/5498235>

# Обзор зарубежных публикаций по ГМТ

## Инфраструктура

### Эстония



Заправка Eesti Gaas

На заправочных станциях Eesti Gaas в Эстонии наряду с сжатым природным газом (КПГ) начались продажи так называемого «зеленого» газа, произведенного из биоразлагаемых отходов, сточных вод и их осадков, отходов сельского хозяйства, а также биомассы разного происхождения.

Природный газ в качестве автомобильного топлива можно покупать как в чистом виде, так и в смеси с зеленым газом. По составу и качеству природный и зеленый газы не отличаются, для автомобилей оба подходят одинаково, и их можно использовать в комбинированном виде.

Потребление топлив и спрос на них растут, несмотря на то, что цены с 1 июля выросли в связи с подорожанием использования сети передачи Elering и ростом мировых цен на газ. На заправках Eesti Gaas 1 кг КПГ стоит 0,859 евро, зеленого газа – 0,899 евро.

В Eesti Gaas прогнозируют продолжение роста объемов продаж КПГ и зеленого газа в целом и в ближайшие месяцы в частности. Одним из главных аргументов для потребителя, кроме экологичности, является выгодная цена топлив. При использовании газа объем расходуемого автомобилем топлива на километр пробега почти в два раза меньше, чем традиционного топлива.

Eesti Gaas поставляет клиентам природный газ по трубам, а также в виде сжатого (КПГ) и сжиженного (СПГ) природного газа. Кроме того, предприятие продает электроэнергию частным потребителям и бизнес-клиентам

и занимается развитием различных решений в области производства энергии.

Источники: Postimees; Baltic News Service <https://rus.postimees.ee/4514184/>

### Испания

В сентябре в порту Барселоны вводится в эксплуатацию заправочная станция СПГ и КПГ для транспортных средств, работающих в порту. Среди преимуществ использования природного газа портовые власти отмечают снижение эксплуатационных расходов порта и улучшение экологической обстановки в городе.

Оператор станции – компания НАМ, которая построила в общей сложности 18 станций, и планирует дальше расширять свою сеть.



Новая заправка в порту Барселоны

Источник: WSJ

Компания Calvera, специализирующаяся в области технологий для газового транспорта, поставила для испанской Naturgy (ранее – Gas Natural Fenosa) первую в Европе передвижную газозаправочную станцию. Передвижной заправщик способен перевозить до 4 тыс. кг КПГ или биогаза, а также производить заправку транспортных средств напрямую.

Заправочная станция предназначена для обслуживания общественного транспорта – городских автобусов в испанском городе Херес-де-ла-Фронтера. Один заправщик способен обслужить до 40 автобусов или тяжелых грузовиков, которым хватит топлива на 400 км.

Naturgy планирует развивать заправочную инфраструктуру для транспорта на КПГ в Евросоюзе и Латинской Америке. Эта современная технология способна в корне изменить ситуацию на рынке, открывая новые возможности использования газа в различных секторах промышленности, а также упрощая доступ к данному виду топлива для транспортных компаний, стремящихся уменьшить объемы вредных выбросов в атмосферу.

Источник: WSJ



### Проект ECO-GATE

В рамках проекта BESTWay компания Naturgy построит девять заправочных СПГ-станций на протяжении 2 тыс. км от Парижа до Альхесираса – вдоль атлантического побережья Франции через Пиренейский полуостров. BESTWay финансируется Naturgy совместно с Европейским фондом.

Целью проекта является создание коридора с заправкой транспорта на СПГ по единым европейским стандартам, позволяющим эффективно подключаться к другим европейским коридорам.

Другой проект под названием ECO-GATE предполагает строительство 20 станций на автомагистралях от Средиземноморья до Атлантического океана, от Германии до Португалии через Францию и Испанию.

Источник: BESTWay LNG stations; Inea.eu

### Справка

В Европейском Союзе действует директива Европейского парламента и Европейского Совета о развёртывании инфраструктуры альтернативного топлива, на основе которой разрабатываются национальные рамочные программы.

**BESTWay** – (Boosting Energy Sustainable fuels for freight Transport in European motorWays) проект ЕС в области транспортной инфраструктуры альтернативного топлива во Франции и Испании. Начало и завершение проекта – 2014-2018 гг. (по июнь проект не закрыт). Стоимость проекта – 7,7 млн евро. Поддержка ЕС – 50 %. Оператор проекта – Naturgy (Испания).

Цель проекта – создание сети заправок КПП вдоль транспортных коридоров в Испании и Франции.

**ECO-GATE** (European Corridors for natural GAs Transport Efficiency) – проект ЕС в области транспортной инфраструктуры во Франции, Испании, Португалии. Начало и завершение проекта – 2016-2019 гг. Стоимость проекта – 19,7 млн евро. Поддержка ЕС – 50 %. Оператор проекта – Naturgy (Испания).

Цель проекта – создание коридоров для транспортных средств, работающих на природном газе, с использованием новых технологий и инновационных решений



в отношении логистических услуг, качества топлива, инфраструктуры дозаправки, производителей транспортных средств и комплектующих, производственных процессов.

<https://ec.europa.eu/inea/connecting-europe-facility/cef-transport/projects-by-transport-corridor>

### Узбекистан

Проблема газообеспечения отдаленных сел и создания условий для заправки автомобилей при отсутствии стационарных АГНКС в Узбекистане практически решена. Страна начала собственное производство передвижных газонаполнительных аккумуляторных станций (ПГАС). Производство ПГАС налажено в свободной экономической зоне «Ангрен» совместным предприятием UNG Enk Mobile (Узбекнефтегаз и NK Group, Республика Корея), созданным в октябре 2017 года.

В январе 2018 года в Ташкентскую область для пробной эксплуатации были доставлены две ПГАС с диспенсерами (газозаправочные колонки). Весной во время полевых на этих станциях заправлялась КПП специальная сельскохозяйственная техника.



Узбекнефтегаз предлагает передвижные газонаполнительные станции, главным образом, региональным предпринимателям. Именно они, зная нужды своего региона, смогут определить, где именно рентабельно поставить ПГАС. Станции, например, можно устанавливать в непосредственной близости от полей в период проведения сельскохозяйственных работ. ПГАС имеет объем 5,3 тыс. м<sup>3</sup> газа и позволяет обеспечить заправку КПП 30 тракторов. Дозаправка передвижных станций будет осуществляться на стационарных АГНКС, собственники которых также заинтересованы в развитии ПГАС.

UNG Enk Mobile уже заключила первые договоры и начала поставки.

Узбекистан и другие страны все активнее используют газомоторное топливо для сельскохозяйственных машин и другого автотранспорта.

Источник: Узбекнефтегаз

## Транспорт на природном газе

### Германия



Новый круизный лайнер AIDAnova

21 августа 2018 года круизный лайнер AIDAnova на сжиженном природном газе покинул верфи судостроительной компании Meyer Werft в Папенбурге (Германия). В декабре, после завершения испытаний, судно отправится из Гамбурга в свой первый рейс.

Три корабля класса Helios на СПГ заказала компания Carnival – крупнейший оператор круизных лайнеров. Carnival инвестировала в расширение своего флота свыше 3 млрд евро. Особенностью новых лайнеров является новая концепция Green Cruising – использование в качестве топлива природного газа, которое позволяет на 25 % уменьшить вредные выбросы в атмосферу.

В начале 2018 года Немецкий союз охраны природы был возмущен тем, что на рынке по-прежнему представлены корабли, рассчитанные на тяжелое топливо и не использующие эффективные технологии в решении проблемы выхлопных газов. В частности, многие суда не оборудованы фильтрами сажевых частиц.

Круизный туризм развивается, при этом население крупных портовых городов Европы страдает из-за чрезмерного загрязнения воздуха. Союз призвал запретить вход «грязных» судов в европейские порты. По мнению экспертов организации, это позволит в некоторой степени преодолеть угрозу для здоровья местных жителей и чувствительных экосистем.

Переход на использование СПГ в качестве морского топлива – своевременное решение, так как сжиженный природный газ считается менее вредным для окружающей среды, чем дизельное топливо.

Источник: DW

### Индия



Заправка GAIL Gas

Индийская компания GAIL Gas Ltd в партнерстве с Uber занялись продвижением компримированного природного газа. GAIL Gas построит газозаправочную станцию в международном аэропорту Кемпегоуда в индийском штате Бангалор. Uber переведет часть парка такси – 500 автомобилей, обслуживающих аэропорт, – на использование КПГ в качестве моторного топлива.

Источник: Deccan Herald

### Казахстан

На публичное обсуждение вынесена концепция проекта закона «О внесении изменений и дополнений в некоторые законодательные акты по вопросам газа и газоснабжения», который рассматривает вопросы формирования цен на газ в Казахстане.

Правительством Казахстана было принято решение стимулировать развитие новых инвестиционных проектов, использующих газ в качестве сырья для производства продуктов с высокой добавленной стоимостью, в том числе газового моторного топлива.

Целями принятия законопроекта названы: утверждение справедливой цены на газ для новых стратегически важных инвестиционных проектов, использующих газ для производства продуктов с высокой добавленной стоимостью; сдерживание цен на внутреннем рынке путем утверждения предельных цен приобретаемого национальным оператором газа в рамках преимущественного права государства; синхронизация сроков утверждения цен оптовой реализации товарного газа и предельных цен приобретаемого национальным оператором газа; повышение эффективности и расширение использования природного газа в качестве моторного топлива для потребителей внутреннего и приграничного рынков, транзитного автотранспорта, следующего по международному транснациональному коридору Европа – Китай; модернизация существующей и ускоренное строительство новой газозаправочной инфраструктуры на основе использования передовых инновационных технологий сжижения и компримирования природного газа, перевозки, хранения и выдачи КПГ/СПГ; содействие обновлению и переходу на «зеленое» топливо общественного пассажирского автотранспорта и транспорта коммунально-дорожных служб, внедрение экологически чистого топлива в транспортных секторах других отраслей; повышение благополучия населения и качества окружающей среды путем смягчения воздействия на нее транспортного сектора; повышение национальной энергетической безопасности.

Источник: KZ Press-Club: Внутренняя политика

# Оценка эффективности дозаправки метаном автомобильных баллонов после их охлаждения окружающим воздухом

**С.Ю. Белоусова**, ведущий инженер ЗАО НПП «Маштест»,  
**В.С. Зарубин**, профессор кафедры «Прикладная математика»  
МГТУ имени Н.Э. Баумана, д.т.н.,  
**Я.Г. Осадчий**, генеральный директор ЗАО НПП «Маштест», д.т.н.

С использованием разработанной математической модели тепловых процессов при заполнении метаном типовых металлокомпозитных автомобильных баллонов проведен анализ возможного увеличения конечной массы метана в баллонах путем их дозаправки после охлаждения окружающим воздухом. Получены количественные оценки эффективности двух- и трехэтапного процессов заполнения баллонов двух вариантов конструктивного выполнения при температуре окружающего воздуха в интервале 233...293 К и различной длительности пауз между этапами заполнения.

#### Ключевые слова:

конструктивный тип автомобильного баллона, уравнение состояния метана, тепловая модель баллона, режимы дозаправки.

## Введение

Метан, составляющий основную часть используемого на автомобильном транспорте сжатого природного газа (КПГ), в отличие от большинства газов обладает важной особенностью: при фиксированной температуре и увеличении его давления примерно до 30 МПа плотность метана возрастает быстрее, чем растет давление [1, 2]. При пониженной температуре эта особенность в наибольшей степени проявляется в интервале изменения давления, соответствующем эксплуатации существующих автомобильных баллонов с КПГ.

Отмеченная особенность метана позволяет повысить эффективность эксплуатации баллонов для КПГ в зимний период и в условиях континентального климата при значительных суточных изменениях температуры воздуха. В частности, возникает возможность увеличения массы метана в баллоне в случае заполнения емкости и ее последующей дозаправки после охлаждения при пониженной температуре окружающего воздуха. Это может способствовать увеличению в течение рабочего дня пробега грузовых автомобилей и автобусов на газомоторном топливе, несмотря на пока еще невысокую плотность расположения в ряде регионов страны автомобильных газонаполнительных компрессорных станций (АГНКС), что отмечается при обсуждении мероприятий по расширению сферы применения на отечественном автотранспорте газомоторного топлива [3, 4].



Основной причиной ограничения итоговой массы метана в автомобильном баллоне является повышение температуры газа в силу его сжатия в ограниченном объеме заполняемого баллона, что приводит к снижению плотности метана. Если после завершения этапа заполнения до регламентированного для большинства эксплуатируемых баллонов избыточного давления 20 атм [5, 6], что соответствует абсолютному давлению  $p_* \approx 19,711$  МПа, провести охлаждение метана вместе с конструкцией баллона, то произойдет уменьшение давления при сохранении достигнутой при заполнении плотности газа. Последующая дозаправка баллона снова до достижения давления значением  $p_*$  даст возможность добавить некоторое количество метана и тем самым увеличить его плотность в баллоне.

Такую процедуру можно повторять, приближая значение плотности метана к теоретически возможному максимальному уровню  $\rho_*$ , соответствующему давлению  $p_*$  и температуре охлаждающей среды в виде окружающего воздуха. Однако эффективность каждой последующей дозаправки убывает даже при условии охлаждения баллона перед дозаправкой до уровня температуры окружающего воздуха, что требует, как правило, значительного периода времени.

Рациональным вариантом использования низких температур воздуха в зимний период с их понижением в ночное время представляется проведение первого этапа заполнения баллона в конце рабочего дня с последующим охлаждением ночью и дозаправкой утром перед началом рабочего дня. При достаточно низкой температуре воздуха наряду с охлаждением в ночное время можно использовать сравнительно короткие этапы охлаждения баллона в конце или в начале рабочего дня с последующими дополнительными дозаправками. Количественная оценка эффективности определенного сочетания этапов охлаждения баллона после заполнения и его последующей дозаправки может быть проведена современными методами математического моделирования [7, 8] с использованием тепловой модели автомобильного баллона [9], уравнения состояния метана и соотношений, описывающих интенсивность теплообмена элементов конструкции баллона с метаном и окружающим воздухом.

### Изменение параметров метана при заполнении баллонов

Эффективность каждого этапа заполнения баллона можно оценивать отношением  $\eta = \Delta\rho/\rho_*$ , где  $\Delta\rho$  – увеличение плотности метана в баллоне после завершения данного этапа. Следует отметить, что на значение  $\Delta\rho$  некоторое влияние оказывает скорость заполнения баллона и его конструкция, но основными влияющими факторами являются начальные значения температуры и давления метана в баллоне перед заполнением, а также температура  $T^*$  и давление  $p^*$  метана в газозаправочном устройстве. В случае заполнения баллона на АГНКС значения  $T^*$  и  $p^*$  соответствуют температуре и давлению в контрольно-измерительном участке [6] или в аналогичных устройствах контроля количества поступающего в баллон газа. Темп охлаждения метана в баллоне после этапа заполнения зависит, главным образом, от разности температур  $\Delta T_* = T_* - T_0$ , где  $T_*$  и  $T_0$  – температуры метана в конце этого этапа и окружающего воздуха соответственно, а также от интенсивности теплообмена метана с внутренней поверхностью полости баллона и его внешней поверхности с окружающим воздухом.

Для определения текущего состояния метана при заполнении баллонов необходимо располагать его уравнением состояния, которое связывает между собой его температуру, давление и плотность. Использование известного уравнения состояния совершенного газа (уравнение Менделеева – Клапейрона) применительно к процессу заполнения приводит к существенным погрешностям [9]. Двухпараметрические уравнения Ван-дер-Ваальса для реальных газов [2, 10] и рекомендованное в монографии [11] уравнение Редлиха – Квонга также не обеспечивают достаточной точности описания состояния метана в рабочем диапазоне изменения его давления в автомобильных баллонах. В данной работе использован термодинамический подход [12], позволяющий получить не только уточненный вариант уравнения состояния метана, но и найти необходимые для выполнения численного моделирования процесса заполнения баллонов и их последующего охлаждения зависимости энтальпии и теплоемкости метана от параметров его состояния, а также зависимости его теплопроводности, вязкости и объемного температурного расширения, влияющие на интенсивность теплообмена метана с внутренней поверхностью лайнера металлокомпозитного баллона.

Уравнение состояния дает возможность давление  $p(t)$  метана в баллоне в текущий момент времени  $t$  однозначно представить как функцию текущих значений плотности  $\rho(t)$  метана и его температуры  $T(t)$ . Плотность метана при фиксированной вместимости  $V$  баллона зависит от режима заполнения, определяемого расходом  $\dot{m}(t)$  метана в единицу времени. Тогда можно записать

$$\rho(t) = \frac{m(t)}{V} = \frac{m_0}{V} + \frac{1}{V} \int_0^t \dot{m}(\tau) d\tau,$$

где  $m(t)$  и  $m_0 = \rho_0 V$  – масса метана в баллоне в текущий момент времени  $t$  и в момент времени  $t = 0$ , принимаемый за начальный в процессе заполнения баллона;  $\rho_0 = \rho(0)$  – плотность метана при  $t = 0$ .

Зависимость от времени температуры  $T(t)$  метана в баллоне следует из закона сохранения энергии (первый закон термодинамики [13]) для текущего значения  $m(t)$  массы метана в баллоне, что позволяет записать обыкновенное дифференциальное уравнение [9, 14]

$$c_v(T, \rho) m(t) \frac{dT}{dt} = Q(t) + W(p, T, \rho) \dot{m}(t). \quad (1)$$

Здесь  $c_v$  – измеряемая в Дж/(кг·К) удельная массовая теплоемкость метана при постоянном объеме (изохорическая теплоемкость), зависящая от его температуры и плотности;  $Q(t)$  – измеряемый в Вт тепловой поток, подводимый к метану от внутренней поверхности лайнера металлокомпозитного баллона;  $W$  – тепловая мощность, поступающая в баллон по мере его заполнения метаном и равная

$$W = (p/\rho + H^*(p^*, T^*) - H(p, T)) \dot{m}(t),$$

где  $H^*$  и  $H$  – энтальпия единицы массы метана, зависящая соответственно от давления  $p^*$  и температуры  $T^*$  газа перед его поступлением в баллон и от текущих значений давления  $p$  и температуры  $T$  в баллоне. Графики зависимостей энтальпии и изохорической теплоемкости метана от определяющих параметров, построенные по данным работы [12], приведены в работе [9].

## Тепловая модель металлокомпозитного баллона

Из применяемых баллонов для КПП четырех конструктивных типов [5, 6, 15] существуют два достаточно распространенных вида конструкции цилиндрических металлокомпозитных баллонов: вместимостью 100 л с лайнером из алюминиевого сплава АД33, армированным базальтопластиком по всей наружной поверхности лайнера (тип 3 по ГОСТ Р 51753–2003), и вместимостью 97 л с лайнером из стали 35ХМА, армированным стеклопластиком только по цилиндрической поверхности лайнера (тип 2 по ГОСТ Р 51753–2003). Конструктивные схемы этих баллонов приведены на рис. 1. Более сложной является тепловая модель для баллона типа 3. Поэтому подробнее рассмотрим построение модели для этого типа, которую затем можно несколько упростить применительно к баллону типа 2.

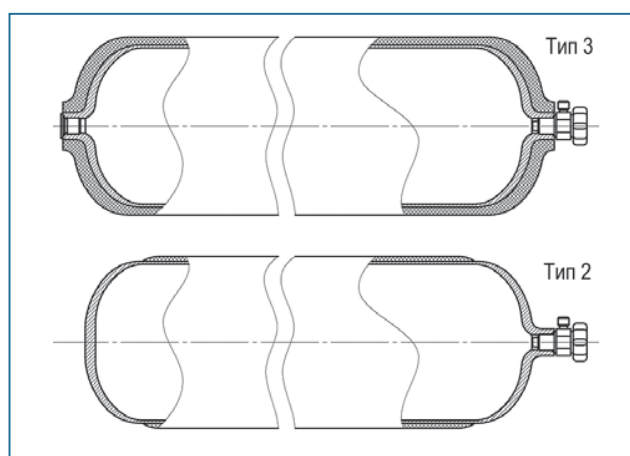


Рис. 1. Схемы баллонов двух конструктивных типов

Первый этап построения тепловой модели баллона состоит в условном разделении его конструкции на отдельные элементы и последующем переходе к его тепловой расчетной схеме, состоящей из сосредоточенных теплоемких масс, связанных между собой термическими сопротивлениями [9, 15, 16]. Входящая в уравнение (1) удельная теплоемкость  $c$ , метана существенно зависит от его изменяющихся в процессе заполнения баллона температуры и плотности, а масса  $m$  зависит от времени. Поэтому полная теплоемкость  $C = c \cdot m$  сосредоточенной теплоемкой массы, соответствующей находяще-

мюся в баллоне метану, будет переменной величиной. Кроме этого, в качестве теплоемких масс в конструкции баллона типа 3 выделим обечайку и днища лайнера, а также армирующие слои на обечайке и днищах лайнера. Удельные теплоемкости конструкционных материалов в ожидаемом интервале изменения температур допустимо считать не зависящими от температуры, что позволяет принять постоянными полные теплоемкости соответствующих сосредоточенных теплоемких масс.

Для каждой сосредоточенной теплоемкой массы, отмеченной кружком на расчетной схеме тепловой модели (рис. 2), указано обозначение полной теплоемкости выделенного элемента и его температуры:  $C$  и  $T$  соответствуют метану,  $C_1$  и  $T_1$  – обечайке лайнера,  $C_2$ ,  $T_2$  и  $C_3$ ,  $T_3$  – соответственно правому (с вентилем) и левому днищам лайнера,  $C_4$  и  $T_4$  – армирующему слою на обечайке лайнера,  $C_5$ ,  $T_5$  и  $C_6$ ,  $T_6$  – армирующим слоям соответственно на правом и левом днищах лайнера. В  $C_2$  следует включить полную теплоемкость латунного вентиля ВМА-2000, а в  $C_3$  – полную теплоемкость стальной пробки. Соответствующие конструктивным элементам полные теплоемкости определяются произведением массы конкретного элемента и удельной массовой теплоемкости его материала.

