



# ТРАНСПОРТ НА АЛЬТЕРНАТИВНОМ ТОПЛИВЕ



№ 3 (75) 2020



Реклама

Перспективный газ  
Интервью  
с Олегом Аксютиным

Меры поддержки  
судовладельцев  
при переходе на СПГ

Оптимизация  
конструкции карьерных  
электросамосвалов

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

**Учредитель и издатель**

АОГМТ «Национальная газомоторная ассоциация» (НГА).

**Периодичность**

6 номеров в год

**Главный редактор**

**А.Г. Ишков**

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

**Члены редакционной коллегии**

**С.П. Горбачев**

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

**В.А. Грачёв**

д.т.н., Президент Неправительственного  
экологического фонда им. В.И. Вернадского

**В.И. Ерохов**

профессор «Московского Политеха», д.т.н.

**В.Л. Зинин**

начальника отдела ПАО «Газпром»,  
исполнительный директор НГА,  
к.э.н., зам. гл. редактора

**Р.З. Кавтарадзе**

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

**С.И. Козлов**

д.т.н.

**В.А. Марков**

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

**Б.А. Моргунов**

директор Института экологии НИУ ВШЭ, д.г.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»

**Н.Г. Рыбальский**

профессор МГУ, д.б.н.

**В.Н. Фатеев**

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

**В.С. Хахалкин**

зам. директора  
по стратегическому развитию ОАО «МГПЗ»

**Г.А. Ярыгин**

профессор Института  
тонких химических технологий  
им. М.В. Ломоносова, д.т.н.

**Редактор**

**О.А. Ершова**

E-mail: transport.1@ngvrus.ru

Тел.: +7 (495) 641 05 88

**Отдел подписки и рекламы**

E-mail: a.tavdidishvili@ngvrus.ru

www.ngvrus.ru

**Перевод**