Термические сопротивления, связывающие между собой выделенные теплоемкие массы, обозначены на рис. 2 литерой  $R$ . Для выполненного в данном случае из достаточно теплопроводного материала тонкостенного лайнера допустимо

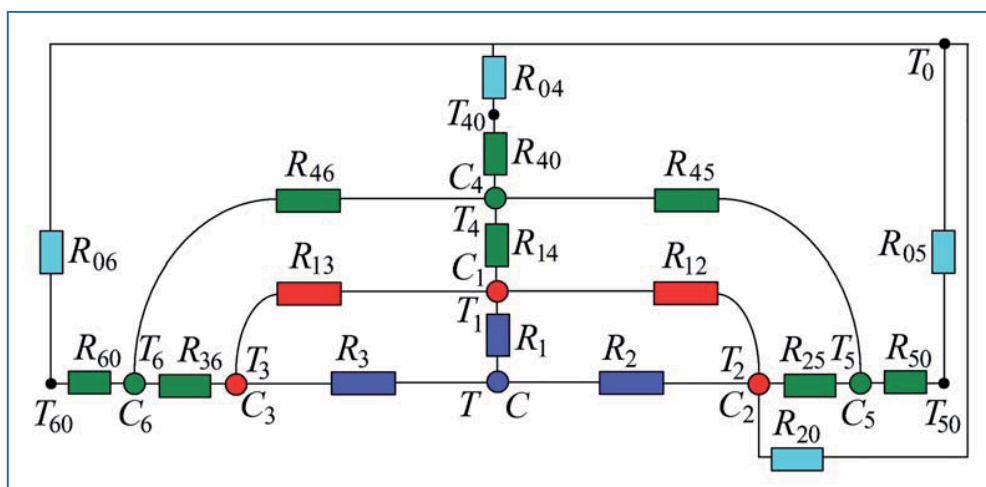


Рис. 2. Расчетная схема тепловой модели баллона типа 3

пренебречь изменением температуры по его толщине. Поэтому температуры  $T_1$ ,  $T_2$  и  $T_3$  соответствующих сосредоточенных теплоемких масс можно считать совпадающими со средними температурами внутренних поверхностей обечайки лайнера и его днищ. Тогда значения термических сопротивлений  $R_1$ ,  $R_2$  и  $R_3$  будут зависеть лишь от интенсивности теплообмена метана соответственно с обечайкой лайнера и с его правым и левым днищами. Теплообмен в замкнутом объеме баллона происходит по механизму естественной конвекции [17], и на его интенсивность влияют разность температур метана и поверхности теплообмена, а также зависящие от температуры  $T$  метана значения его теплофизических характеристик.

Интенсивность теплообмена в условиях естественной конвекции характеризуют коэффициентом теплообмена  $\alpha$ , который входит в критериальное уравнение [17]

$$Nu = C_* Ra^n, \quad (2)$$

где  $Nu = \alpha D / \lambda$  и  $Ra = g_0 \beta D^3 |T - T_i| / \nu a$  – безразмерные критерии подобия (соответственно числа Нуссельта и Рэлея);  $D$  – внутренний диаметр лайнера;  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности метана;  $g_0 = 9,81 \text{ м/с}^2$  – ускорение свободного падения на поверхности Земли;  $\beta$  – температурный коэффициент объемного расширения метана;  $\nu$  и  $a$  – соответственно кинематический коэффициент вязкости и коэффициент теплопроводности метана при температуре, равной  $(T + T_i)/2$ ,  $i = 1, 2, 3$ ;  $C_*$  и  $n$  – эмпирические коэффициенты, определяемые по результатам экспериментальных исследований и зависящие от режима течения в пограничном слое, обтекающем внутреннюю поверхность лайнера.

При достаточно высокой плотности  $\rho$  метана в баллоне число Рэлея  $Ra > 2 \cdot 10^7$ , что соответствует переходному от ламинарного к турбулентному и развитому турбулентному режимам течения в пограничном слое, при которых  $C_* = 0,135$  и  $n = 1/3$  [17].

Значения термических сопротивлений  $R_{04}$ ,  $R_{05}$  и  $R_{06}$ , связывающих внешние поверхности армирующих слоев с окружающим воздухом, имеющим заданную температуру  $T_0$  (см. рис. 2), которая в общем случае может изменяться во времени, зависят от интенсивности теплообмена на этих поверхностях. При отсутствии обдува баллона окружающим воздухом этот теплообмен также определяется



механизмом естественной конвекции, а при наличии такого обдува – механизмом вынужденной конвекции [17]. В обоих случаях на интенсивность теплообмена оказывают влияние температуры поверхностей теплообмена (на рис. 2 это температуры  $T_{40}$ ,  $T_{50}$  и  $T_{60}$  внешних поверхностей армирующих слоев соответственно на обечайке лейнера и на его левом и правом днищах, отличающиеся от температур  $T_4$ ,  $T_5$  и  $T_6$  сосредоточенных теплоемких масс соответствующих армирующих слоев в силу значительной толщины этих слоев и низкой теплопроводности композиционного материала).

Для расчета коэффициента теплообмена на внешней поверхности баллона при отсутствии ее обдува воздухом также можно использовать критериальное уравнение (2), но теплофизические характеристики метана заменить соответствующими характеристиками воздуха при температуре  $(T_0 + T_{i0})/2$ , где  $i = 4, 5, 6$ , а вместо диаметра  $D$  в качестве определяющего размера использовать наружный диаметр баллона.

Термическое сопротивление  $R_{20}$  связывает выделенную теплоемкую массу вентиля в правом днище с окружающим воздухом непосредственно и через подведенный к баллону стальной трубопровод. Коэффициент теплообмена  $\alpha_\tau$  на внешней поверхности трубопровода в силу относительно небольшого определяющего размера, которым является его наружный диаметр  $d$ , будет соответствовать ламинарному режиму теплообмена при естественной конвекции и может быть вычислен с применением критериальной зависимости [17]

$$\text{Nu}_d = 0,372 \text{Gr}_d^{1/4}, \quad (3)$$

где  $\text{Nu}_d = \alpha_\tau d / \lambda_\nu$ ,  $\lambda_\nu$  – коэффициент теплопроводности воздуха;  $\text{Gr}_d = g_0 \beta_\nu d^3 |T_0 - T_2| / \nu_\nu^2$  – безразмерный критерий подобия (число Грасгофа);  $\beta_\nu = 1/273 \text{ 1/K}$  – температурный коэффициент объемного расширения воздуха;  $\nu_\nu$  – кинематический коэффициент вязкости воздуха.

Трубопровод в тепловом отношении можно представить как достаточно длинный тонкий стержень, температура торца которого совпадает с температурой  $T_2$ . Тогда термическое сопротивление трубопровода между вентиляем и окружающим воздухом можно оценить по формуле  $R_{20}' = \alpha_\tau d \lambda_\tau d ((d - h)h)^{-1/2}$ , где  $\lambda_\tau$  и  $h$  – коэффициент теплопроводности материала трубопровода и толщина его стенки. Для расчета коэффициента теплообмена  $\alpha'$  на поверхности вентиля применима формула (3) при использовании в ней вместо диаметра  $d$  характерного размера вентиля. Тогда в итоге получим  $R_{20} = 1/(1/R_{20}' + \alpha' F')$ , где  $F'$  – площадь поверхности вентиля, на которой происходит его теплообмен с воздухом.

Значения остальных термических сопротивлений зависят от геометрических размеров элементов конструкции баллона и коэффициентов теплопроводности материала этих элементов. Например, при коэффициенте  $\lambda_4$  теплопроводности армирующего материала, толщинах  $h_1$  и  $h_4$  обечайки лейнера и армирующего слоя на ее внешней поверхности и длине  $L$  обечайки получим  $R_{14} = (h_4/\lambda_4)/(2\pi(D + 2h_1 + h_4/2)L)$ .

На заключительном этапе построения тепловой модели металлокомпозитного баллона необходимо составить уравнения теплового баланса для всех выделенных сосредоточенных теплоемких масс. Эти уравнения применительно к тепловой расчетной схеме баллона типа 3 (см. рис. 2) входят в систему из семи обыкновенных дифференциальных уравнений (по числу выделенных сосредоточенных теплоемких масс)

$$\left. \begin{aligned}
 C \frac{dT}{dt} &= \frac{T_1 - T}{R_1} + \frac{T_2 - T}{R_2} + \frac{T_3 - T}{R_3} + Win, \\
 C_1 \frac{dT_1}{dt} &= \frac{T - T_1}{R_1} + \frac{T_4 - T_1}{R_{14}} + \frac{T_2 - T_1}{R_{12}} + \frac{T_3 - T_1}{R_{13}}, \\
 C_2 \frac{dT_2}{dt} &= \frac{T - T_2}{R_2} + \frac{T_0 - T_2}{R_{20}} + \frac{T_1 - T_2}{R_{12}} + \frac{T_5 - T_2}{R_{25}}, \\
 C_3 \frac{dT_3}{dt} &= \frac{T - T_3}{R_3} + \frac{T_1 - T_3}{R_{13}} + \frac{T_6 - T_3}{R_{36}}, \\
 C_4 \frac{dT_4}{dt} &= \frac{T_1 - T_4}{R_{14}} + \frac{T_0 - T_4}{R_{40} + R_{04}} + \frac{T_5 - T_4}{R_{45}} + \frac{T_6 - T_4}{R_{46}}, \\
 C_5 \frac{dT_5}{dt} &= \frac{T_2 - T_5}{R_{25}} + \frac{T_4 - T_5}{R_{45}} + \frac{T_0 - T_5}{R_{50} + R_{05}}, \\
 C_6 \frac{dT_6}{dt} &= \frac{T_3 - T_6}{R_{36}} + \frac{T_4 - T_6}{R_{46}} + \frac{T_0 - T_6}{R_{60} + R_{06}}.
 \end{aligned} \right\} (4)$$

Для однозначного решения этой системы необходимо в момент времени  $t = 0$ , принимаемый за нуль отсчета, задать начальные значения температур всех семи сосредоточенных теплоемких масс.

Текущее значение температуры внешней поверхности армирующего слоя на обечайке лайнера зависит от текущих значений  $T_0$  и  $T_4$  и равно

$$T_{40} = (T_0 R_{40} + T_4 R_{04}) / (R_{40} + R_{04}), \quad (5)$$

где  $R_{40} = (h_4 / \lambda_4) / (2\pi(D + 2h_1 + 3h_4/2)L)$ .

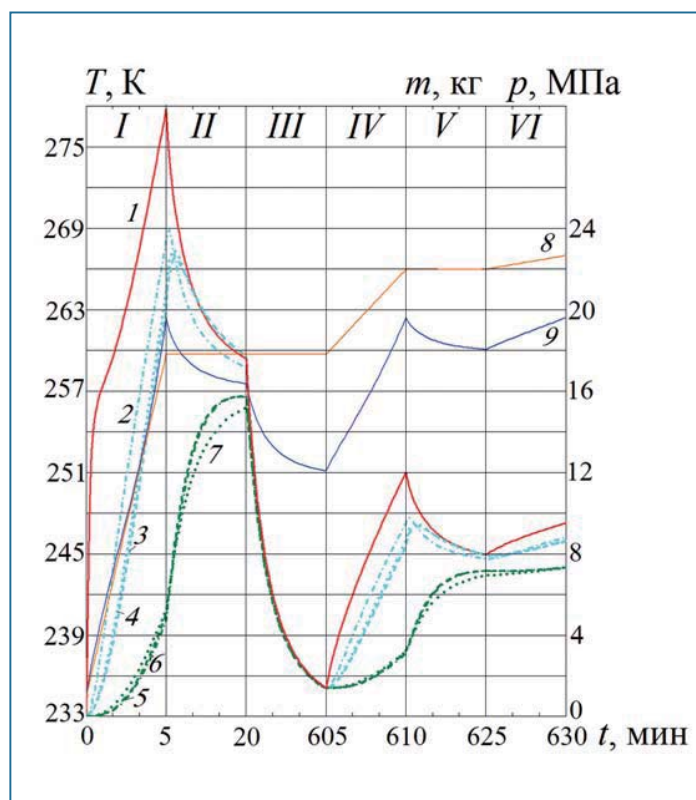
Аналогичная формула справедлива для текущих значений температур внешних поверхностей армирующих слоев на днищах.

Баллон типа 2 не имеет армирующих слоев на днищах лайнера. Поэтому расчетная схема тепловой модели и система уравнений (4) для баллона этого типа упрощаются за счет того, что по сравнению с баллоном типа 3 (см. рис. 2) на схеме будут отсутствовать обозначения сосредоточенных теплоемких масс с полными теплоемкостями  $C_5$  и  $C_6$ , а из системы (4) необходимо исключить два последних уравнения. Кроме этого, следует считать бесконечно большими термические сопротивления  $R_{45}$  и  $R_{46}$  и положить равными нулю термические сопротивления  $R_{25}$ ,  $R_{50}$ ,  $R_{36}$  и  $R_{60}$ . В правой части пятого уравнения системы (4) нужно опустить два последних слагаемых, а в третьем и четвертом уравнениях последние слагаемые заменить соответственно на  $(T_0 - T_2)/R_{05}$  и  $(T_0 - T_3)/R_{06}$ . В этом случае допустимо пренебречь термическим сопротивлением днищ лайнера в направлении нормали к их поверхности по сравнению с каждым из термических сопротивлений  $R_2$ ,  $R_{12}$ ,  $R_{05}$  или  $R_3$ ,  $R_{13}$ ,  $R_{06}$ , поскольку даже в случае стального лайнера эти термические сопротивления на два порядка больше термических сопротивлений днищ, которыми мы пренебрегаем. Для температуры  $T_{40}$  остается в силе формула (5).

## Результаты расчетов

На рис. 3 приведены результаты решения системы дифференциальных уравнений (4) применительно к баллону конструктивного типа 3 вместимостью 100 л (см. рис. 1) для примера чередования этапов заполнения баллона метаном до давления  $p_* \approx 19,711$  МПа и охлаждения при температуре  $T_0 = 233$  К

окружающего воздуха, теплообмен с которым предполагается за счет механизма естественной конвекции, интенсивность которого меньше по сравнению со случаем обдува воздухом внешней поверхности баллона. В контрольно-измерительном участке АГНКС для метана приняты температура  $T^* = 293 \text{ К}$  и давление  $p^* = 20,7 \text{ МПа}$ , что соответствует избыточному давлению  $20,6 \text{ МПа}$  ( $210 \text{ ати}$ ) [2, 10]. В начальный момент времени  $t = 0$  температура конструкции баллона и находящегося в нем  $1 \text{ кг}$  ( $1,395 \text{ нм}^3$ ) метана равна  $T_0$ . Масштаб отсчета времени по оси абсцисс в пределах отдельного этапа остается постоянным, но изменяется от этапа к этапу.



**Рис. 3.** Изменение во времени  $t$  температуры тепломеханических масс тепловой модели (см. рис. 2), массы метана и его давления для баллона первого типа при чередовании этапов заполнения до давления  $p_* \approx 19,711 \text{ МПа}$  и охлаждения при температуре  $T_0 = 233 \text{ К}$  окружающего воздуха:

*I* – заполнение в течение 5 мин при начальной массе метана в баллоне, равной 1 кг;

*II* – начало первой стадии охлаждения баллона в течение 15 мин; *III* – завершение десяти-

часового охлаждения баллона; *IV* – дозаправка в течение 5 мин; *V* – охлаждение баллона

в течение 15 мин; *VI* – дополнительная дозаправка в течение 5 мин;

температура: 1 – метана в баллоне; 2 – обечайки лейнера; 3 – правого днища лейнера;

4 – левого днища лейнера; 5 – армирующего слоя на обечайке; 6 – армирующего слоя

на правом днище; 7 – армирующего слоя на левом днище; 8 – масса метана в баллоне;

9 – давление метана в баллоне

Полное время заправки на АГНКС, включающее продолжительность подъезда и отъезда автомобиля, присоединения и отсоединения заправочного шланга и непосредственно самой заправки, не должно превышать 10 мин [6]. С учетом этого

ограничения в проведенных расчетах принято, что непосредственное поступление метана в баллон на каждом из этапов заполнения происходит в течение пяти минут. При завершении заполнения баллона до давления  $p_*$  на этапе *I* (см. рис. 3) температура метана возрастает почти до 278 К, прирост его массы составляет примерно 16,8 кг. Температура обечайки и днищ лейнера достигает уровня 267...269 К, а прирост температуры армирующих слоев всего 7...8 К.

Последующее охлаждение баллона с метаном представлено на рис. 3 этапами *II* и *III* общей длительностью 10 ч, но с существенно отличающимися масштабами отсчета времени по оси абсцисс. Сначала в течение 15 мин происходит сближение значений температуры метана и всех элементов конструкции баллона, которым соответствуют теплоемкие массы, выделенные в тепловой модели баллона на рис. 2, а затем в остальное время температура конструкции баллона и метана снижается примерно до 235 К. В итоге давление метана в баллоне уменьшается почти до 12 МПа.

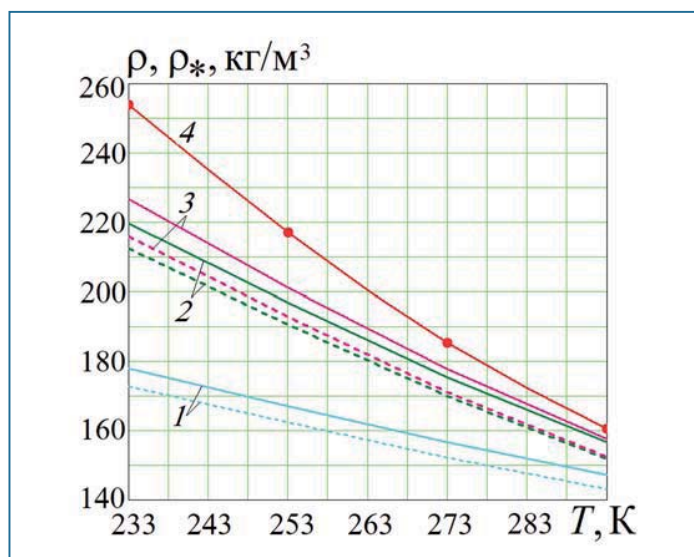
На этапе *IV* в течение 5 мин происходит дозаправка баллона снова до давления  $p_*$ , что приводит к увеличению температуры метана и элементов конструкции баллона в меньшей степени по сравнению с первым этапом заполнения. При этом масса метана в баллоне возрастает примерно на 4,2 кг. Последующие охлаждение баллона в течение 15 мин (этап *V*) и его повторная пятиминутная дозаправка (этап *VI*) позволяют увеличить массу метана в баллоне всего лишь примерно на 0,7 кг, то есть в данном случае эффективность дополнительной дозаправки существенно меньше по сравнению с первой дозаправкой. Следует отметить, что возможное уменьшение массы метана в баллоне в пределах 1 кг за период длительного охлаждения (этапы *II* и *III*), связанное с переездом автотранспортного средства от АГНКС к месту стоянки, мало влияет на итоговую массу метана после дозаправки на этапе *IV*.

Если первую дозаправку баллона до давления  $p_*$  провести после этапа *II* пятнадцатиминутного охлаждения, то массу метана в баллоне удастся увеличить примерно на 1,9 кг. Тогда вторая дозаправка после десятичасового охлаждения баллона позволяет добавить в него еще 3 кг метана. Таким образом, обе последовательности этапов охлаждения баллона при двух дозаправках дают примерно одинаковый прирост массы метана, равный при принятых в расчетах исходных данных около 4,9 кг.

Аналогичные расчеты для баллона типа 2 дают близкие результаты, но прирост массы метана в баллоне на первом этапе его заполнения и при последующих дозаправках оказывается несколько меньше. Дело в том, что стальной лейнер баллона типа 2 имеет меньшую полную теплоемкость по сравнению с алюминиевым лейнером баллона типа 3. Это приводит к большему возрастанию температуры метана на каждом из этапов заполнения и к итоговому уменьшению его плотности при достижении давления  $p_*$ . Вместе с тем следует отметить, что благодаря отсутствию армирующего слоя на днищах баллона этого типа уменьшение температуры метана на этапах охлаждения происходит более интенсивно.

На рис. 4 в зависимости от температуры  $T_0$  окружающего воздуха, совпадающей с начальной температурой баллонов, представлены результаты расчета плотности метана после каждого из этапов заполнения. Начальная масса метана в баллоне каждого типа равна 1 кг. Температура и давление в контрольно-измерительном участке АГНКС приняты равными  $T^* = 293$  К и  $p^* = 20,692$  МПа. Кривая 4 соответствует зависимости плотности  $\rho_*$  метана от температуры при давлении  $p_* \approx 19,711$  МПа. Такая плотность метана в баллоне теоретически может быть достигнута лишь многократным чередованием этапов заполнения и охлаждения баллона.





**Рис. 4.** Зависимость плотности  $\rho$  метана от начальной температуры  $T_0$  при заполнении баллона типа 3 и типа 2 (сплошные и штриховые линии соответственно) до абсолютного давления  $p_* \approx 19,711$  МПа:

- 1 – заполнение при начальной массе метана в баллоне, равной 1 кг;
- 2 – дозаправка после десятичасового охлаждения баллона при температуре  $T_0$  окружающего воздуха;
- 3 – дополнительная дозаправка после пятнадцатиминутного охлаждения баллона при температуре  $T_0$  окружающего воздуха; 4 – зависимость плотности метана от температуры при давлении  $p_*$ .

В таблице приведены значения отношения  $\eta = \Delta\rho/\rho_*$ , вычисленные для этапов заполнения баллонов обоих типов при четырех значениях температуры  $T_0$ . Номера этапов соответствуют рис. 3. На каждом из этапов при одинаковом значении  $T_0$  эффективность заполнения у баллона второго типа несколько меньше по сравнению с баллоном первого типа. Следует отметить, что для баллонов обоих типов с увеличением  $T_0$  значение  $\eta$  возрастает на первом этапе заполнения и убывает на каждом из двух последующих, причем эффективность этапа VI по сравнению с эффективностью соответствующего ему этапа IV достаточно мала и не оправдывает затрат времени на проведение предшествующего охлаждения баллона на этапе V.

Таблица

$T_0, \text{ К}$	Баллон типа 3			Баллон типа 2		
	Этап I	Этап IV	Этап VI	Этап I	Этап IV	Этап VI
233	0,6631	0,1654	0,0267	0,6428	0,1565	0,0140
253	0,7256	0,1378	0,0205	0,7041	0,1302	0,0105
273	0,7949	0,1017	0,0130	0,7711	0,0956	0,0068
293	0,8592	0,0580	0,0064	0,8335	0,0538	0,0033

Из сравнения значений  $\eta$  для первичного заполнения (этап I) и последующей дозаправки (этап IV) следует, что при  $T_0 = 233$  К для баллона типа 3 их отношение составляет  $0,1654/0,6631 \approx 0,249$ , то есть при дозаправке масса метана в баллоне возрастает почти на четверть по сравнению с результатом, достигнутым на этапе I. Для баллона типа 2 это отношение лишь немного меньше и равно  $0,1565/0,6428 \approx 0,243$ . При  $T_0 = 253$  К это отношение равно соответственно 0,190 и 0,184, но при дальнейшем возрастании значения  $T_0$  убывает более существенно. Таким образом, эффективность дозаправки баллона после его охлаждения тем выше, чем меньше значение  $T_0$ .

## Заключение

Для типовых автомобильных баллонов с метаном количественный анализ последовательности этапов заполнения, чередующихся с промежуточными этапами охлаждения таких емкостей окружающим воздухом, показал, что в условиях пониженной температуры воздуха этап дозаправки может обеспечить увеличение массы метана в баллоне до 25 % от массы, которая поступает в него на первом этапе заполнения. Дозаправка в таких условиях может способствовать увеличению пробега автотранспортных средств на газомоторном топливе.

*Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки РФ (проект 9.7784.2017/БЧ).*

## Использованные источники

1. Физический энциклопедический словарь / Гл. ред. А.М. Прохоров. – М.: Сов. энциклопедия, 1983. – 928 с.
2. Справочник по физико-техническим основам криогеники / Под ред. М.П. Малкова. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 432 с.
3. Совещание о перспективах использования газомоторного топлива: веб-сайт. Режим доступа <http://kremlin.ru/events/president/news/18112> (дата обращения 03.06.2018).
4. Веб-сайт ТАСС (Информационное агентство России). Режим доступа <http://tass.ru/ekonomika/5135729> (дата обращения 03.06.2018).
5. ГОСТ Р 51753–2001. Баллоны высокого давления для сжатого природного газа, используемого в качестве моторного топлива на автомобильных транспортных средствах. Общие технические условия. 01.01.2002. Код ОКС 43.020. Госстандарт России. Москва.
6. РД 3112194-1095–03. Руководство по организации и эксплуатации газобаллонных автомобилей, работающих на компримированном природном газе. Министерство транспорта РФ. Департамент автомобильного транспорта. ФГУП НИИАТ, 2002. – 59 с.
7. Алиев А.В., Мищенко О.В. Математическое моделирование в технике. – Москва–Ижевск: Изд-во Института компьютерных исследований, 2012. – 476 с.
8. Зарубин В.С. Моделирование. – М.: Изд. центр Академия, 2013. – 334 с.
9. Белоусова С.Ю., Зарубин В.С., Осадчий Я.Г. Математическая модель тепловых процессов в автомобильных баллонах с метаном // Транспорт на альтернативном топливе. – 2014. – № 4. – С. 5–13.
10. Физические величины: Справочник / Под ред. И.С. Григорьева, Е.З. Мейлихо-

ва. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 1232 с.

11. Альтернативные топлива для двигателей внутреннего сгорания / Под общ. ред. А.А. Александрова, В.А. Маркова. – М.: ООО НИЦ «Инженер», ООО «Онико», 2012. – 791 с.

12. Setzmann U., Wagner W. A New Equation of State and Tables of Thermodynamic Properties for Methane covering the Range from Melting Line to 625 K at Pressures up to 100 MPa // J. Phys. Chem. Ref. Data. – 1991. – V. 20. – № 6. – P. 1061-1155.

13. Кириллин В.А., Сычев В.В., Шейндлин А.Е. Техническая термодинамика. – М.: Наука, 1979. – 512 с.

14. Белоусова С.Ю., Зарубин В.С., Осадчий Я.Г. Численное моделирование теплового состояния металлокомпозитного автомобильного баллона при заполнении метаном // Транспорт на альтернативном топливе. – 2015. – № 3 (45). – С. 15-24.

15. Белоусова С.Ю., Зарубин В.С., Крылов Е.Н., Осадчий Я.Г. Тепловые режимы автомобильного баллона с полимерным лейнером при закачке и расходе метана // Транспорт на альтернативном топливе. – 2015. – № 5 (47). – С. 47-57.

16. Белоусова С.Ю., Крылов Е.Н., Осадчий Я.Г., Зарубин В.С. Тепловые процессы в автомобильных баллонах с метаном при заполнении и опорожнении // Безопасность труда в промышленности. – 2017. – № 4. – С. 68-77. DOI: 10.24000/04092961-2017-4-68-77.

17. Теория тепломассообмена / Под ред. А.И. Леонтьева. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1997. – 684 с.

### 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, СМУК) – 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).

# Основы планирования и организации территориальной службы ремонта и обслуживания сети АГНКС

**А.А. Евстифеев**, начальник лаборатории Центра использования газа ООО «Газпром ВНИИГАЗ», к.т.н.

Снижение затрат на эксплуатацию автомобильных газонаполнительных компрессорных станций является одной из задач руководства компаний, эксплуатирующих станции, и владельцев частных заправок. Фонд оплаты труда – одна из основных статей расходов, ее сокращение позволяет повысить экономическую привлекательность АГНКС. В статье представлен способ организации службы ремонта и обслуживания, основанный на территориальном признаке. Вводятся понятия зоны обслуживания и формирования службы, обеспечивающей ремонт и обслуживание АГНКС на определенной территории. При этом одним из параметров эффективности планирования являются время реакции на вызов и сроки приезда ремонтной бригады на место.

**Ключевые слова:**

автомобильные газонаполнительные компрессорные станции, компримированный природный газ, сеть газовых заправок, территориальное деление, зоны обслуживания, время обслуживания, численность производственных рабочих.

**О**дним из способов оптимизации численности персонала автомобильных газонаполнительных компрессорных станций (АГНКС) является организация территориальных служб ремонта и обслуживания сети АГНКС. При этом необходимо обеспечить выполнение ряда требований, предъявляемых к подразделениям эксплуатации:

- время реагирования на инцидент;
- обеспечение необходимой площади покрытия;
- качественное обслуживание возможно большего количества абонентов.

Существуют разные способы разделения территории на зоны обслуживания территориальными службами ремонта сети АГНКС. Большая часть из них строится по ряду принципов:

- административно-территориальный – в основе лежат административные границы района локализации службы;
- временной – в основе лежит расчет времени прибытия на объект с учетом дороги и наличия свободных ремонтных бригад;
- структурный – в основе данного принципа лежит применение геометрических методов планирования с размещением мобильных бригад в местах с наиболее высокой частотой инцидентов.

В зависимости от приоритетности и применимости принципов для конкретной сервисной службы формируется зона покрытия, форма которой может быть



достаточной сложной и иметь белые пятна в местах с плохо развитой дорожной сетью или при ограничении по времени действия дороги (зимники, дороги без твердого покрытия, поселковые или лесные дороги). Из различных геометрических форм зон покрытия для сервисных служб наиболее хорошо зарекомендовавшей себя является форма правильного шестиугольника.

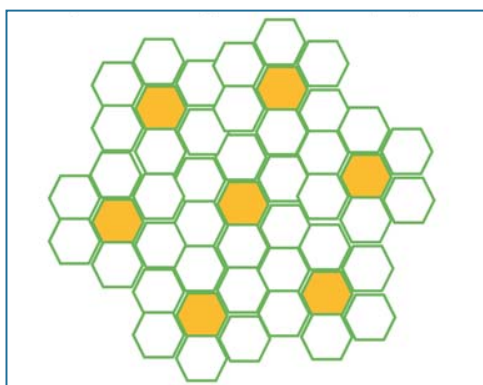
Для данной геометрической формы площадь одной ячейки шестиугольника радиуса  $r$  равна:

$$S_{\text{яч}} = \frac{3}{2}\sqrt{3}r^2.$$

Для зоны обслуживания одного подразделения при использовании структуры, показанной на рисунке, и аппроксимации большими шестиугольниками площадь будет приблизительно равна:

$$S_{\text{пд}} = \frac{3R}{2\sqrt{3}}; R = \sqrt{3}r \cdot \sqrt{i^2 + ij + j^2},$$

где  $i$  и  $j$  – координаты центра рассматриваемого шестиугольника, описывающего зону покрытия подразделения (выраженные в количестве ячеек от левого нижнего края).



Аппроксимация зон покрытия большими шестиугольниками

Процедуру формирования зон покрытия для территориального подразделения службы ремонта и обслуживания сети АГНКС можно представить в следующем виде:

- определение требуемой площади покрытия;
- из площади покрытия, графа дорожной сети, рельефа местности, частоты инцидентов, параметров АГНКС (мощность, возраст, комплектация и модель оборудования) определяется максимальный радиус ячейки обслуживания;
- исходя из радиуса ячейки обслуживания и заданных характеристик по времени и способу реакции на инцидент, а также с учетом периодичности планового технического обслуживания определяются размерность зоны обслуживания подразделения и места дислокации производственных объектов, ремонтного оборудования и персонала;
- исходя из показателей частоты инцидентов на АГНКС, количества одновременно обслуживаемых станций сети и требований договора на обслуживание определяется число и места дислокации мобильных ремонтных бригад;
- строится карта размещения, маршруты обслуживания, формируется план-график проведения периодических ремонтов, планируется и строится на карте логистика доставки и хранения запасных частей, машин, механизмов и материалов, формируется штатное расписание.

Для определения качества обслуживания при работе ключевых подразделений предлагается применять два подхода: для персонала и отдельных подразделений – метод ключевых показателей эффективности (Key Performance Indicators – KPI) [1]; для сервисной сети в целом – методы теории массового обслуживания.

Представленные методы наиболее рационально использовать совместно, поскольку они дополняют друг друга.

Вопросы оценки эффективности деятельности производственного персонала изложены в ряде работ [2-5] и выходят за рамки рассмотрения данной статьи. Что же касается качества и уровня обслуживания, то для качества обслуживания хорошо подходит модель Пуассона, а для уровня обслуживания – модель Эрланга.

При рассмотрении качества обслуживания сети в целом используют параметры входящего потока инцидентов. При этом параметры потока инцидентов определяются в терминах системы массового обслуживания через емкость и загрузку канала:

- число вызовов, поступающих в единицу времени  $\lambda$  (интенсивность вызовов или средняя частота поступления вызовов);
- время обслуживания одного вызова  $T$  (средняя продолжительность обслуживания);
- средняя загрузка  $A = \lambda T$ , соответствующая непрерывному занятию одного канала обслуживания в часах.

В подавляющем большинстве случаев параметры нагрузки на службу ремонта рассчитываются для периода с наибольшей загрузкой, что приводит к неоптимальным организационным решениям. Для получения наиболее рациональных решений предпочтительнее использовать средние уровни нагрузки. В случае, если дискретный входящий поток инцидентов обладает свойствами стационарности, отсутствия последствия и ординарности, его можно рассматривать как простейший. Для такого потока вероятность поступления  $Z$  инцидентов за время  $t$  определяется по следующей формуле:

$$P(t, Z) = \frac{(\lambda t)^Z}{Z!} e^{-\lambda t}.$$

При этом средняя продолжительность обслуживания будет являться непрерывной случайной величиной, описываемой экспоненциальным распределением:

$$W(\tau) = \frac{1}{T} e^{-\frac{\tau}{T}}, \tau \geq 0,$$

где  $\tau$  – время обслуживания.

Вероятность поступления  $Z$  инцидентов  $P(t, Z)$  в течение промежутка времени  $t$  достигает наибольшего значения при  $t = Z/\lambda$ . Ее можно использовать в качестве показателя вероятности одновременного вызова  $Z$  ремонтных бригад, которые обслуживают инциденты с интенсивностью  $\lambda$  за среднее время  $t$ .

Для определения уровня обслуживания используются модели Эрланга с очередью и с ожиданием обслуживания. Для модели с очередью обслуживания вероятность отказа в обслуживании выглядит следующим образом:

$$P = \sum_{Z=N}^{\infty} \frac{\lambda T^Z}{Z!} e^{-\lambda T},$$

где  $N$  – число каналов обслуживания (в нашем случае количество ремонтных бригад).

Особенностью данной модели является возможность бесконечного растягивания очереди, следовательно, бесконечность ожидания, что недопустимо для производственной деятельности.

В случае использования модели системы с ожиданием обслуживания вероятность постановки в очередь определяется по формуле

$$P = \frac{\frac{\lambda T^N}{N!(N-\lambda T)}}{\sum_{Z=0}^{N-1} \left( \frac{\lambda T^Z}{Z!} + \frac{\lambda T^N}{N!(N-\lambda T)} \right)}.$$

Из этой формулы выведем основные следствия:

- вероятность удержания инцидента:

$$P = \frac{\lambda T^N}{\lambda T^N + C! \left(1 - \frac{\lambda T}{C}\right) \sum_{Z=0}^{N-1} \frac{\lambda T^Z}{Z!}},$$

где  $C$  – стоимость простоя бригады;

- вероятность что все бригады свободны:

$$P = \frac{1}{\sum_{Z=0}^{N-1} \left(\frac{\lambda T^Z}{Z!} + \frac{\lambda T^N}{N!(N-\lambda T)}\right)};$$

- вероятность занятости  $K$  ремонтных бригад:

$$P = \frac{P_{c0} \lambda T^K}{K!};$$

- среднее число занятых бригад:

$$\mu = P_{c0} \sum_{Z=1}^N \frac{\lambda T^Z}{(Z-1)!};$$

- вероятность обслуживания инцидента через время, превышающее  $T$ :

$$P_{t>T}^d = e^{-(N-\lambda T) \frac{t}{T}}.$$

Применение последнего показателя как количественной характеристики качества обслуживания позволяет сформировать наиболее рациональную численность и структуру территориальной службы ремонта и обслуживания сети автомобильных газонаполнительных компрессорных станций.

При планировании и организации территориальной службы ремонта и обслуживания сети АГНКС необходимо обеспечить выполнение ряда требований, предъявляемых к подразделениям эксплуатации. В данной работе показан подход по формализации и алгоритмизации процесса построения территориальной службы ремонта. В качестве графической формы ячейки сети обслуживания предложено использовать шестиугольную форму, позволяющую обеспечить сплошное покрытие территории с различным рельефом.

## Использованные источники

1. Люгай С.В., Дрыгина Ю.Н. Система ключевых показателей эффективности производственной деятельности АГНКС // Транспорт на альтернативном топливе. – 2018. – № 4 (64). – С. 9-13.
2. Evstifeev A. Multi-criteria equipment control in complex engineering systems / A. Evstifeev, M. Zaeva, S. Krasnikova et al. // Asian Journal of Applied Sciences. – 2015. – Т. 8. – № 1. – С. 86–91.
3. Евстифеев А.А. Обеспечение муниципальных автобусных парков мегаполиса газовым моторным топливом // Газовая промышленность. – 2014. – № 2 (702). – С. 86-89.
4. Евстифеев А.А. Методология рационального построения и непрерывного совершенствования региональной сети АГНКС // Транспорт на альтернативном топливе. – 2014. – № 3 (39). – С. 53-60.
5. Евстифеев А.А. Математическая модель анализа потребности в КПП и СПГ на вновь газифицируемых территориях // Газовая промышленность. – 2013. – № 1 (685). – С. 87-88.

## Современные мобильные газозаправщики автотранспортных средств

С.П. Семенищев, генеральный директор ООО «НПП ГазСервисКомпозит», к.т.н.,  
П.П. Мерзляков, главный конструктор ООО «НПП ГазСервисКомпозит»

Российский рынок автомобилей, работающих на компримированном природном газе, стремительно растет. Инфраструктура газовых заправок этих автомобилей эффективно развивается путем использования, кроме стационарных АГНКС, мобильных газозаправщиков и контейнерных мини-АГНКС.

**Ключевые слова:**  
ПАГЗ, баллоны, КПП.

**В** мире количество транспортных средств (ТС), работающих на компримированном природном газе (КПП), стремительно растет. Успешно развивается инфраструктура газовых заправок. Президентом В.В. Путиным и правительством РФ приняты решения об ускоренном переводе ТС на КПП.

Основные задачи и обязанности государственных органов по применению природного газа в качестве моторного топлива определены поручениями президента РФ от 11 июня 2013 года № Пр-1298, правительства РФ от 24 июня 2013 года № АД-П9-4314, Комплексным планом мероприятий по расширению использования природного газа в качестве моторного топлива, утвержденным правительством РФ 14 ноября 2013 года № 6819-П9, а также распоряжением правительства РФ № 767-р от 13 мая 2013 года «О расширении использования природного газа в качестве моторного топлива». В мае 2018 года президент РФ В.В. Путин утвердил перечень поручений по итогам прошедшего 18 апреля 2018 года совещания с членами правительства по вопросу расширения использования газа в качестве моторного топлива (Поручение президента Пр-743 от 02.05.2018 г., п. 1, 2, 3).

В соответствии с Комплексным планом, начиная с 2014 года из федерального бюджета ежегодно предоставляются субсидии субъектам РФ на закупку для жилищно-коммунального хозяйства автобусов и другой техники, работающих на метане, в размере не менее 3 млрд руб.

Минтранс России разработана государственная программа по внедрению газомоторной техники с распределением на отдельные подпрограммы по автомобильному, железнодорожному, морскому, речному, авиационному транспорту и технике специального назначения. Финансирование этой программы за период 2015-2020 гг. составит 109,7 млрд руб.

В настоящее время сроки реализации принятых решений и программ перевода ТС на КПП отстают от плановых. Так, например, к 2018 году планировалось построить 1233 автомобильных газонаполнительных компрессорных станций (АГНКС),



выпустить 40 передвижных автомобильных газовых заправщиков (ПАГЗ), перевести на природный газ более миллиона транспортных средств.

В действительности этот план в значительной мере не выполнен. При отставании от намеченных сроков создания структуры АГНКС темпы перевода ТС на КПГ объективно снижаются, так как их заправлять негде.

Рассмотрим основные сравнительные характеристики вариантов заправки транспортных средств газом посредством АГНКС, мини-АГНКС контейнерного типа и ПАГЗ.

### АГНКС

В России сложилась ситуация, при которой основными собственниками сети газопроводов и лимитов потребления природного газа являются ПАО «Газпром», независимые компании «Роснефть» и «Новатэк», которые до недавнего времени относились к строительству АГНКС без должного внимания.

Не лучшим образом сказываются на темпах строительства новых АГНКС длительные сроки получения всех разрешений и согласования с надзорными органами. Также при создании АГНКС требуются немалые инвестиции на разработку проекта и строительство, при этом срок окупаемости затрат напрямую зависит от загрузки АГНКС.

Поэтому в ближайшее время проблему использования газомоторного топлива для ТС строительством только новых АГНКС разрешить весьма проблематично. В создавшейся ситуации сроки окупаемости затрат существующих и строящихся АГНКС можно снизить за счет более широкого использования ПАГЗ и мини-АГНКС контейнерного типа.

### Мини-АГНКС контейнерного типа

По технической сути, если ПАГЗ снабжен дожимающим компрессором, системой осушки газа и фильтром, то это уже мобильная АГНКС. Если это оборудование размещено в контейнере, который сравнительно легко доставить на место заправки ТС, то его можно рассматривать как альтернативу стационарной АГНКС.

Такой подход к газификации транспортных средств является перспективным, поскольку снижаются капитальные затраты на создание заправок и уменьшаются сроки окупаемости затрат. Если вблизи предприятия с автопарком проходит газовая труба, то использование такой мини-АГНКС также может резко снизить сроки ее окупаемости.

### ПАГЗ

Использование ПАГЗ для заправки ТС позволяет повысить рентабельность АГНКС и значительно снизить затраты транспортных предприятий за счет заправки техники прямо на их территории в удобное время суток. При больших расстояниях пробега транспортных средств и значительного грузопотока заправка ТС возможна непосредственно на месте их локализации, например, в карьере на расстоянии до 100 и более километров от АГНКС или гаража.

Удобство использования ПАГЗ заключается в том, что, во-первых, сам ПАГЗ обычно заправляют в период снижения нагрузки на АГНКС (в ноч-

ное время), во-вторых, появляется возможность доставки газа непосредственно к расположению ТС – автопредприятия, гаражи или места массовой погрузки-разгрузки грузовых ТС.

На предприятиях Группы компаний «ГазСервисКомпозит» накоплен опыт создания и серийного производства ПАГЗ малой, средней и большой вместимости до 7 тыс. нм<sup>3</sup>.

Для комплектования ПАГЗ используются баллоны типа 3 собственного производства вместимостью 210 л, которые размещаются в закрытом контейнере в вертикальном положении. Это позволяет устанавливать баллоны в контейнере с высокой степенью плотности и достигать большой вместимости ПАГЗ. Проводятся работы по патентованию конструкции баллонов и ПАГЗ.

За последние три года Группой компаний «ГазСервисКомпозит» изготовлено около 50 ПАГЗ, которые успешно эксплуатируются на предприятиях ПАО «Газпром», а также других, включая частные. География внедрения ПАГЗ охватывает территории от Калининграда до Камчатки и Сахалина, от Астрахани до Ханты-Мансийского автономного округа. Баллоны могут работать при низких температурах (до – 60 °С). Это позволяет эксплуатировать ПАГЗ в таких северных регионах, как Ямбург, Надым, Салехард, Республика Коми и др.

Сравнительные и технические характеристики ПАГЗ разных производителей приведены в таблице.

Степень опорожнения ПАГЗ определяется наличием дожимающего компрессора, с применением которого этот параметр достигает 0,92. Компрессор может располагаться как в контейнере ПАГЗ, при этом снижая его вместимость, так и отдельно, на малом прицепе, как у ТИТАН 2.

Для оптимизации стоимости ПАГЗ в каждом конкретном случае нужно определять экономически наиболее выгодный вариант – применять дожимающий компрессор со степенью опорожнения ПАГЗ до 0,92 или использовать пассивный вариант со степенью опорожнения до 0,65.

Большое влияние на технико-экономические характеристики ПАГЗ оказывает конструкция баллонов. По ГОСТ ISO 11439–2014 «Газовые баллоны. Баллоны высокого давления для хранения на транспортном средстве природного газа как топлива. Технические условия» баллоны подразделяются на четыре типа.

Баллоны типа 1 изготавливают из углеродистой или легированной стали. В баллоне типа 2 на цилиндрической части стального лейнера намотан композиционный материал. Эти баллоны имеют большую массу. Так, например, у баллонов типа 1 из углеродистой стали коэффициент весового совершенства  $m/V$ , где  $m$  и  $V$  – соответственно масса и вместимость баллона, составляет 1,7 кг/л и более, а у баллонов из легированной стали этот коэффициент снижается до 1,0...1,2 кг/л, но цена такого баллона заметно выше.

В России наибольшее распространение для производства ПАГЗ получили композиционные баллоны типа 3 – ПАГЗ Группы компаний «ГазСервисКомпозит», «РариТЭК», «НГТ-Холдинг». За рубежом для ПАГЗ используют обычно композиционные баллоны типа 4 – Lincoln Composit и Ullit.

Для применения ПАГЗ в условиях низких температур регионов российского Севера целесообразно использовать баллоны типа 3 производства Группы компаний «ГазСервисКомпозит» с температурой эксплуатации до –60 °С.

Эти баллоны состоят из лейнера из алюминиевого сплава и композиционной силовой оболочки типа «кокон», и в них применены только отечественные материалы

## Компримированный природный газ

54

Производитель, тип ПАГЗ	Объем перевози- мого газа, нм <sup>3</sup>	Тип, вместимость (л) и число баллонов (ед.)	Наличие в ПАГЗ		Габариты Д × Ш × В, м	Масса ПАГЗ с газом, т
			дожимающий компрессор	колонка газораздаточная		
Lincoln Composites, США						
ТИТАН 2	5600	Тип 4 450 л × 40	Нет	Нет	6,0 × 2,5 × 2,9	16,1
ТИТАН 4	10805	Тип 4 8444 л × 4	Нет	Нет	12,2 × 2,4 × 2,4	21,6
ULLIT SA, Франция						
Container 40'	11000	Тип 4 450 л × 80	Нет	Нет	12,2 × 2,5 × 2,9	22,5
«РАРИТЭК», РФ						
	3700	Тип 3 185 л × 68	Есть	Нет	13,6 × 2,5 × 2,7	27,0
	5000	Тип 3 185 л × 90	Нет	Нет	13,6 × 2,5 × 2,7	24,4
«НГТ-Холдинг», РФ						
ПАГЗ-3000	3700	Тип 3 185 л × 68	Нет	Нет	12,7 × 2,5 × 3,8	9,5
«ГазСервисКомпозит», РФ						
	3700	Тип 3 210 л × 60	Нет	Есть	6,0 × 2,5 × 2,7	18,0
	5000	Тип 3 210 л × 80	Нет	Есть	7,8 × 2,5 × 2,7	24,7
	7000	Тип 3 210 л × 110	Нет	Есть	10,1 × 2,5 × 2,7	33,0

– горячепрессованная труба, базальтовый ровинг или стеклоровинг. Эти баллоны отличаются надежностью, более низкой температурой эксплуатации, а их стоимость значительно ниже импортных баллонов типа 3. Коэффициент весового совершенства таких баллонов составляет 0,6 кг/л для рабочего давления 19,6 МПа и 0,72 кг/л для рабочего давления 24,5 МПа.

Оригинальная конструкция таких баллонов, а также способ вертикальной установки и крепления их в контейнере обеспечивают высокие технико-экономические показатели ПАГЗ.

Образец ПАГЗ-7000 производства Группы компаний «ГазСервисКомпозит» приведен на фото.

На предприятиях Группы компаний «ГазСервисКомпозит» проводятся НИОКР по созданию конструкции, разработке технологии производства и испытаниям баллонов типа 4 для транспортных средств и ПАГЗ. Стоимость таких баллонов ниже, чем стоимость баллонов типа 3 за счет замены дорогого металлического лайнера на полиэтиленовый, и значительно ниже стоимости зарубежных аналогов.



Баллоны типа 4 по сравнению с баллонами других типов отличаются меньшей массой. Силовая оболочка выполняется из композиционного материала на базе базальтового ровинга или углеровинга, если рабочее давление превышает 30 МПа. Температура эксплуатации таких баллонов до  $-40^{\circ}\text{C}$ .

На основании изложенного можно сделать следующие выводы:

1. ПАГЗ значительно повышают эффективность и рентабельность работы стационарных АГНКС. При создании новых и для повышения загрузки существующих АГНКС нужно предусматривать сеть ПАГЗ в радиусе их опорожнения до 120 км.

2. Дожимающий компрессор повышает на 27...30 % степень опорожнения ПАГЗ, но из-за высокой его стоимости экономически выгоднее и проще увеличить вместимость ПАГЗ, чем приобретать компрессор. В ряде случаев экономически оправданно вместо размещения компрессора на шасси ПАГЗ установить дополнительное количество баллонов, используя пассивное опорожнение мобильного заправщика.

3. ПАГЗ должен оснащаться газораздаточной колонкой, и по желанию заказчика колонка может быть как однопостовой, так и двухпостовой.

4. Скорость заправки ПАГЗ и его опорожнения в основном зависит от проходного сечения трубопроводов арматуры и схемы их соединения. Так, например, в ПАГЗ-3700 производства Группы компаний «ГазСервисКомпозит» скорость опорожнения достигает 0,5 кг/с при давлении 20...25 МПа, что для некоторых потребителей является важным и обязательным параметром.

5. Тип баллона, используемого для оснащения ПАГЗ, значительно влияет на его массу. Масса ПАГЗ с баллонами типа 4 меньше, чем с баллонами типа 3. При этом необходимо учитывать, что температура эксплуатации ПАГЗ с баллонами типа 4 ограничена в отрицательном диапазоне температур до  $-40^{\circ}\text{C}$ .

6. Наибольшей вместимостью при одних и тех же габаритных размерах обладает ПАГЗ с вертикальным расположением баллонов в контейнере.

7. Ускорению процесса внедрения газомоторного топлива на транспортные средства в РФ может способствовать использование мини-АГНКС на базе баллонов производства Группы компаний «ГазСервисКомпозит».



## Исследование дизельного топлива с добавками пальмового масла

56

**П.П. Ощепков**, доцент Инженерной академии Российского университета дружбы народов (РУДН), к.т.н.,

**А.В. Бижаев**, доцент Московского государственного аграрного университета им. К.А. Тимирязева, к.т.н.,

**И.А. Заев**, ассистент Инженерной академии РУДН, к.ф.-м.н.,

**С.В. Смирнов**, доцент Инженерной академии РУДН, к.т.н.,

**Адегбенро Симеон Адедожа** (Нигерия), аспирант Инженерной академии РУДН

Рассмотрены физико-химические и моторные свойства альтернативных топлив (биотоплива), выполненных в виде смесей дизельного топлива с пальмовым маслом. В ряде стран Африки, Азии и др. (Малайзия, Индонезия, Таиланд, Нигерия и др.) разрабатываются программы по переводу транспорта на работу на биотопливах. Наибольшей производительностью среди растений, если считать в килограммах и литрах масла с гектара, обладает пальмовое масло, которое по ряду свойств (теплота сгорания, стехиометрическое отношение, цетановое число и др.) наиболее близко к традиционному дизельному топливу.

**Ключевые слова:**

дизель, альтернативное топливо, биотопливо, пальмовое масло, физико-химические и моторные свойства.

**М**ировой спрос на нефть и жидкие биотоплива во многом определяется объемом потребления топлива транспортом (более 55 %). Со временем запасы углеводородов сокращаются, поэтому во многих странах мира ведутся исследования по поиску альтернативных видов топлива для двигателей внутреннего сгорания. В соответствии с прогнозом развития энергетики мира [1], в Африке ожидается значимый прирост спроса на жидкие топлива – на 73 %: со 183 млн т н.э. в 2015 г. до 316 млн т в 2040 г. Прогнозируется, что к 2040 г. альтернативное топливо в транспортном секторе будет достигать 20 % в общем объеме спроса на энергию.

Обычно рассматривают два наиболее распространенных типа биотоплив – этанол и биодизельное топливо [2]. В последнее время некоторые развивающиеся страны, такие как Малайзия, Индонезия, Таиланд, Нигерия, активно поддерживают тенденцию производства биотоплива из внутренних возобновляемых ресурсов.

Нигерия входит в ТОП-10 стран, производителей пальмового масла [3]. Автомобильный транспорт в Нигерии осуществляет большую часть грузовых и пассажирских перевозок [4]. В сельском хозяйстве этой страны занято 65 % населения [5]. По данным The Global Petroleum Club [6], среди растительных масел наибольшей продуктивностью (количество масла с гектара) обладает пальмовое масло.

При использовании пальмового масла в качестве добавки к основному виду топлива в транспортном секторе сельского хозяйства Нигерии можно существенно уменьшить потребление дизельного топлива (ДТ), сократить транспортные издержки на перевозку нефтепродуктов и снизить токсичность отработавших газов дизельной техники, используемой в аграрных районах страны.

Мировыми лидерами по производству пальмового масла являются Индонезия и Малайзия. В этих странах проводятся научные исследования [7, 8] по использованию пальмового масла в качестве альтернативного топлива для дизельных двигателей.

Сравнение химико-физических свойств [9-11] растительных масел показывает, что пальмовое масло по ряду свойств (теплота сгорания, стехиометрическое соотношение, цетановое число и др.) наиболее близко к традиционному дизельному топливу. Однако пальмовое масло обладает и теми характеристиками, которые имеют серьезные отличия от традиционного нефтяного топлива (кинематическая вязкость, температура застывания), что делает невозможным применение чистого пальмового масла в дизельных двигателях без внесения изменений в их конструкцию и топливную аппаратуру. В этих условиях наиболее приемлемым является вариант использования без существенных изменений конструкции двигателя, работающего на дизельном топливе с добавками пальмового масла, то есть на смесевом биодизельном топливе.

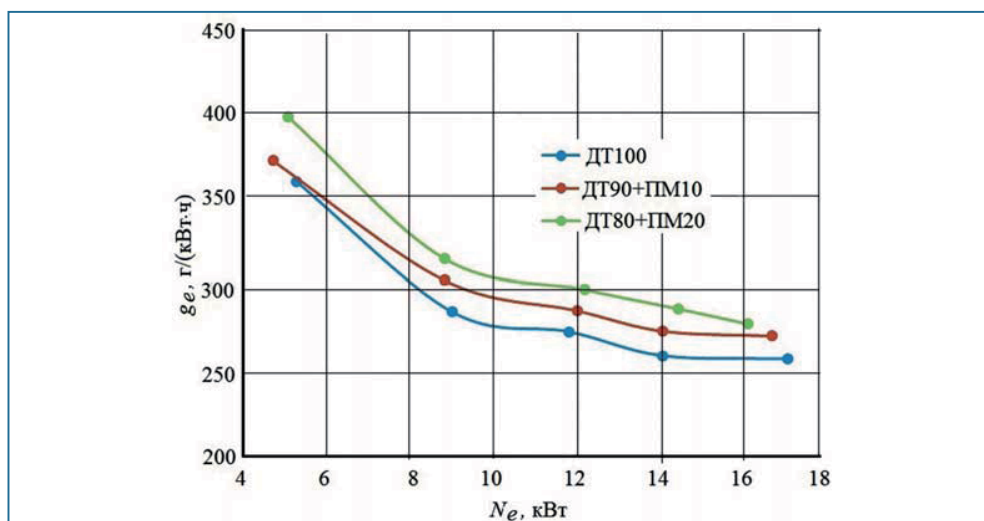
Экспериментальные исследования мощностных и экономических показателей двигателя проводились на дизеле Д-120 (2Ч10,5/12) при частоте вращения коленчатого вала  $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$ . При испытаниях снимались нагрузочные характеристики двигателя при работе на дизельном топливе (без каких-либо добавлений) и на топливах с различными вариантами смесей ДТ с пальмовым маслом (10 % и 20 %), а также с добавкой перекиси водорода ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) объемной долей 0,5 %.

Экспериментальные исследования показали, что добавка пальмового масла заметно влияет на процесс сгорания. Так, максимальное увеличение удельного расхода топлива при содержании пальмового масла в смесевом топливе 10 % достигает 15 %, а при содержании 20 % – 30 % (рис. 1).

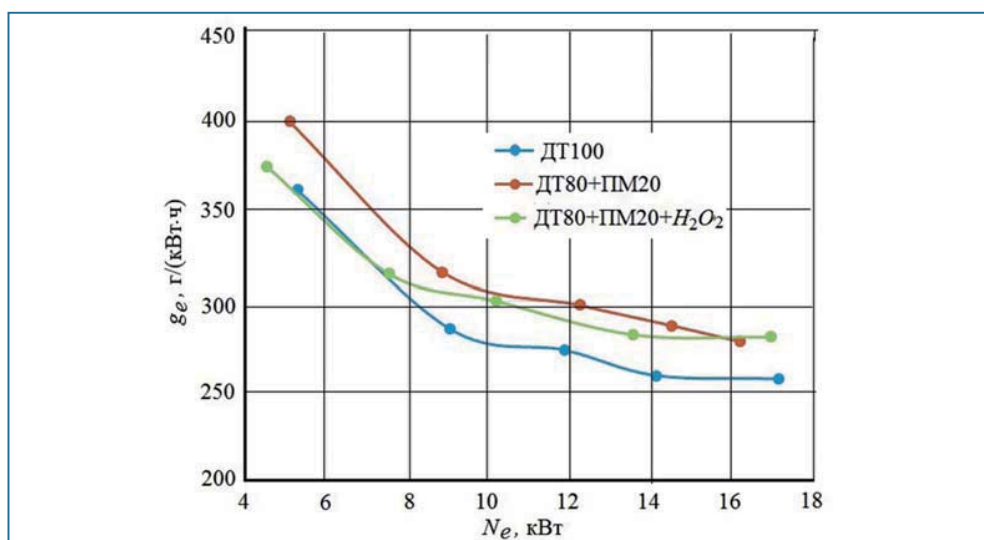
Для улучшения экономичности двигателя при работе на смесевых топливах применили добавку перекиси водорода. В результате добавление 0,5 % перекиси водорода приводит к снижению удельного эффективного расхода топлива на 10...15 % при нагрузках меньше 50 % (рис. 2), и его значения на частичных нагрузках становятся сравнимы с аналогичными показателями двигателя, работающего на дизельном топливе без добавок пальмового масла.

Для выяснения особенностей сгорания дизельного топлива с добавками пальмового масла и перекиси водорода были проведены расчетные исследования. Мощностные и экономические показатели работы двигателя во многом определяются организацией процесса горения топлива, поэтому необходимо исследовать особенности сгорания дизельного топлива с добавками пальмового масла.

Процесс сгорания топлива в дизеле включает два важных этапа: воспламенение горючей смеси, образовавшейся в цилиндре к моменту начала самовоспламенения, а также сгорание топлива в диффузионно-лимитируемом режиме (турбулентная диффузия). Первый из них определяется кинетикой самовоспламенения топлива, второй – конструктивными и другими параметрами организации рабочего процесса (мелкость распыливания топлива, форма камеры сгорания в поршне, степень закрутки потока и т.д.). Следовательно, при сохранении конструктивных параметров дизельного двигателя наибольший интерес



**Рис. 1.** Изменение удельного расхода топлива ( $g_e$ ) в зависимости от эффективной мощности ( $N_e$ ) дизеля Д-120 (2Ч10,5/12) при работе на разных топливах: ДТ100 – дизельное топливо без добавок; ДТ90+ПМ10 – смешанное топливо, содержащее 90 % ДТ с добавкой 10 % пальмового масла; ДТ80 + ПМ20 – топливо, содержащее 80 % ДТ и 20 % пальмового масла



**Рис. 2.** Изменение удельного расхода топлива ( $g_e$ ) в зависимости от эффективной мощности ( $N_e$ ) дизеля Д-120 (2Ч10,5/12) при работе на разных топливах: ДТ100 – дизельное топливо без добавок; ДТ80+ПМ20 – смешанное топливо, содержащее 80 % ДТ с добавкой 20 % пальмового масла; ДТ80 + ПМ20 + H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> – топливо, содержащее 80 % ДТ, 20 % пальмового масла и 0,5 % перекиси водорода

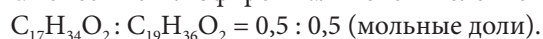
представляет регулирование этапа самовоспламенения горючей смеси для обеспечения оптимальных условий воспламенения и последующего сгорания топлива.

Самовоспламенение и распространение пламени в камере сгорания двигателя определяются скоростями соответствующих химических реакций. Для сгорания топлива должна быть выбрана адекватная химическая модель горения.

В работе [12] предложена химическая модель горения «суррогатов» дизельного топлива, а также компонентов биодизельного топлива (список веществ и их термодинамических и переносных свойств, список реакций с аппроксимациями зависимости констант скорости от температуры и давления). Также была проведена проверка данного механизма на большом количестве экспериментальных данных по задержкам самовоспламенения и скорости распространения ламинарного пламени в топливовоздушных смесях, поэтому эта модель использована в данном исследовании для оценки характеристик горения биодизельного топлива и того же топлива с добавками в сравнении с дизельным топливом.

Анализ химической модели [12] показывает, что она включает перекись водорода  $H_2O_2$  и реакции ее взаимодействия с азотом, кислородом, углеводородами и промежуточными радикалами, поэтому эта модель может быть использована для анализа влияния перекиси водорода на самовоспламенение дизельного топлива с добавками пальмового масла и  $H_2O_2$ .

Дизельное топливо имеет сложный состав, поэтому для выполнения расчетов процессов самовоспламенения используется модельное топливо на основе *n*-гептана, которое имеет то же самое цетановое число, что и ДТ. Добавки пальмового масла моделировались следующим образом. Основными составляющими такой добавки являются метил-эфиры пальмовой и олеиновой кислот в равной молярной пропорции. Для исследования самовоспламенения дизельного топлива с добавками пальмового масла был выбран *n*-гептан  $C_7H_{16}$  в качестве суррогата дизельного топлива, а также эквимольная смесь метил-эфиров пальмовой и олеиновой кислот:



Целью настоящего теоретического исследования является оценка свойств горения дизельного топлива с добавками пальмового масла и влияние на процесс горения данного биодизельного топлива добавок перекиси водорода. Для этого нужно решить следующие задачи.

1. На основе кинетических расчетов сопоставить характеристики горения смеси модельного дизельного топлива и модельного биодизельного топлива, включающие время задержки воспламенения для условий, характерных для работы дизельных двигателей.

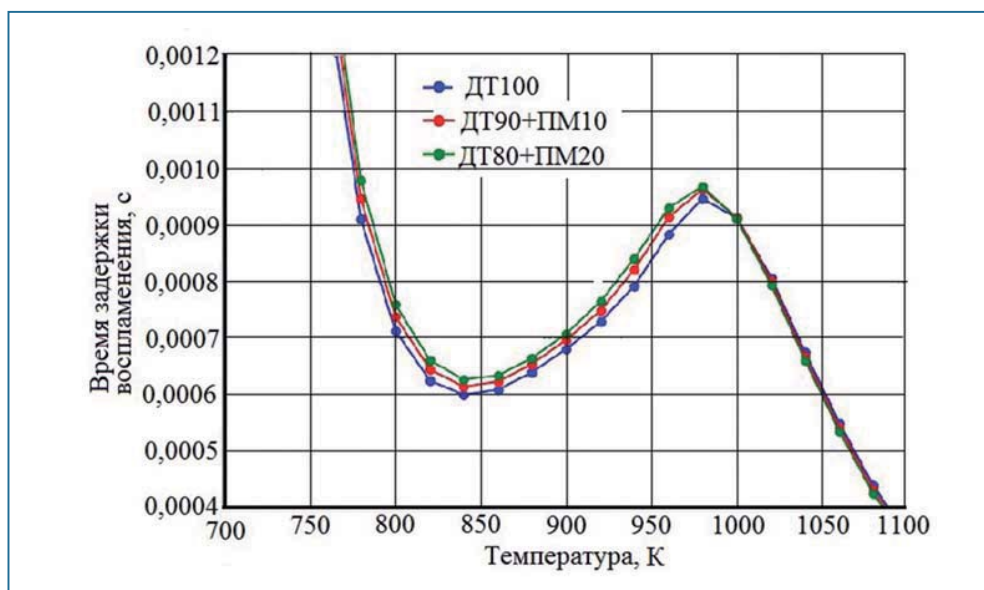
2. Исследовать степень повышения реакционной способности дизельного топлива с добавками пальмового масла в зависимости от объемной доли добавок перекиси водорода в сравнении с исходными ДТ и дизельным топливом с добавками пальмового масла.

Для решения поставленных задач в программе Chemical workbench [13, 14] была проведена серия расчетов процесса самовоспламенения для исследования характеристик самовоспламенения модельного дизельного топлива, дизельного топлива с добавками пальмового масла и с добавками в него перекиси водорода. В расчетах использовался химический механизм [12]. Все расчеты проводились при следующих начальных условиях:

- давление в системе 4 МПа;
- начальная температура от 600 до 1400 К;
- стехиометрическая топливовоздушная смесь;
- добавки перекиси водорода от 0,1 до 0,5 % массовых по отношению к топливу (смесь дизельного топлива и пальмового масла).

На рис. 3 приведены результаты расчетов времени самовоспламенения модельного дизельного топлива в чистом виде и с добавками пальмового масла в количестве 10 и 20 % по массе.





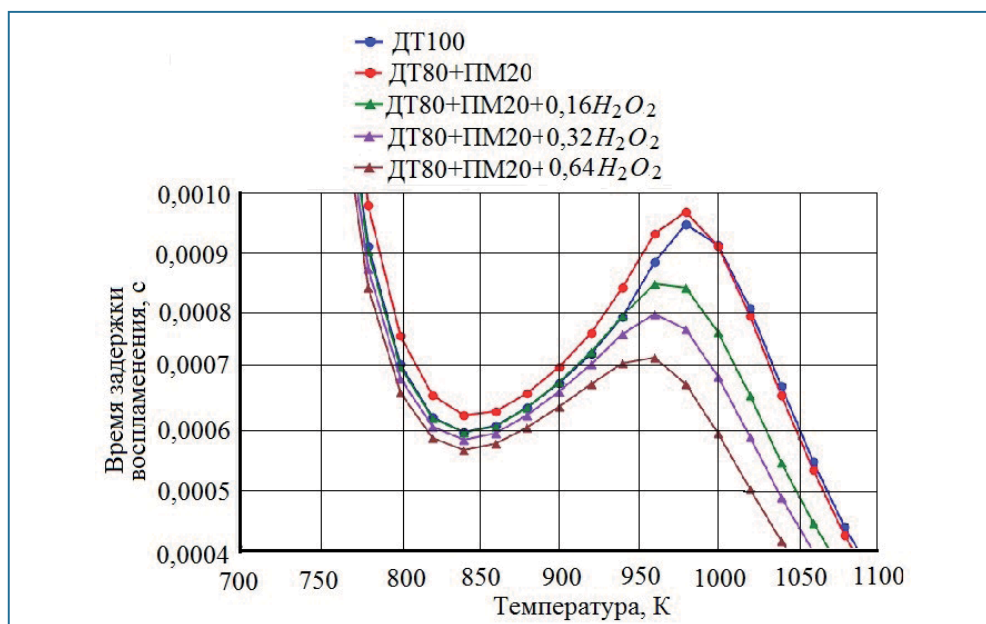
**Рис. 3.** Задержки воспламенения дизельного топлива (ДТ100) и ДТ с добавками 10 и 20 % пальмового масла (ПМ10 и ПМ20): начальное давление 4 МПа; начальная температура 700...1100 К, стехиометрическая смесь

Характерными условиями самовоспламенения смеси в двигателе Д-120 является диапазон температур от 800 до 900 К, до которых нагревается воздух в момент наибольшего сжатия в ВМТ. Как видно из рис. 3, именно в этом диапазоне температур как у чистого дизельного топлива, так и в случае добавок к нему пальмового масла наблюдается увеличение задержки воспламенения больше чем в 1,5 раза. Причем, добавка в дизельное топливо 20 % по массе пальмового масла приводит к увеличению задержки воспламенения по сравнению с дизельным топливом еще на 6...7 %.

Увеличение задержки воспламенения смесового топлива эквивалентно задержке впрыска исходного биодизельного топлива. Как было показано в [15], отложенный впрыск по отношению к оптимальному значению (номинальный режим работы двигателя на дизельном топливе) приводит к увеличению удельного расхода топлива.

Таким образом, одним из возможных факторов увеличения расхода топлива при добавках пальмового масла (см. рис. 1) является задержка воспламенения топлива (наряду с таким фактором, как ухудшение качества распыла). При высоких температурах, превышающих 1000 К (см. рис. 3), чистое дизельное топливо и с добавками пальмового масла воспламеняются практически за одно и то же время.

На рис. 4 приведены результаты расчета самовоспламенения следующих смесей: чисто дизельное топливо; дизельное топливо + 20 % (масс.) пальмового масла; дизельное топливо + 20 % (от массы дизельного топлива) пальмового масла + от 0,16 до 0,64 % (от полной массы топлив)  $H_2O_2$ . Как видно из рис. 4, для условий работы дизельного двигателя (температуры 800...900 К) добавки 0,16 % перекиси водорода восстанавливают реакционную способность ДТ с добавками пальмового масла до уровня чистого дизельного топлива. Большие добавки перекиси водорода еще больше увеличивают реакционную способность дизельного топлива с добавками пальмового масла.



**Рис. 4.** Задержки воспламенения дизельного топлива (ДТ100), дизельного топлива с добавками пальмового масла (ПМ) и дизельного топлива с добавками пальмового масла и перекиси водорода (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) в процентах массовых 0,16; 0,32 и 0,64: начальное давление 4 МПа; начальная температура 700...1100 К; стехиометрическая смесь

Следует отметить, что в области высоких температур оба топлива (дизельное с добавками пальмового масла и дизельное топливо) воспламеняются примерно одинаково. При этих температурах наибольшую роль начинают играть реакции распада больших молекул и воспламенение фрагментов их распада, которые при температурах свыше 1100 К идут достаточно эффективно и способны самостоятельно, без более реакционно способных добавок, генерировать значительное количество радикалов для продолжения цепного процесса самовоспламенения.

## Выводы

Экспериментальным исследованием показано, что добавки до 20 % пальмового масла к дизельному топливу повышают удельный эффективный расход топлива на 20...30 %, а 10 % добавки – на 10...15 %.

Расчетными исследованиями установлено влияние добавок пальмового масла и перекиси водорода на время задержки воспламенения топлива.

В диапазоне температур 800...900 К наблюдается увеличение задержки воспламенения больше чем в 1,5 раза как у чистого дизельного топлива, так и в случае добавок к нему пальмового масла. Причем, добавка в дизельное топливо 20 % по массе пальмового масла приводит к увеличению задержки воспламенения по сравнению с дизельным топливом еще на 6...7 %.

Добавка 0,16 % перекиси водорода в смесь дизельного топлива с 20 % пальмового масла восстанавливает реакционную способность ДТ с добавками пальмового масла до уровня чистого дизельного топлива.

Большие добавки перекиси водорода еще больше увеличивают реакционную способность дизельного топлива с добавками пальмового масла. Таким образом,

появляется возможность регулирования задержки воспламенения за счет количества перекиси водорода.

Расчетные и экспериментальные исследования показали эффективность использования в качестве добавки к биодизельному топливу перекиси водорода. Экспериментальные исследования позволили установить наибольший эффект от добавки перекиси водорода на нагрузках менее 50 % (добавление 0,5 % перекиси водорода приводит к снижению удельного эффективного расхода топлива на 10...15 %).

### Использованные источники

1. Прогноз развития энергетики мира и России 2016 / Под ред. А.А. Макарова, Л.М. Григорьева, Т.А. Митровой; ИНЭИ РАН–АЦ при Правительстве РФ. – М., 2016. – 200 с. ISBN 978-5-91438-023-3.
2. A.A. Aziz, M.F. Said, M.A. Awang and M. Said. The Effects of Neutralized Palm Oil Methyl Esters (NPOME) on Performance and Emission of a Direct Injection Diesel Engine, in Proc. of the 1<sup>st</sup> International Conference on Natural Resources Engineering and Technology INRET2006, 24-25 July 2006.
3. <http://ab-centre.ru/articles/mirovoy-gynok-palмового-masla-v-2001-2013-gg>.
4. К. Шумилов. Транспортная инфраструктура республики Нигерия // Зарубежное военное обозрение. – 2004. – №7. – С. 18-22.
5. <http://www.gecont.ru/articles/econ/nigeria.htm> (дата обращения 8.11.2017 г.).
6. <http://www.abercade.ru/research/analysis/2314.html> (дата обращения 13.11.2017 г.).
7. [https://www.researchgate.net/publication/253329374\\_Performance\\_and\\_Emission\\_Characteristics\\_of\\_Diesel\\_Engine\\_Running\\_on\\_Blended\\_Palm\\_Oil](https://www.researchgate.net/publication/253329374_Performance_and_Emission_Characteristics_of_Diesel_Engine_Running_on_Blended_Palm_Oil) (дата обращения 3.12.2017 г.).
8. [http://people.idisia.ch/~nagi/conferences/iccbt\\_palm\\_biodiesel.pdf](http://people.idisia.ch/~nagi/conferences/iccbt_palm_biodiesel.pdf) (дата обращения 3.12.2017 г.).
9. Гусаков С.В. Перспективы применения в дизелях альтернативных топлив из возобновляемых источников: учеб. пособие. – М.: РУДН, 2008. – 318 с.
10. Ощепков П.П., Адедожа Адегбенро С. Альтернативное топливо для автотранспорта Нигерии на основе пальмового масла // Вестник РУДН. Серия: Инженерные исследования. – 2017. – Том 18. – № 4. – С. 437-444.
11. Ощепков П.П., Симеон А.А. Возможность использования пальмового масла в качестве добавки к дизельному топливу на примере Нигерии. / Сборник научных трудов по материалам 76-й научно-методической и научно-исследовательской конференции МАДИ. – М.: Техполиграфцентр, 2018. – С. 155-162.
12. Chiara Saggese, Alessio Frassoldati, Alberto Cuoci, Tiziano Faravelli, Eliseo Ranzi. A lumped approach to the kinetic modeling of pyrolysis and combustion of biodiesel fuels, Proceedings of the Combustion Institute 34 (2013) 427 – 434.
13. Chemical Workbench 4.1, Kintech Lab Ltd., <http://www.kintechlab.com>.
14. M. Deminsky, V. Chorkov, G. Belov, I. Cheshigin, A. Knizhnik, E. Shulakova, M. Shulakov, I. Iskandarova, V. Alexandrov, A. Petrusev, I. Kirillov, M. Strelkova, S. Umanski, B. Potapkin. Chemical Workbench–integrated environment for materials science. Computational Materials Science, vol. 28, Issue 2, October 2003. – Pp. 169-178.
15. Cenk Sayin, Mustafa Canakci. Effects of injection timing on the engine performance and exhaust emissions of a dual-fuel diesel engine, Energy Conversion and Management 50 (2009) 203–213.

# Горение природного газа и спиртотопливных эмульсий в поршневом двигателе

**В.А. Лиханов**, профессор, зав. кафедрой ФГБОУ ВО «Вятская ГСХА», д.т.н.,  
**О.П. Лопатин**, доцент кафедры ФГБОУ ВО «Вятская ГСХА», к.т.н.

В статье рассмотрены вопросы применения в качестве альтернативного топлива для дизеля природного газа (ПГ) и спиртотопливных эмульсий (СТЭ). Отличительными особенностями процессов смесеобразования и горения в дизеле, работающем как на ПГ с запальной порцией дизельного топлива, так и на СТЭ, будут являться по сравнению с дизельным процессом неоднородность горючей смеси по объему цилиндра, наличие совершенно другой испаряемости горючего и несовпадение по времени процессов образования топливовоздушной смеси и ее горение. Следовательно, применение альтернативных топлив с другим химическим составом и локальными условиями приводит к иным показателям процесса сгорания. Поэтому для научного представления действительной картины процесса сгорания в дизеле, работающем на ПГ и СТЭ, проведено индицирование его рабочего процесса и детальное описание процесса сгорания. В результате проведенных экспериментальных исследований установлены зависимости влияния режимов работы дизеля 4Ч 11,0/12,5 на ПГ, метанола- (МТЭ) и этанолотопливных эмульсиях (ЭТЭ) на показатели его процесса сгорания. Определены оптимальные значения показателей процесса сгорания при работе дизеля на альтернативных топливах указанных составов.

**Ключевые слова:**

дизель, природный газ, метанол, этанол, эмульсия, индикаторная диаграмма, сгорание.

**С** начала развития двигателей внутреннего сгорания так называемая индикаторная диаграмма – кривая изменения давления в цилиндре поршневого двигателя на протяжении рабочего цикла – используется как одно из средств описания и анализа рабочего процесса.

Одно из ценных качеств индикаторной диаграммы, издавна привлекающее внимание исследователей, заключается в том, что она представляет непосредственную запись действительных физических величин, значения которых можно наблюдать без всяких дополнительных расчетов на самой диаграмме. Индикаторная диаграмма дает возможность получить важные сведения о протекании рабочего процесса. Непосредственно из индикаторной диаграммы можно получить данные о величине максимального давления сгорания  $p_z$ , скорости повышения давления (жесткость процесса сгорания)  $dp/d\phi$  на различных участках, давлении на впуске и выпуске, о значении угла  $\phi_p$  соответствующего периоду задержки воспламенения. Таким образом, индикаторная диаграмма является одним из эффективных средств наблюдения за самовоспламенением в дизеле.

Полезная площадь индикаторной диаграммы в координатах  $p-v$  определяет работу газов внутри цилиндра за один рабочий цикл, а зная работу цикла, легко определить такие основные индикаторные показатели рабочего процесса, как среднее индикаторное давление и индикаторный КПД [1].

Процесс сгорания в дизеле, работающем на альтернативных топливах, еще более чувствителен в сравнении со штатным дизельным процессом (ДП) ко многим конструкционным и эксплуатационным факторам. Возникновение и развитие горения, полнота сгорания топливоздушной смеси альтернативного топлива также определяются особенностями и скоростями реакций, условиями тепло- и массообмена в зоне пламени и теплоотдачей в стенку цилиндра.

Скорость распространения фронта пламени в процессе сгорания зависит от химических и физических факторов и в совокупности со скоростью химической реакции окисления молекул альтернативного топлива в конечном счете влияет на продолжительность сгорания массы рабочей смеси в камере сгорания дизеля. Например, из-за неравномерного распределения исследуемого топлива по цилиндрам состав топливоздушной смеси может оказаться близким к концентрационным пределам распространения пламени, в связи с чем возможны пропуски воспламенения и сгорания в отдельных цилиндрах или процесс горения может становиться медленным, переходя в фазу расширения [2-4].

Очевидно, что отличительными особенностями процессов смесеобразования и горения в дизеле, работающем как на ПГ с запальной порцией дизельного топлива, так и на СТЭ, будут по сравнению с ДП неоднородность горючей смеси по объему цилиндра, совершенно другая испаряемость горючего и несовпадение по времени процессов образования топливоздушной смеси и ее горение. Применение альтернативных топлив с другим химическим составом и локальными условиями может приводить к отличительным показателям процесса сгорания и даже к воспламенению во время развития факела распыла. Следовательно, для научного представления действительной картины процесса сгорания в дизеле, работающего на ПГ и СТЭ, необходимо детальное и достаточно достоверное описание данного процесса, что можно выполнить только после проведения индицирования рабочего процесса дизеля [5].

Индицирование процесса сгорания осуществляли с помощью электропневматического индикатора МАИ-5А с установленным датчиком давления в головке блока первого цилиндра (рис. 1). Записывающий механизм устанавливался перед двигателем на одной оси с коленчатым валом через промежуточную муфту,

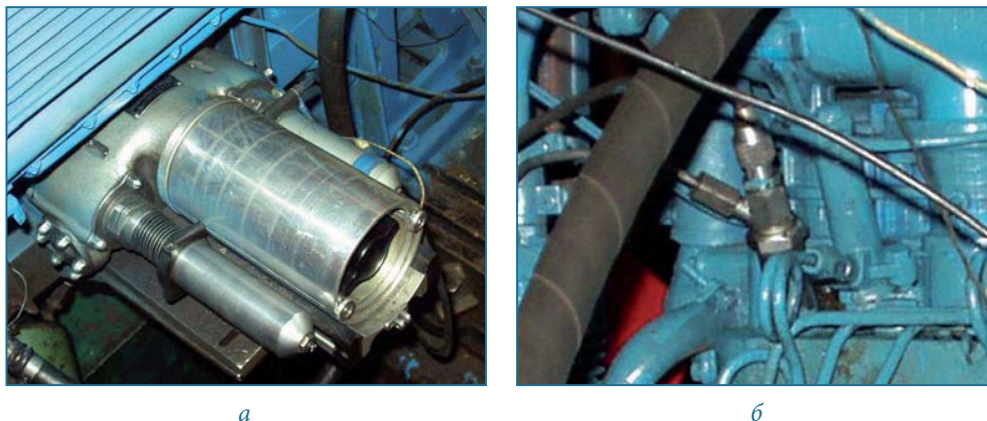


Рис. 1. Вид на записывающее устройство (а) и датчик давлений (б) индикатора МАИ-5А



согласно инструкции к МАИ-5А. Установка отметчика верхней мертвой точки (ВМТ) проверялась по положению поршня в ВМТ в первом цилиндре и контролировалась по диаграмме сжатия–расширения без подачи топлива. Обработку индикаторных диаграмм проводили с помощью компьютерной программы ЦНИДИ-ЦНИИМ [6].

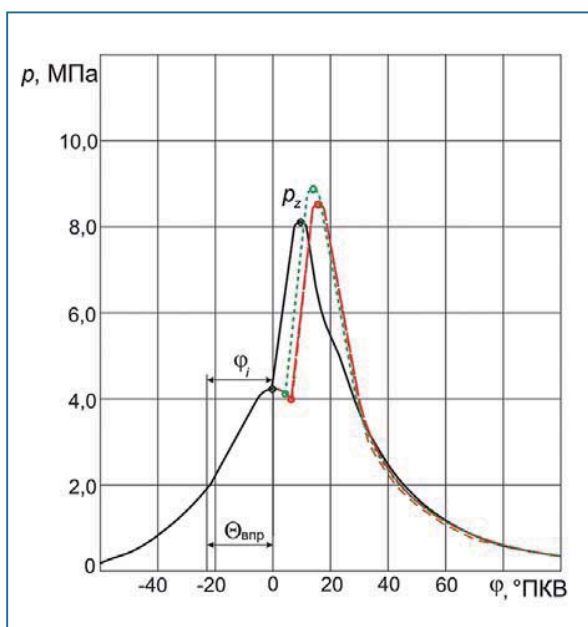
На рис. 2 изображены индикаторные диаграммы дизеля 4Ч 11,0/12,5 при частоте вращения  $n = 2200 \text{ мин}^{-1}$  и установочном угле опережения впрыскивания топлива  $\Theta_{\text{впр}} = 23^\circ$ . При анализе представленных на данном режиме индикаторных диаграмм хорошо видно увеличение периода задержки воспламенения (ПЗВ) и максимального давления цикла  $p_z$  при работе на всех исследуемых альтернативных топливах [7]. Так, применение ЭТЭ увеличивает угол  $\varphi_p$ , соответствующий ПЗВ, на  $5,5^\circ$ , а МТЭ при газодизельном процессе (ГДП) – на  $7,5^\circ$  по отношению к ДП. При этом  $p_z$  увеличивается при работе на МТЭ по газодизельному процессу на  $0,4 \text{ МПа}$ , на ЭТЭ – на  $0,8 \text{ МПа}$ .

На рис. 3 изображены параметры процесса сгорания дизеля 4Ч 11,0/12,5, зависящие от  $\Theta_{\text{впр}}$ , при  $n = 2200 \text{ мин}^{-1}$ . Рассматривая экспериментальные кривые параметров процесса горения в цилиндре дизеля, работающего по ГДП, необходимо выделить, что с увеличением  $\Theta_{\text{впр}}$  возрастают величины максимального давления цикла  $p_z$ , максимальной осредненной температуры  $T_{\text{max}}$ , степени повышения давления  $\lambda$ , жесткости процесса горения  $(dp/d\varphi)_{\text{max}}$  и уменьшается значение угла  $\varphi_p$ , соответствующего ПЗВ.

Рассматривая отличия работы дизеля на МТЭ от чисто дизельного процесса, необходимо отметить, что значения параметров процесса сгорания на МТЭ повышаются. Так, при  $\Theta_{\text{впр}} = 23^\circ$  при переходе с ДП на МТЭ наблюдается рост  $T_{\text{max}}$  на  $11,0 \%$ ,  $p_z$  на  $4,9 \%$ ,  $(dp/d\varphi)_{\text{max}}$  в  $2,1$  раза, степени повышения давления  $\lambda$  на  $19,0 \%$ , угла  $\varphi_p$ , соответствующего ПЗВ, на  $33,3 \%$ . При установочном угле опережения впрыскивания топлива  $\Theta_{\text{впр}} = 26^\circ$  при переходе с ДП на

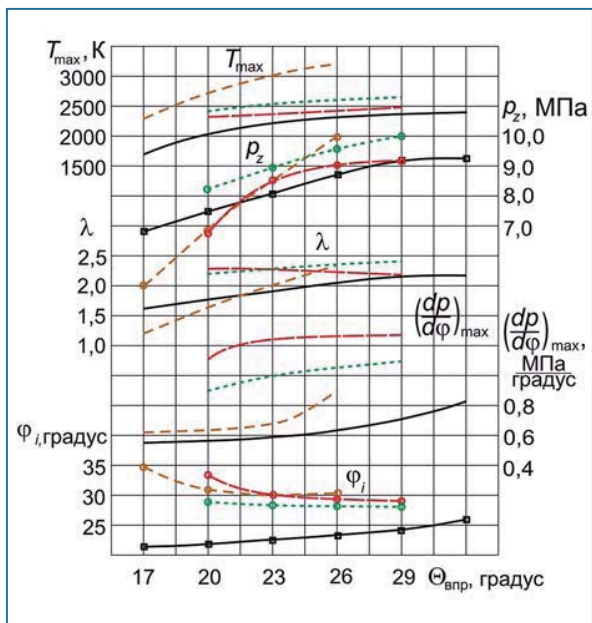
МТЭ наблюдается рост  $T_{\text{max}}$  на  $7,5 \%$ ,  $p_z$  на  $3,5 \%$ ,  $(dp/d\varphi)_{\text{max}}$  в  $2,0$  раза, степени повышения давления  $\lambda$  на  $6,8 \%$ , угла  $\varphi_p$ , соответствующего ПЗВ, на  $28,3 \%$ . Изучая графические зависимости работы 4Ч 11,0/12,5 на ЭТЭ и дизельном топливе, следует пояснить, что значения параметров процесса сгорания на ЭТЭ, так же как и на МТЭ, увеличиваются. Так, при  $\Theta_{\text{впр}} = 23^\circ$  при переходе с ДП на ЭТЭ наблюдается рост  $T_{\text{max}}$  на  $14,6 \%$ ,  $p_z$  на  $9,9 \%$ ,  $(dp/d\varphi)_{\text{max}}$  на  $71,2 \%$ , степени повышения давления  $\lambda$  на  $19,5 \%$ , угла  $\varphi_p$ , соответствующего ПЗВ, на  $24,4 \%$ . При  $\Theta_{\text{впр}} = 26^\circ$  при переходе с ДП на ЭТЭ наблюдается рост  $T_{\text{max}}$  на  $13,2 \%$ ,  $p_z$  на  $11,5 \%$ ,  $(dp/d\varphi)_{\text{max}}$  на  $65,1 \%$ , степени повышения давления  $\lambda$  на  $14,1 \%$ , угла  $\varphi_p$ , соответствующего ПЗВ, на  $21,7 \%$ .

На рис. 4 представлены показатели процесса сгорания в дизеле 4Ч 11,0/12,5 при частоте вращения  $2200 \text{ мин}^{-1}$  на различных нагрузочных режимах работы.



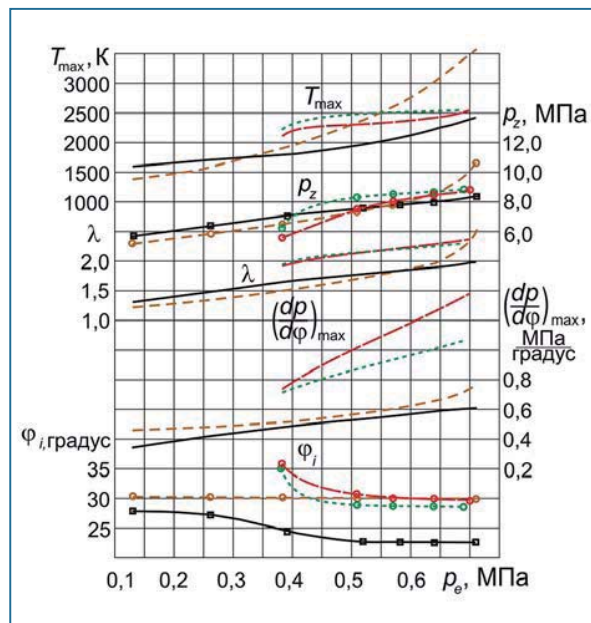
**Рис. 2.** Индикаторные диаграммы дизеля 4Ч 11,0/12,5 при  $\Theta_{\text{впр}} = 23^\circ$  и  $n = 2200 \text{ мин}^{-1}$ :

— ДП; — ГДП;  
— ЭТЭ; — МТЭ



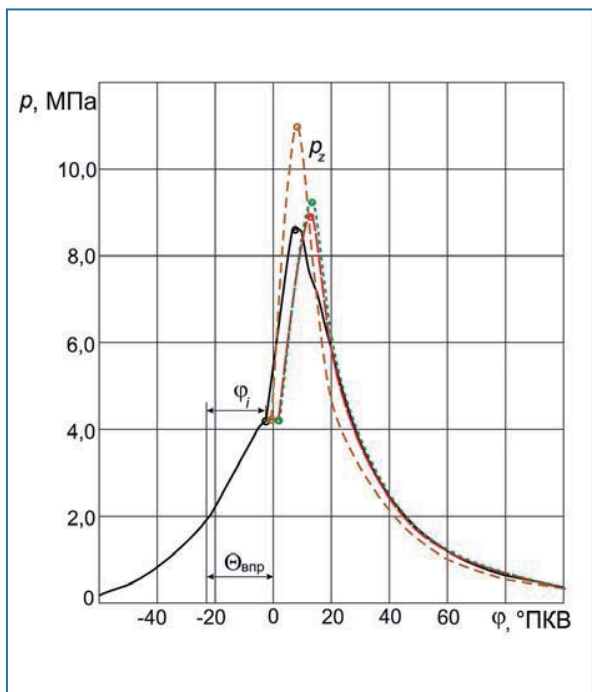
**Рис. 3.** Влияние применения ПГ и СТЭ на показатели процесса сгорания в дизеле 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения  $\Theta_{впр}$  при  $n = 2200 \text{ мин}^{-1}$ :

— ДП; - - ГДП;  
- - ЭТЭ; — МТЭ



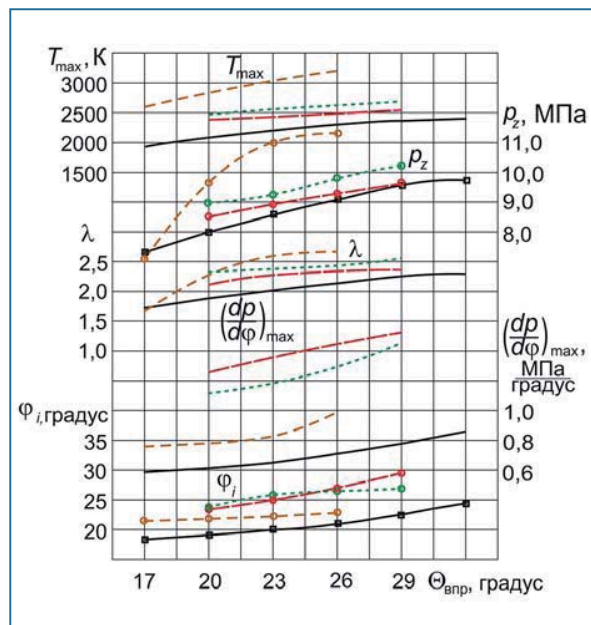
**Рис. 4.** Влияние применения ПГ и СТЭ на показатели процесса сгорания в дизеле 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения нагрузки при  $n = 2200 \text{ мин}^{-1}$ :

— ДП; - - ГДП;  
- - ЭТЭ; — МТЭ



**Рис. 5.** Индикаторные диаграммы дизеля 4Ч 11,0/12,5 при  $\Theta_{впр} = 23^\circ$  и  $n = 1700 \text{ мин}^{-1}$ :

— ДП; - - ГДП;  
- - ЭТЭ; — МТЭ



**Рис. 6.** Влияние применения ПГ и СТЭ на показатели процесса сгорания в дизеле 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения  $\Theta_{впр}$  при  $n = 2200 \text{ мин}^{-1}$ :

— ДП; - - ГДП;  
- - ЭТЭ; — МТЭ

Таблица 1

**Результаты исследований показателей процесса сгорания в дизеле 4Ч 11,0/12,5 при  $\Theta_{\text{впр}} = 23^\circ$  и номинальном режиме ( $n=2200 \text{ мин}^{-1}$ ,  $p_e=0,64 \text{ МПа}$ )**

Топливо	Показатели				
	$T_{\text{max}}$ , К	$p_z$ , МПа	$\lambda$	$(dp/d\varphi)_{\text{max}}$ , МПа/град	$\varphi_r$ , градус
Дизельное	2190	8,1	1,90	0,59	22,5
ПГ	3010 (рост на 37,4 %)	8,5 (рост на 4,9 %)	2,0 (рост на 5,3 %)	0,69 (рост на 17,0 %)	30,0 (рост на 33,3 %)
МТЭ	2430 (рост на 11,0 %)	8,5 (рост на 4,9 %)	2,26 (рост на 19,0 %)	1,25 (рост в 2,1 раза)	30,0 (рост на 33,3 %)
ЭТЭ	2510 (рост на 14,6 %)	8,9 (рост на 9,9 %)	2,27 (рост на 19,5 %)	1,01 (рост на 71,2 %)	28,0 (рост на 24,4 %)

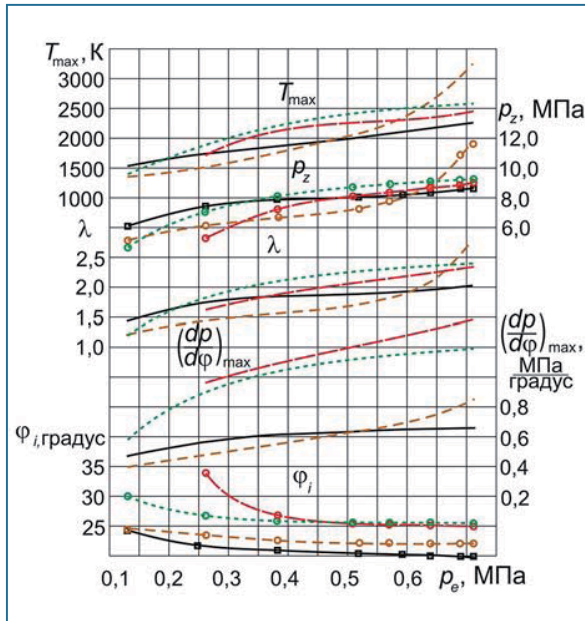
Рассматривая работу дизеля на ПГ и СТЭ хорошо видно, что с увеличением нагрузки происходит «классический» рост максимальной осредненной температуры газов в цилиндре  $T_{\text{max}}$ , максимального давления  $p_z$ , степени повышения давления  $\lambda$ , жесткости процесса сгорания  $(dp/d\varphi)_{\text{max}}$  и снижение угла  $\varphi_r$ , соответствующего ПЗВ. Так, например, при работе на ПГ в диапазоне изменения нагрузки от 0,13 до 0,71 МПа значения  $T_{\text{max}}$  увеличиваются от 1400 до 3560 К, или в 2,5 раза;  $p_{z \text{ max}}$  с 5,2 до 10,4 МПа, или ровно в 2 раза;  $\lambda$  с 1,2 до 2,5, или в 2,1 раза;  $(dp/d\varphi)_{\text{max}}$  от 0,46 до 0,76 МПа/град, или на 65,2 % и снижение  $\varphi_r$  с 30,5 до 29,5 °ПКВ.

На основании проведенных исследований на номинальном режиме работы с  $\Theta_{\text{впр}} = 23^\circ$  применение ПГ, МТЭ и ЭТЭ приводит к параметрам процесса сгорания дизеля 4Ч 11,0/12,5, указанным в табл. 1.

На рис. 5 изображены индикаторные диаграммы дизеля 4Ч 11,0/12,5 при  $n = 1700 \text{ мин}^{-1}$  и  $\Theta_{\text{впр}} = 23^\circ$ . На режиме максимального крутящего момента также происходит увеличение ПЗВ и максимального давления цикла  $p_z$  при работе на всех исследуемых альтернативных топливах. Так, при работе по газодизельному процессу значение  $\varphi_r$  увеличивается на 2,0°, на МТЭ – на 5,0°, на ЭТЭ – на 5,5° по сравнению с чисто дизельным. При этом  $p_z$  увеличивается при работе на МТЭ на 0,3 МПа, на ЭТЭ – на 0,6 МПа, по ГДП – на 2,4 МПа.

Результаты исследований характеристик процесса горения в дизеле 4Ч 11,0/12,5, зависящие от  $\Theta_{\text{впр}}$ , при  $n = 1700 \text{ мин}^{-1}$ , показаны на рис. 6.

Анализируя кривые параметров процесса сгорания при ГДП, необходимо отметить, что с увеличением  $\Theta_{\text{впр}}$  при  $n = 1700 \text{ мин}^{-1}$  возрастают величины  $T_{\text{max}}$ ,  $p_z$ ,  $\lambda$ ,  $(dp/d\varphi)_{\text{max}}$  и значения угла  $\varphi_r$ , соответствующего ПЗВ. Исследуя зависимости работы дизеля 4Ч 11,0/12,5 на МТЭ и дизельном топливе при  $n = 1700 \text{ мин}^{-1}$ , необходимо также отметить увеличение параметров процесса сгорания на МТЭ. При  $\Theta_{\text{впр}} = 23^\circ$  и при переходе с ДП на МТЭ наблюдается увеличение значений  $T_{\text{max}}$  на 11,3 %,  $p_z$  на 3,5 %,  $(dp/d\varphi)_{\text{max}}$  в 2,1 раза, степени повышения давления  $\lambda$  на 15,0 %, угла  $\varphi_r$ , соответствующего ПЗВ, на 25,0 %. При  $\Theta_{\text{впр}} = 26^\circ$  при переходе с ДП на МТЭ наблюдается рост  $T_{\text{max}}$  на 9,2 %,  $p_z$  на 2,2 %,  $(dp/d\varphi)_{\text{max}}$  в 2,0 раза, степени повышения давления  $\lambda$  на 7,3 %, угла  $\varphi_r$ , соответствующего ПЗВ, на 28,6 %. Исследуя графические зависимости работы дизеля 4Ч 11,0/12,5 на ЭТЭ и дизельном топливе, следует отметить увеличение параметров процесса сгорания на ЭТЭ, так же как и на МТЭ. Так, при  $\Theta_{\text{впр}} = 23^\circ$  при переходе с ДП на ЭТЭ наблюдается рост  $T_{\text{max}}$  на 14,9 %,



**Рис. 7.** Влияние применения ПГ и СТЭ на показатели процесса сгорания дизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от изменения  $\Theta_{впр}$  при  $n = 1700 \text{ мин}^{-1}$ :  
 — ДП; — ГДП;  
 — ЭТЭ; — МТЭ

Результаты исследований параметров процесса сгорания дизеля 4Ч 11,0/12,5, работающего на ПГ и СТЭ, при  $\Theta_{впр} = 23^\circ$  и  $n = 1700 \text{ мин}^{-1}$  сведены в табл. 2.

Таким образом, в результате экспериментальных исследований показателей процесса сгорания дизеля при работе на ПГ и СТЭ можно сделать следующие выводы:

1. На основании проведенных исследований показателей процесса сгорания дизеля 4Ч 11,0/12,5 предложено значение оптимального установочного угла опережения впрыскивания топлива, равное  $23^\circ$ . Это же значение рекомендовано и для дизельного процесса.

Таблица 2

**Результаты исследований показателей процесса сгорания дизеля 4Ч 11,0/12,5 при  $\Theta_{впр} = 23^\circ$  и режиме, соответствующем максимальному крутящему моменту ( $n=1700 \text{ мин}^{-1}$ ,  $p_e=0,69 \text{ МПа}$ )**

Топливо	Показатели				
	$T_{\max}$ , К	$p_z$ , МПа	$\lambda$	$(dp/d\phi)_{\max}$ , МПа/град	$\phi_i$ , градус
Дизельное	2210	8,6	2,0	0,64	20,0
ПГ	3050 (рост на 38,0 %)	11,0 (рост на 27,9 %)	2,60 (рост на 30,0 %)	0,83 (рост на 29,7 %)	22,0 (рост на 10,0 %)
МТЭ	2460 (рост на 11,3 %)	8,9 (рост на 3,5 %)	2,30 (рост на 15,0 %)	1,36 (рост в 2,1 раза)	25,0 (рост на 25,0 %)
ЭТЭ	2540 (рост на 14,9 %)	9,2 (рост на 7,0 %)	2,36 (рост на 18,0 %)	1,19 (рост на 85,9 %)	25,5 (рост на 27,5 %)

$p_z$  на 7,0 %,  $(dp/d\phi)_{\max}$  на 85,9 %, степени повышения давления  $\lambda$  на 18,0 %, угла  $\phi_i$ , соответствующего ПЗВ, на 27,5 %. При  $\Theta_{впр} = 26^\circ$  при переходе с ДП на ЭТЭ наблюдается рост  $T_{\max}$  на 14,0 %,  $p_z$  на 7,7 %,  $(dp/d\phi)_{\max}$  на 84,5 %, степени повышения давления  $\lambda$  на 11,5 %, угла  $\phi_i$ , соответствующего ПЗВ, на 26,2 %.

На рис. 7 представлены показатели процесса сгорания дизеля 4Ч 11,0/12,5 при частоте вращения  $1700 \text{ мин}^{-1}$  на различных нагрузочных режимах работы.

При анализе работы дизеля на ПГ и СТЭ хорошо видно, что с увеличением нагрузки, так же как и при номинальной частоте вращения, происходит «классический» рост  $T_{\max}$ ,  $p_z$ ,  $\lambda$ ,  $(dp/d\phi)_{\max}$  и снижение угла  $\phi_i$ , соответствующего ПЗВ. Так, при работе на МТЭ в диапазоне изменения  $p_e$  от 0,26 до 0,71 МПа повышение значений  $T_{\max}$  составляет от 1690 до 2460 К,  $p_z$  – от 5,2 до 9,0 МПа,  $\lambda$  – от 1,61 до 2,32,  $(dp/d\phi)_{\max}$  – с 0,97 до 1,42 МПа/град;  $\phi_i$  снижается с  $34,0$  до  $25,0$  °ПКВ.



2. Установлены зависимости влияния режимов работы дизеля 4Ч 11,0/12,5 на ПГ, МТЭ и ЭТЭ на показатели его процесса сгорания.

3. Определены оптимальные значения показателей процесса сгорания при работе дизеля 4Ч 11,0/12,5 на ПГ и СТЭ при  $\Theta_{\text{впр}} = 23^\circ$ .

4. При  $\Theta_{\text{впр}} = 23^\circ$  и номинальном режиме ( $n = 2200 \text{ мин}^{-1}$ ,  $p_e = 0,64 \text{ МПа}$ ) получены следующие результаты:

- ДП –  $T_{\text{max}}=2190 \text{ К}$ ;  $p_z=8,1 \text{ МПа}$ ;  $\lambda=1,90$ ;  $(dp/d\varphi)_{\text{max}}=0,59 \text{ МПа/град}$ ;  $\varphi_i=22,5^\circ$ ; ГДП –  $T_{\text{max}}=3010 \text{ К}$  (увеличение на 37,4 %);  $p_z=8,5 \text{ МПа}$  (увеличение на 4,9 %);  $\lambda=2,0$  (увеличение на 5,3 %);  $(dp/d\varphi)_{\text{max}}=0,69 \text{ МПа/град}$  (увеличение на 17,0 %);  $\varphi_i=30,0^\circ$  (увеличение на 33,3 %);
- МТЭ –  $T_{\text{max}}=2430 \text{ К}$  (увеличение на 11,0 %);  $p_z=8,5 \text{ МПа}$  (увеличение на 4,9 %);  $\lambda=2,26$  (увеличение на 19,0 %);  $(dp/d\varphi)_{\text{max}}=1,25 \text{ МПа/град}$  (увеличение в 2,1 раза);  $\varphi_i=30,0^\circ$  (увеличение на 33,3 %);
- ЭТЭ –  $T_{\text{max}}=2510 \text{ К}$  (увеличение на 14,6 %);  $p_z=8,9 \text{ МПа}$  (увеличение на 9,9 %);  $\lambda=2,27$  (увеличение на 19,5 %);  $(dp/d\varphi)_{\text{max}}=1,01 \text{ МПа/град}$  (увеличение на 71,2 %);  $\varphi_i=28,0^\circ$  (увеличение на 24,4%).

5. При  $\Theta_{\text{впр}} = 23^\circ$  и режиме, соответствующем максимальному крутящему моменту ( $n = 1700 \text{ мин}^{-1}$ ,  $p_e = 0,69 \text{ МПа}$ ):

- ДП –  $T_{\text{max}}=2210 \text{ К}$ ;  $p_z=8,6 \text{ МПа}$ ;  $\lambda=2,0$ ;  $(dp/d\varphi)_{\text{max}}=0,64 \text{ МПа/град}$ ;  $\varphi_i=20,0^\circ$ ;
- ГДП –  $T_{\text{max}}=3050 \text{ К}$  (увеличение на 38,0 %);  $p_z=11,0 \text{ МПа}$  (увеличение на 27,9 %);  $\lambda=2,6$  (увеличение на 30,0 %);  $(dp/d\varphi)_{\text{max}}=0,83 \text{ МПа/град}$  (увеличение на 29,7 %);  $\varphi_i=22,0^\circ$  (увеличение на 10,0 %);
- МТЭ –  $T_{\text{max}}=2460 \text{ К}$  (увеличение на 11,3 %);  $p_z=8,9 \text{ МПа}$  (увеличение на 3,5 %);  $\lambda=2,30$  (увеличение на 15,0 %);  $(dp/d\varphi)_{\text{max}}=1,36 \text{ МПа/град}$  (увеличение в 2,1 раза);  $\varphi_i=25,0^\circ$  (увеличение на 25,0 %);
- ЭТЭ –  $T_{\text{max}}=2540 \text{ К}$  (увеличение на 14,9 %);  $p_z=9,2 \text{ МПа}$  (увеличение на 7,0 %);  $\lambda=2,36$  (увеличение на 18,0 %);  $(dp/d\varphi)_{\text{max}}=1,19 \text{ МПа/град}$  (увеличение на 85,9 %);  $\varphi_i=25,5^\circ$  (увеличение на 27,5 %).

## Использованные источники

1. Индикаторная диаграмма, динамика тепловыделения и рабочий цикл быстроходного поршневого двигателя / Б.С. Стечкин, К.И. Генкин, В.С. Золотаревский, И.В. Скородинский. – М.: Изд-во Академии наук СССР, 1960. – 200 с.

2. Aydin F., Ogut H. Effects of Ethanol-Biodiesel-Diesel Fuel in Single Cylinder Diesel Engine to engine Performance and Emissions // Renewable Energy. – 2017. – V.103. – P. 688-694.

3. A Semi-detailed chemical Kinetic Mechanism of Acetone-Butanol-Ethanol (ABE) and Diesel blend for Combustion Simulations / S. Zhang, W. Wu, C.-F. Lee [et al.] // SAE International Journal of Engines. – 2016 – V. 9. – № 1. – P. 631-640.

4. Datta A., Mandal B.K. Impact of Alcohol Addition to Diesel on the Performance Combustion and Emissions of a Compression Ignition Engine // Applied Thermal Engineering. – 2016 – V. 98. – P. 670-682.

5. Likhonov V.A., Lopatin O.P. Use of Natural Gas, Methanol, and Ethanol Fuel Emulsions as Environmentally Friendly Energy Carriers for Mobile Heat Power Plants // Thermal Engineering. – 2017. – V. 64. – № 12. – P. 935-944.

6. Likhonov V.A., Lopatin O.P. The Study of the Process of Combustion of the Alcohol-Fuel Emulsions and Natural Gas in a Diesel Engine // International Journal of Applied Engineering Research. – 2018. – V. 13. – № 3. – P. 1703-1709.

7. Likhonov V.A., Lopatin O.P. Study of Loading Regimes of Diesel Engines Operating on Natural Gas // International Journal of Applied Engineering Research. – 2018. – V. 13. – № 5. – P.2936-2939.



## Система пропорционального управления электроприводом велосипеда

70

**А.П. Фомин**, доцент кафедры «Электротехника»  
ФГБОУ высшего образования «Московский политехнический университет», к.т.н.,  
**Е.М. Овсянников**, профессор кафедры «Электротехника»  
ФГБОУ высшего образования «Московский политехнический университет», д.т.н.

В статье рассмотрена задача пропорционального управления тяговым электроприводом электровелосипеда при совместном применении мускульного и электрического приводов. Оценены получаемые тяговые свойства и преимущества системы пропорционального управления. Предложена структура привода и системы автоматического управления.

**Ключевые слова:**

электровелосипед, мускульный привод, тяговый электропривод, система пропорционального управления.

**П**оявление энергоемких тяговых аккумуляторных батарей и активное развитие электроприводов с цифровым программным управлением на базе микроконтроллеров создали предпосылки к созданию разнообразных электрифицированных индивидуальных средств передвижения. Этому способствовал существующий запрос потребителя на экологичные и компактные устройства, обладающие следующими характеристиками:

- способностью достаточно быстро преодолевать расстояния в несколько десятков километров на одной зарядке;
- отсутствием вредных выбросов;
- безопасностью работы в условиях городских улиц и в помещениях;
- достаточно малыми габаритами и массой в соответствии с их назначением;
- иметь средства пополнения запаса энергии на движение простым и безопасным путем в бытовых условиях;
- быть простыми в управлении и не требовать специальной подготовки;
- иметь невысокую цену, доступную большинству потребителей.

Особое значение здесь приобретают малые габариты и масса, позволяющие следующее:

- обеспечить высокую подвижность в разнообразных условиях (на автодорогах, велодорожках, тротуарах и так далее) при отсутствии или скоплении автотранспорта и пешеходов;
- допускать хранение в домашних условиях или в гараже;
- иметь малую потребность в площади на городской парковке или не нуждаться в парковке вовсе;
- быть удобным для транспортировки в нерабочем состоянии, в том числе «на руках».



Рис. 1. Внешний вид электровелосипеда

Эксплуатационные показатели таких устройств значительно выше, чем у аналогичных с мускульным приводом, и более соответствуют показателям легких автотранспортных средств.

Сегодня потребителю предлагаются электрифицированные индивидуальные транспортные средства с разными назначениями и техническими возможностями: электроскутеры, электроколяски, электросамокаты и электроскейты, электромоноколеса [1, 2]. Все они имеют общие черты: питание от аккумуляторной

батареи, регулируемый тяговый электропривод, зарядное устройство от однофазной сети 220 В. Самыми легкими из них являются переносные средства: моноколеса с гироскопической стабилизацией, электросамокаты и электроскейты. Их снаряженная масса не превышает 10...15 кг, мощность электропривода 350...800 Вт, максимальная скорость 15...30 км/ч, запас хода 10...25 км. Управление движением осуществляется по положению тела или с ручного пульта. Наиболее мощные из данной группы транспортных средств (до 3...5 кВт) – электроскутеры и электроциклы – способны развивать высокие скорости движения как в обычном, так и в спортивном варианте конструкции.

Особое место занимает популярный вид транспорта – электровелосипеды.

В электровелосипедах (рис. 1) тяговый электропривод имеет мощность 200...800 Вт, что связано с небольшой скоростью движения (до 20...30 км/ч) и низкими требованиями по динамике разгона.

Обычно электропривод играет вспомогательную роль и применяется совместно с pedalным приводом. Варианты подключения электропривода в работу и алгоритмы регулирования могут быть различными и зависят от выбранной функции помощи велосипедисту.

Структура тяговой электрической системы мало отличается от аналогичной структуры в электроскутерах. Она содержит тяговую аккумуляторную батарею (ТАБ), тяговый электродвигатель (ТЭД), полупроводниковый преобразователь с контроллером управления, механическую передачу. Главные отличия заключаются в принципах использования электропривода, его параметрах и методах управления при движении велосипедиста.

Тяговые батареи обычно литий-ионные, что связано с необходимостью получить легкий велосипед массой от 14 до 20 кг с достаточным запасом хода. Напряжение батареи 36...48 В, емкость 6...10 А·ч. Предполагаемое использование мускульного привода уменьшает объем запасаемой в ТАБ энергии на движение, что позволяет дополнительно снизить размеры и вес батареи.

Зарядное устройство – внешнее, входит в комплект велосипеда и обеспечивает время заряда 6...10 часов от бытовой сети 220 В.

Традиционные электровелосипеды имеют привод на одно колесо, обычно заднее. На это колесо может приходиться до 70 % полной массы, что способствует повышению проходимости на мягком грунте. Кроме того, оно неповоротное, и к нему проще подключить механическую передачу от педалей. Мускульный и электрический приводы объединяются в общую механически связанную систему, придающую вращение заднему колесу. Наиболее удобна мотор-колесная конструкция



Рис. 2. Управляющие элементы системы PAS

с редуктором или без него. Блок из электродвигателя и редуктора размещают на месте задней втулки. Это позволяет сохранить обычный набор задних шестерен с переключателем передач для мускульного привода.

Возможно расположение блока электродвигатель – редуктор и в центральной части рамы. При этом ТЭД оказывается связанным с колесом через механическую передачу с переменным передаточным числом. Однако наиболее простым в компоновочном отношении выглядит вариант с передним электрическим приводом. Задняя часть велосипеда остается традиционной.

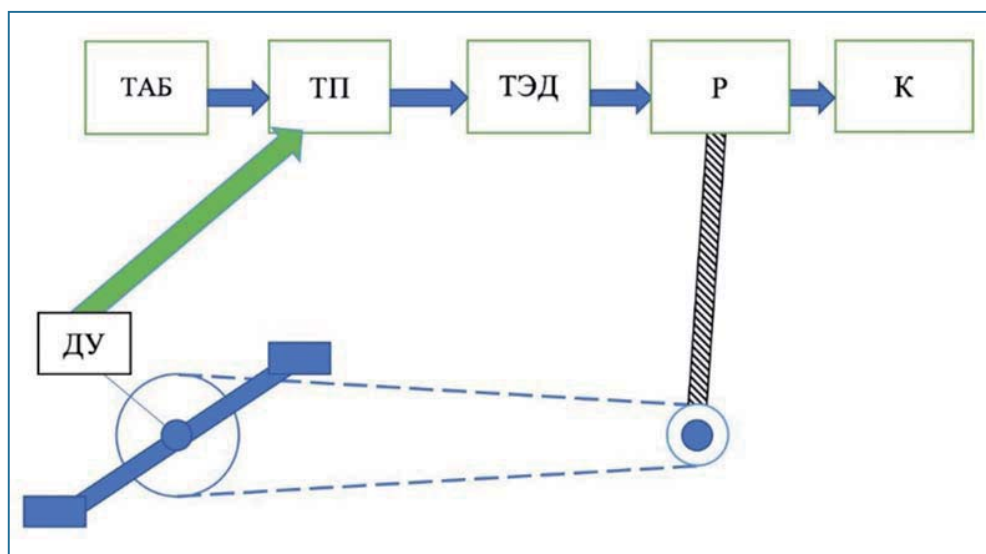
При выборе электродвигателя предпочтение отдается бесконтактным машинам с магнитным возбуждением, которые характеризуются наименьшими габаритами и массой, не требуют обслуживания в эксплуатации. Электродвигатели комплектуются контроллером управления, который содержит транзисторный инвертор и обеспечивает взаимодействие с органами управления и датчиками, а также осуществляет регулирование привода.

Основное назначение тягового электропривода на электровелосипеде – помощь велосипедисту. Он может подключаться при пиковых мускульных нагрузках велосипедиста, для облегчения педалирования на средних скоростях и длительного движения в установившихся скоростных режимах, в том числе без педального привода. Подключение – автоматическое при достаточном заряде ТАБ. Система управления электроприводом при этом может учитывать разнообразную информацию: положение выключателя привода, скорость движения, скорость вращения педалей, величину тока ТЭД, напряжение и степень заряженности ТАБ и др. На основании полученной информации она должна отображать работу привода на сигнальных устройствах или дисплее.

Наиболее известна система управления PAS (Pedal Assist System) – система помощи педалированию на дороге [3, 4]. Она проста в установке и эксплуатации, предназначена для включения мотор-колеса в момент начала вращения педалей и автоматического отключения при остановке педалей. Внешний вид элементов PAS отображен на рис. 2. Система содержит немагнитный диск с установленными точечными магнитами и кольцо с датчиком магнитного потока. Диск закрепляется на подвижной части педального узла, кольцо – на раме рядом с диском. При вращении диска в датчике возникают импульсы напряжения, поступающие на контроллер управления электроприводом.

Контроллер измеряет скорость вращения педалей. При превышении порогового значения скорости он с небольшой задержкой по углу поворота педалей (обычно 180...540 градусов) подключает ТЭД. Устанавливается фиксированная сила тяги на колесе. Если перестать вращать педали, то через небольшой промежуток времени (например, через 2 секунды) электродвигатель отключается.

Чаще всего имеются три ступени управления, выбираемые велосипедистом с помощью сенсоров на небольшом дисплее. Последний устанавливается на руле и одновременно служит указателем уровня заряда аккумулятора.



**Рис. 3.** Структура привода электровелосипеда:

ТАБ – тяговая аккумуляторная батарея; ТП – транзисторный преобразователь;

ТЭД – тяговый электродвигатель; Р – механическая передача; К – колесо;

ДУ – датчик усилия на педалях

Системой PAS оснащаются электровелосипеды в Европе и многих других странах. Отсутствие в этой системе ручки акселератора («газ») не позволяет властям отнести электровелосипед к электроскутерам и в соответствии с существующим законодательством этих стран наложить ограничения на его эксплуатацию. К недостаткам системы можно отнести отсутствие чувствительности к величине мускульного усилия, создаваемого велосипедистом, и возможное возникновение рывков при переключении ступеней.

Используется также система E-bike, где задание мощности контроллеру осуществляется ручкой акселератора. Эта система по вышеуказанной причине более подходит к электроскутерам.

Известно, что велосипедная техника является прекрасным оздоровительным средством. В то же время проблема снижения физической активности у населения стоит достаточно остро в течение многих лет. Как показывают медицинские исследования, недостаток движения часто приводит к ожирению и многим другим заболеваниям. Даже здоровые и худые люди лучше чувствуют себя при наличии относительно небольших, но регулярных физических нагрузок. Например, положительно сказывается быстрая ходьба в течение двадцати минут (например, на работу) или поездки на велосипеде на более значительные расстояния.

Исходя из этого дальнейшее развитие электровелосипедов можно связывать не только с улучшением технических характеристик, но и с приобретением ряда дополнительных функций, в частности, с созданием средств для получения при педалировании дозированной физической нагрузки, которая не будет вызывать существенного утомления велосипедиста.

Таким средством может стать система пропорционального управления электроприводом велосипеда, в которой электропривод выступает в роли усилителя мускульного усилия велосипедиста (рис. 3).

Предполагается, что сила тяги на колесе в такой системе создается в виде суммы мускульной и электрической составляющих:

$$F = F_m + F_э, \quad (1)$$

где  $F_m$  – мускульная составляющая;  $F_э$  – электрическая составляющая.

Величина необходимой силы тяги для движения в установившемся режиме определяется известным выражением

$$F = mg(f+i) + 0,5 C_x \rho S V^2, \quad (2)$$

где  $m$  – полная масса велосипедиста с велосипедом;  $f$  – коэффициент сопротивления качению;  $i$  – дорожный уклон;  $C_x$  – коэффициент аэродинамического сопротивления;  $\rho$  – плотность воздуха;  $S$  – лобовая площадь;  $V$  – скорость движения.

При пропорциональном управлении электроприводом приращения составляющих силы тяги связаны между собой:

$$\Delta F_э = k_F \Delta F_m, \quad (3)$$

где  $k_F$  – коэффициент пропорциональности.

Можно определить указанный коэффициент по данным текущего режима:

$$k_F = F_э / (F_m - F_{мо}), \quad (4)$$

где  $F_{мо}$  – начальная сила тяги мускульного привода.

Электропривод должен подключаться в работу при небольшом исходном мускульном усилии  $F_{мо}$ , соответствующем началу устойчивого движения велосипеда. Это начало дополнительно характеризуется вращением педалей с минимальной пороговой частотой и соответствующей ей скоростью движения  $V_0$ . В качестве такого исходного режима можно принять движение на горизонтальной дороге ( $i=0$ ) со скоростью 3...5 км/ч.

Выражая  $F_э$  и подставляя в (1) имеем

$$F = F_m(1 + k_F) - k_F F_{мо}.$$

Отсюда можно найти составляющие:

$$F_m = (F + k_F F_{мо}) / (1 + k_F); \quad (5)$$

$$F_э = F - F_m. \quad (6)$$

Для примера была определена взаимосвязь действующих сил для электро-велосипеда и велосипедиста полной массой 130 кг с коэффициентами  $f = 0,011$  и  $C_x = 0,6$ , лобовой площадью  $S = 0,7 \text{ м}^2$ . Приняты начальная скорость включения электропривода  $V_0 = 5 \text{ км/ч}$ , максимальная скорость движения – 25 км/ч при комфортной частоте вращения педалей 45...55 об/мин. На подъеме

### Значения действующих сил в характерных режимах

$V, \text{ км/ч}$	$i, \%$	$F, \text{ Н}$	$F_m, \text{ Н}$	$F_э, \text{ Н}$
5	0	15,1	15,1	0
20	7	111,2	27,0	84,2
25	0	27,0	16,6	10,4



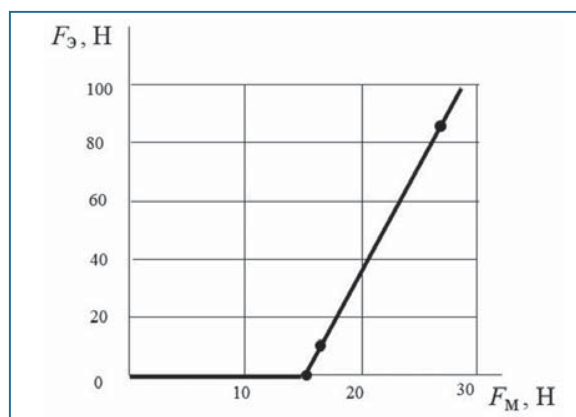


Рис. 4. Взаимосвязь сил тяги

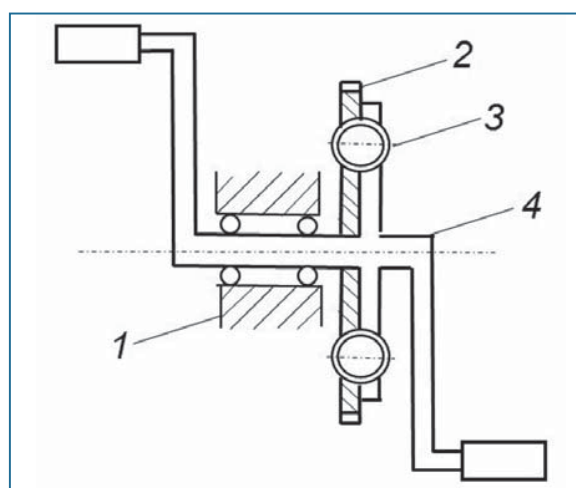


Рис. 5. Схема педаляльного узла:  
1 – рама; 2 – ведущая звездочка;  
3 – пружина; 4 – педаляльный диск с шатунами и осью

ской передачи, кратковременного повышения мускульного усилия и форсирования электропривода. Увеличение номинальной мощности электродвигателя представляется нецелесообразным из-за малой его загруженности в среднем при езде и соответствующего снижения КПД.

Для работы электропривода требуется датчик усилия на педалях или датчик крутящего момента на педаляльном узле. Возможная конструкция бесконтактного датчика крутящего момента представлена ниже. В ней учтено, что величина момента пульсирует, максимум наблюдается два раза на один оборот шатунов.

Педаляльный узел содержит педаляльный диск с шатунами и осью (рис. 5), свободно вращающуюся на оси ведущую звездочку. Упругая связь между ними устанавливается цилиндрическими пружинами. При нажатии на педали происходит сжатие пружин и сдвиг диска относительно звездочки.

Диск и звездочка имеют немагнитные вставки, расположенные по радиусу с первоначальным сдвигом относительно друг друга. При полном нажатии на педали сдвиг устраняется. Во вставках диска установлены постоянные магниты, во вставках звездочки – магнитопроводы (рис. 6).

с уклоном  $i = 7 \%$ , соответствующим максимальному значению основных уклонов на автодорогах, взята скорость 20 км/ч. Результаты расчета приведены в таблице.

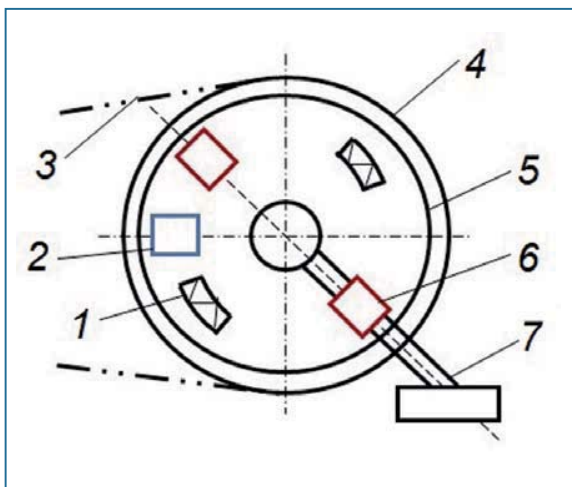
По данным первой и третьей строк таблицы определены, согласно (4)-(6), коэффициент  $k_F = 7,08$  и значения сил тяги. Номинальная мощность электродвигателя составила 468 Вт.

Взаимосвязь сил тяги мускульного и электрического приводов представлена на рис. 4.

Отрезок  $0 \leq F_M \leq 15,1$  соответствует зоне нечувствительности электропривода, далее идет режим усилительного действия. Верхняя точка соответствует максимальному значению силы тяги электропривода и номинальной мощности электродвигателя.

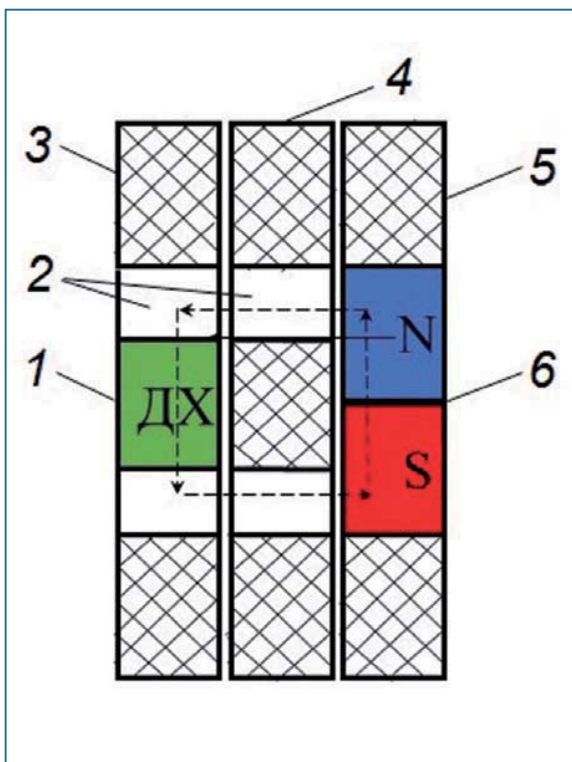
Педалирование на горизонтальной дороге и малых подъемах мало отличается по мускульному усилию. Сила тяги делится примерно в равных долях между мускульным и электрическим приводом, что позволяет экономить энергию аккумуляторной батареи и увеличивать запас хода. На подъемах основную часть силы тяги принимает на себя электропривод (до 75%).

Дальнейший рост силы тяги, иногда требуемый на крутых подъемах, возможен за счет переключения механической



**Рис. 6.** Расположение элементов датчика момента:

- 1 – пружина; 2 – приемник сигнала;
- 3 – цепь; 4 – ведущая звездочка;
- 5 – педальный диск; 6 – постоянные магниты с магнитопроводом;
- 7 – шатун с педалью



**Рис. 7.** Магнитная цепь датчика:

- 1 – датчик Холла; 2 – магнитопроводы;
- 3 – корпус приемника сигнала;
- 4 – ведущая звездочка; 5 – педальный диск;
- 6 – постоянный магнит

На раме велосипеда имеется приемник сигнала с аналоговым датчиком Холла. Магниты, магнитопроводы и датчик Холла образуют магнитную цепь, магнитный поток в которой зависит от взаимного расположения элементов (рис. 7). При отсутствии нажатия на педали сдвиг вставок диска относительно вставок звездочки максимален, и магнитный поток наименьший. При полном нажатии сдвига нет, и магнитный поток имеет максимальную величину.

На величину потока реагирует датчик Холла, причем используется информация как по амплитуде его выходного сигнала, так и по частоте импульсов. Считывание информации производится два раза на оборот при горизонтальном расположении педалей, когда нажатие на педали максимально.

Функциональная схема электропривода, которую можно выполнить на базе единого микроконтроллера, представлена на рис. 8.

Бесконтактный двигатель постоянного тока М питается от аккумуляторной батареи GB. Управление инвертором ведется цифровым блоком управления БУИ. Схема содержит датчик тока ВА, входящий в замкнутый контур автоматического регулирования тока электродвигателя, а также нелинейные элементы с указанными на рисунке взаимосвязями входных и выходных сигналов.

При работе схемы с датчика ДХ поступает сигнал на элементы ДА и ДЧ, где формируются сигналы по амплитуде крутящего момента  $M$  и частоте вращения педалей  $n$ . Эти сигналы сравниваются с их пороговыми значениями  $M_0$  и  $n_0$ . При отрицательных разностных сигналах ток в электродвигателе отсутствует. При положительном сигнале  $\Delta M$  определяется сигнал задания тока  $I_3$ , сигнал управления  $\Delta I$  и скважность инвертора  $\gamma$ . Максимальное значение тока ограничивается

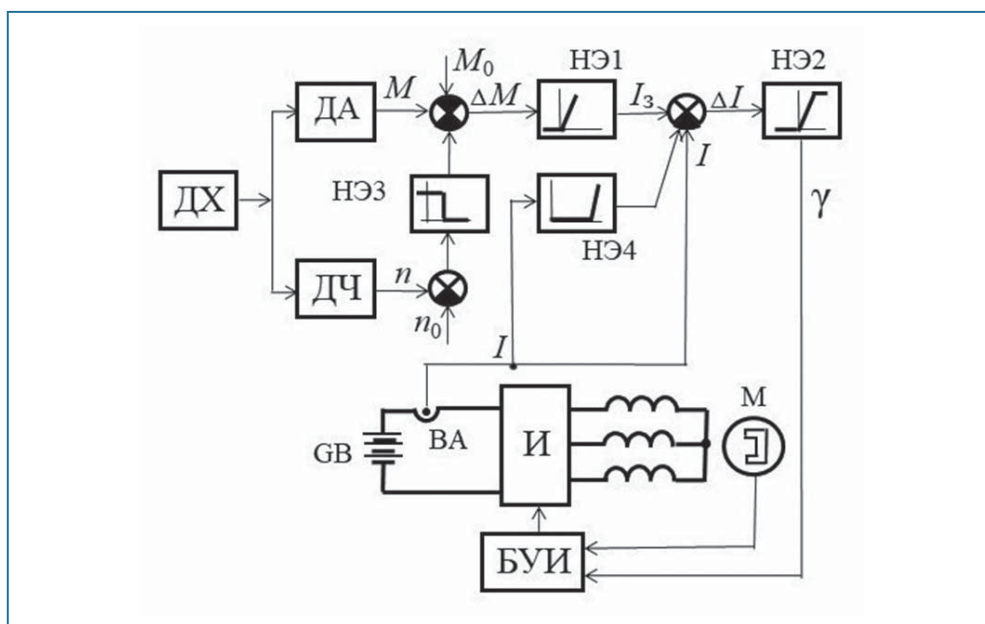


Рис. 8. Функциональная схема электропривода:

ДХ – датчик Холла; ДА, ДЧ – датчики амплитуды и частоты вращения;  
 НЭ1...НЭ4 – нелинейные элементы; GB – аккумуляторная батарея;  
 ВА – датчик тока; И – транзисторный инвертор; М – двигатель;  
 БУИ – блок управления инвертором

с помощью порогового элемента НЭ4.

Представленная схема позволяет реализовать рассмотренные принципы пропорционального управления. В ней могут использоваться традиционные узлы электровелосипеда: цепная переключаемая передача, инвертор с электродвигателем и цифровой контроллер с программным управлением.

Используя систему пропорционального управления электроприводом, велосипедист способен преодолевать на электровелосипеде значительные расстояния без существенного утомления и при этом получать полезную физическую нагрузку.

Кроме оздоровительного эффекта, подобный электровелосипед имеет еще одно преимущество: экономит электроэнергию за счет мускульного привода, что позволяет либо увеличить запас хода, либо снизить емкость аккумуляторной батареи и стоимость электропривода.

## Использованные источники

1. Овсянников Е.М. Бортовые источники и накопители энергии автотранспортных средств с тяговыми электроприводами. – М., Форум, 2016. – 280 с.
2. Корчак С.А., Фомин А.П. Чтобы велосипед стал велотроном // Автомобильная промышленность. – 1998. – № 1. – С. 16-18.
3. Электронный ресурс <http://www.eltreco.ru> articles/19453/ Выбор электровелосипеда: дроссель или PAS? Дата обращения 15.07.2018.
4. Электронный ресурс <http://www.velomasterclass.ru> sistema-upravleniya-motor... pas / Система управления мотор колесом PAS. Дата обращения 15.07.2018.

## Abstracts of articles

P. 35

### *Estimating the effectiveness of refueling with methane of automobile gas cylinders after their cooling with ambient air*

Svetlana Belousova, Vladimir Zarubin, Yakov Osadchy

Using the developed mathematical model of thermal processes for methane filling of typical metal-composite automotive gas cylinders, an analysis of the possible increase in the final mass of methane in cylinders by refueling them after cooling with ambient air was conducted. Quantitative estimates of the efficiency of two- and three-stage filling processes for gas cylinders of two design embodiments at an ambient temperature in the range of 233–293 K and different pauses between the filling stages are obtained.

**Keywords:** constructive type of automobile gas cylinder, equation of state of methane, thermal model of gas cylinder, refueling regimes.

#### References

1. Physical encyclopedic dictionary / Ch. Ed. A.M. Prokhorov. – Moscow: Sov. encyclopedia, 1983. – 928 p.
2. Handbook on the physical and technical bases of cryogenics / Ed. M.P. Malkov. – Moscow: Energoatomizdat, 1985. – 432 p.
3. Meeting on the prospects of using gas-powered fuel: a website. Access mode <http://kremlin.ru/events/president/news/18112> (reference date is June 3, 2013).
4. The TASS website (Russian News Agency). The access mode is <http://tass.ru/ekonomika/5135729> (circulation date is 03/06/2018).
5. GOST R 51753–2001. Cylinders of high pressure for compressed natural gas used as motor fuel for motor vehicles. General specifications. 01/01/2002. The code of ACS is 43.020. Gosstandart of Russia. Moscow.
6. RD 3112194-1095-03. Guidance on the organization and operation of gas-cylinder vehicles operating on compressed natural gas. Ministry of Transport of the Russian Federation. Department of Motor Transport. FSUE NIIAT, 2002. – 59 p.
7. Aliev A.V., Mishenkova O.V. Mathematical modeling in engineering. – Moscow–Izhevsk: Publishing House of the Institute for Computer Research, 2012. – 476 p.
8. Zarubin V.S. Modeling. – Moscow: Izd. center Academy, 2013. – 334 p.
9. Belousova S.Yu., Zarubin V.S., Osadchy Ya.G. Mathematical model of thermal processes in automotive cylinders with methane // Transport on alternative fuel. – 2014. – No. 4. – P. 5-13.
10. Physical quantities: Handbook / Ed. I.S. Grigorieva, E.Z. Meilikhova. – Moscow: Energoatomizdat, 1991. – 1232 p.
11. Alternative fuels for internal combustion engines / Under general. Ed. A.A. Alexandrova, V.A. Markov. – M.: OOO SIC «Engineer», OOO «Oniko», 2012. – 791 c.
12. Setzmann U., Wagner W. A New Equation of State and Tables of Thermodynamic Properties for Methane Covering Range from Melting Line to 625 K at Pressures up to 100 MPa // J. Phys. Chem. Ref. Data. – 1991. – V. 20. – No. 6. – P. 1061-1155.
13. Kirillin V.A., Sychev V.V., Sheindlin A.E. Technical thermodynamics. – Moscow: Nauka, 1979. – 512 p.
14. Belousova S.Yu., Zarubin V.S., Osadchy Ya.G. Numerical simulation of the thermal state of a metal-composite automotive cylinder during methane filling // Transport on alternative fuel. – 2015. – No. 3 (45). – P. 15-24.
15. Belousova S.Yu., Zarubin V.S., Krylov E.N., Osadchy Ya.G. Thermal modes of an automotive cylinder with a polymer liner during injection and consumption of methane // Transport on alternative fuel. – 2015. – No. 5 (47). – P. 47-57.
16. Belousova S.Yu., Krylov E.N., Osadchy Ya.G., Zarubin V.S. Thermal processes in automotive balloons with methane during filling and emptying // Safety of labor in industry. – 2017. – No. 4. – P. 68-77. DOI: 10.24000 / 04092961-2017-4-68-77.
17. Theory of heat and mass transfer / Ed. A.I. Leontief. – Moscow: BMSTU, 1997. – 684 p.

P. 47

### *Basics of planning and organization of the territorial service of repair and maintenance of the NGV filling stations network*

Andrey Evstifeev

Reducing the cost of operation of NGV filling stations is one of the tasks for companies' management operating the plant and owners of private gas stations. The wage fund is one of the main items of expenditure; its reduction makes it possible to increase the economic attractiveness of NGV filling stations. The article presents a way to organize a repair and maintenance service based on a territorial feature. The concepts of a service area and the formation of a service providing repair and maintenance of NGV stations in a certain territory are introduced. At the same time, one of the parameters of planning efficiency is the response time to the call and the time of arrival of the repair team to the site.

**Keywords:** NGV filling stations, compressed natural gas, NGV filling stations network, territorial division, service areas, service time, number of production workers.

#### References

1. Lyugay S.V., Drygina Yu.N. The system of key performance indicators of the production activity of NGV filling stations // Transport on alternative fuel. – 2018. – No. 4 (64). – P. 9-13.
2. Evstifeev A. Multi-criteria equipment control in complex engineering systems / A. Evstifeev, M. Zaeva, S. Krasnikova et al. // Asian Journal of Applied Sciences. – 2015. – T. 8. – No. 1. – P. 86-91.
3. Evstifeev A.A. Provision of municipal bus fleets of the megalopolis with gas motor fuel // Gas industry. – 2014. – No. 2 (702). – P. 86-89.
4. Evstifeev A.A. Methodology of rational construction and continuous improvement of the regional network of CNG stations // Transport on alternative fuel. – 2014. – No. 3 (39). – P. 53-60.
5. Evstifeev A.A. A mathematical model for analyzing the demand for CNG and LNG in newly gasified territories // Gas industry. – 2013. – No. 1 (685). – P. 87-88.

P. 51

### *Modern mobile gas tank trucks for vehicles*

Sergey Semenishchev, Pavel Merzlyakov

The Russian market of cars that operate on compressed natural gas is growing rapidly. The infrastructure of gas filling stations of these automobiles is effectively developing, beside stationary NGV filling stations, through mobile gas-filling stations and container mini-CNG stations.

**Keywords:** MGFS, gas cylinders, CNG.

P. 56

### *Research of diesel fuel with additives of palm oil*

Petr Oschepkov, Anton Bizhaev, Ivan Zaev, Sergey Smirnov, Adegbro Simeon Adedoza (Nigeria)

The physico-chemical and motor properties of alternative fuels (biofuel), made in the form of mixtures of diesel fuel with palm oil, are considered. In a number of countries in Africa, Asia and others (Malaysia, Indonesia, Thailand, Nigeria, etc.), programs are being developed



to convert transport to work on biofuels. Palm oil has the greatest productivity among plants, if one counts kilograms and liters of oil per hectare, which for some properties (combustion heat, stoichiometric ratio, cetane number, etc.) is closest to the traditional diesel fuel.

**Keywords:** diesel, alternative fuel, biofuel, palm oil, physico-chemical and motor properties.

## References

1. Forecast of the development of energy in the world and in Russia 2016 / Ed. A.A. Makarova, L.M. Grigoryeva, T.A. Mitrovoy; INE RAS-AC under the Government of the Russian Federation. – Moscow: 2016. – 200 p. ISBN 978-5-91438-023-3.
2. A.A. Aziz, M.F. Said, M.A. Awang and M. Said. The Effects of Neutralized Palm Oil Methyl Esters (NPOME) on Performance and Emission of a Direct Injection Diesel Engine, in Proc. of the 1st International Conference on Natural Resources Engineering and Technology INRET2006, 24-25 July 2006.
3. <http://ab-centre.ru/articles/mirovoy-rynok-palmovogo-masla-v-2001-2013-gg>.
4. K. Shumilov. Transport infrastructure of the Republic of Nigeria // Foreign Military Review. – 2004. – №7. – С. 18-22.
5. <http://www.gecont.ru/articles/econ/nigeria.htm> (circulation date 8.11.2017).
6. <http://www.abercade.ru/research/analysis/2314.html> (circulation date 13.11.2017)
7. [https://www.researchgate.net/publication/253329374\\_Performance\\_and\\_Emission\\_Characteristics\\_of\\_Diesel\\_Engine\\_Running\\_on\\_Blended\\_Palm\\_Oil](https://www.researchgate.net/publication/253329374_Performance_and_Emission_Characteristics_of_Diesel_Engine_Running_on_Blended_Palm_Oil) (circulation date 3.12.2017).
8. [http://people.idsia.ch/~nagi/conferences/iccbt\\_palm\\_biodiesel.pdf](http://people.idsia.ch/~nagi/conferences/iccbt_palm_biodiesel.pdf) (circulation date 3.12.2017).
9. Gusakov S.V. Prospects of using alternative fuels from renewable sources in diesel engines: Textbook. – Moscow: RUDN, 2008. – 318 p.
10. Oshchepkov P.P., Adedozha Adegbroro S. Alternative fuel for motor vehicles of Nigeria on the basis of palm oil // Bulletin of the Peoples' Friendship University of Russia. Series: Engineering research. – 2017. – Volume 18. – No. 4. – P. 437-444.
11. Oshchepkov P.P., Simeon A.A. The possibility of using palm oil as an additive to diesel fuel in the case of Nigeria. / Collection of proceedings on the materials of the 76th scientific-methodical and scientific conference MADI. – Moscow: Tekhpolyratsentr, 2018. – P. 155-162.
12. Chiara Saggese, Alessio Frassoldati, Alberto Cuoci, Tiziano Faravelli, Eliseo Ranzi. A lumped approach to the kinetic modeling of pyrolysis and combustion of biodiesel fuels, Proceedings of the Combustion Institute 34 (2013) 427-434.
13. Chemical Workbench 4.1, Kintech Lab Ltd., <http://www.kintechlab.com>.
14. M. Deminsky, V. Chorkov, G. Belov, I. Cheshigin, A. Knizhnik, E. Shulakova, M. Shulakov, I. Iskandarova, V. Alexandrov, A. Petrushev, I. Kirillov, M. Strelkova, S. Umanski, B. Potapkin. Chemical Workbench-integrated environment for materials science. Computational Materials Science, vol. 28, Issue 2, October 2003. – Pp. 169-178.
15. Cenk Sayin, Mustafa Canakci. Effects of injection timing on the engine performance and exhaustion of a dual-fuel diesel engine, Energy Conversion and Management 50 (2009) 203-213.

## P. 63

### Combustion of natural gas and alcohol-fuel emulsions in a piston engine

Vitaly Likhonov, Oleg Lopatin

Issues of natural gas and alcohol-fuel emulsions use as an alternative fuel for diesel are discussed in the article. A distinctive feature of the processes of mixture formation and combustion in a diesel operating on natural gas with a burning portion of diesel fuel, and alcohol-fuel emulsions, will be compared with the diesel process heterogeneity of the fuel mixture in terms of cylinder volume, there is a completely different evaporation of fuel and no coincidence in time of the processes of formation of the fuel-air mixture and its combustion. Consequently, the use of alternative fuels with different chemical composition and local conditions leads to distinctive indicators of the combustion process. Therefore, for the scientific representation of the real picture of the combustion process in diesel operating on natural gas and alcohol-fuel emulsions, the indexing of its working process and a detailed description of the combustion process is carried out. As the result of experimental research, the influence's dependences of production conditions of diesel engine 4F 11,0/12,5, operating on natural gas, metanol- and ethanol-fuel emulsions, on the performance of its combustion process are established. The optimal values of the combustion process parameters during the operation of the diesel engine on alternative fuels of these compositions are determined.

**Keywords:** diesel, natural gas, methanol, ethanol, emulsion, indicator diagram, combustion.

## References

1. Indicator diagram, dynamics of heat release and the operating cycle of a high-speed reciprocating engine. Stechkin, K.I. Genkin, V.S. Zolotarevsky, I.V. Skorodinsky. – Moscow: Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 1960. – 200 p.
2. Aydin F, Ogut H. Effects of Ethanol-Biodiesel-Diesel Fuel in Single Cylinder Diesel Engine to engine Performance and Emissions // Renewable Energy. – 2017. – V.103. – P. 688-694.
3. A Semi-detailed chemical Kinetic Mechanism of Acetone-Butanol-Ethanol (ABE) and Diesel blend for Combustion Simulations / S. Zhang, W. Wu, C.-F. Lee [et al.] // SAE International Journal of Engines. – 2016. – V. 9. – № 1. – P. 631-640.
4. Datta A., Mandal B.K. Impact of Alcohol Addition to Diesel on the Performance Combustion and Emissions of a Compression Ignition Engine // Applied Thermal Engineering. – 2016 – V. 98. – P. 670-682.
5. Likhonov V.A., Lopatin O.P. Use of Natural Gas, Methanol, and Ethanol Fuel Emulsions as Environmentally Friendly Energy Carriers for Mobile Heat Power Plants // Thermal Engineering. – 2017. – V. 64. – № 12. – P. 935-944.
6. Likhonov V.A., Lopatin O.P. The Study of the Process of Combustion of the Alcohol-Fuel Emulsions and Natural Gas in a Diesel Engine // International Journal of Applied Engineering Research. – 2018. – V. 13. – № 3. – P. 1703-1709.
7. Likhonov V.A., Lopatin O.P. Study of Loading Regimes of Diesel Engines Operating on Natural Gas // International Journal of Applied Engineering Research. – 2018. – V. 13. – № 5. – P. 2936-2939.

## P. 70

### Proportional control system of a bike's electrodrive

Alexander Fomin, Evgeniy Ovsyannikov

The problem of proportional control of traction electrodrive of an electric bike under combined usage of muscular and electric drives is considered in the article. The obtained traction properties and advantages of proportional control system are estimated. The structures of drive and automatic control system are considered.

**Keywords:** electric bike, muscular drive, traction electric drive, proportional control system.

## References

1. Ovsyannikov E.M. Onboard sources and power storage devices of vehicles with traction electric drives. – Moscow: Forum, 2016. – 280 p.
2. Korchak S.A., Fomin A.P. Bicycle to become a Velotron // Automobile industry. – 1998. – No. 1. – P. 16-18.
3. Electronic resource [http://www.eltreco.ru/articles/19453/Choice\\_of\\_electric\\_bike:\\_choke\\_or\\_PAS?](http://www.eltreco.ru/articles/19453/Choice_of_electric_bike:_choke_or_PAS?) Date of circulation on 07/15/2018.
4. The electronic resource <http://www.velomasterclass.ru/Sistema-upravleniya-motor...pas/> The control system of the PAS engine. Date of circulation on 07/15/2018.



## Авторы статей в журнале № 5 (65) 2018 г.

**Адегбенро Симеон Адедожа**  
(Нигерия), аспирант департамента машиностроения и приборостроения Инженерной академии Российского университета дружбы народов (РУДН), 11719, Россия, Москва ул. Миклухо-Маклая, д. 6

**Белоусова Светлана Юрьевна**,  
ведущий инженер ЗАО НПП «Маштест»,  
тел. +7 (495) 513-46-92, e-mail: svtlbelousova@gmail.ru

**Бизаев Антон Вячеславович**,  
ассистент кафедры Тракторы и автомобили  
Российского государственного аграрного университета –  
МСХА имени К.А. Тимирязева (ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА  
имени К.А. Тимирязева), к.т.н., 11719, Россия, Москва  
ул. Миклухо-Маклая, д. 6

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

**Заев Иван Александрович**,  
ассистент департамента машиностроения и приборостроения  
Инженерной академии Российского университета дружбы  
народов (РУДН), к.ф.-м.н. 11719, Россия, Москва  
ул. Миклухо-Маклая, д. 6

**Зарубин Владимир Степанович**,  
д.т.н., Московский государственный технический университет  
имени Н.Э. Баумана, профессор кафедры «Прикладная  
математика», м.т. +7 (915) 427-36-11, e-mail: zarubin@bmstu.ru

**Лиханов Виталий Анатольевич**,  
д.т.н., профессор, заведующий кафедрой Тепловых двигателей,  
автомобилей и тракторов ФГБОУ ВО Вятская ГСХА,  
610017, г. Киров, Октябрьский проспект, 133,  
тел. +7 (8332) 57-43-07, e-mail: lihanov.fsp@mail.ru,

**Лопатин Олег Петрович**,  
к.т.н., доцент ФГБОУ ВПО «Вятская государственная сельско-  
хозяйственная академия», служебный адрес: 610017, г. Киров,  
Октябрьский проспект, 133, кафедра ДВС,  
р.т. +7 (8332) 37-57-28, м.т. 912 361-77-55,  
e-mail: nirs\_vsaa@mail.ru

**Мерзляков Павел Павлович**,  
главный конструктор ООО «НПП ГазСервисКомпозит»  
тел.: +7 (3412) 911-067, e-mail: hi-tec11@mail.ru,

**Овсянников Евгений Михайлович**,  
д.т.н., чл.-корр. Академии электротехнических наук РФ,  
профессор кафедры «Электротехника»  
ФГБОУ высшего образования «Московский  
политехнический университет»,  
тел.: +7 (495) 962-12-95, e-mail: ovsiannikov48@mail.ru

**Осадчий Яков Григорьевич**,  
д.т.н., генеральный директор ЗАО МАШТЕСТ,  
р.т. +7 (495) 513-40-98, e-mail: mashtest@mashtest.ru

**Ощепков Пётр Платонович**,  
доцент департамента машиностроения и приборостроения  
Инженерной академии Российского университета дружбы  
народов (РУДН), к.т.н., р.т.: 8-495-952-95-89, м.т.: 8 925 321 41 32

**Семеншичев Сергей Петрович**,  
генеральный директор ООО «НПП ГазСервисКомпозит»,  
к.т.н., hi-tec11@mail.ru, тел.: +7 (3412) 911-067

**Смирнов Сергей Владимирович**,  
доцент департамента машиностроения и приборостроения  
Инженерной академии Российского университета дружбы  
народов (РУДН), к.т.н., 11719, Россия, Москва ул. Миклухо-  
Маклая, д. 6

**Фомин Александр Павлович**,  
к.т.н., доцент кафедры «Электротехника» ФГБОУ высшего  
образования «Московский политехнический университет»,  
тел. 8 917 567-89-71

## Contributors to journal issue No 5 (65) 2018

**Adegbenro Simeon Adedoza (Nigeria)**,  
post-graduate student, Department "Mechanical Engineering  
and Instrument Engineering", Engineering Academy of the Peoples'  
Friendship University of Russia

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

**Bizhaev Anton**,  
Assistant, Department «Tractors and Cars»,  
Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev  
Agricultural Academy, Candidate of Engineering Sciences

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

**Fomin Alexander**,  
PhD, professor of Federal State Budget Educational Institution  
(FGBU) of higher education «Moscow Polytechnic University»,  
phone: + 7 917 567-89-71

**Likhanov Vitaly**,  
Academician of RTA, Professor of Vyatka State Agricultural  
Academy, Dr. Sci. Tech., phone: +7 (8332) 57-43-07,  
e-mail: info@vgsha.info

**Lopatin Oleg**,  
Ph.D., Associate Professor of Vyatka  
State Agricultural Academy,  
phone: + (8332) 37-57-28,  
e-mail: nirs\_vsaa@mail.ru

**Merzlyakov Pavel**,  
Chief Engineer, NPP GazServisKompozit  
e-mail: hi-tec11@mail.ru, tel.: +7 (3412) 911-067

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

**Oschepkov Petr**,  
assistant professor, Peoples' Friendship University of Russia (PFUR),  
Candidate of Sciences, phone: + 7 925 321-1-32,  
e-mail: o.p.p.67@mail.ru

**Ovsyannikov Evgeniy**,  
Doctor of Engineering, professor, Federal State Budget Educational  
Institution (FGBU) of higher education «Moscow Polytechnic  
University», phone: + 7 (495) 962-12-95,  
e-mail: ovsiannikov48@mail.ru

**Semenishchev Sergey**,  
Ph.D., General Director of CEO, LLC RPE GasServiceComposite  
hi-tec11@mail.ru, tel.: +7 (3412) 911-067

**Smirnov Sergey**,  
senior lecturer, department "Mechanical Engineering and  
Instrument Engineering", Engineering academy of the Peoples'  
Friendship University of Russia, Candidate of Engineering Sciences

**Zaev Ivan**,  
Assistant, Department "Mechanical Engineering and Instrument  
Engineering", Engineering Academy of the Peoples' Friendship  
University of Russia, Candidate of Physical and Mathematical  
Sciences

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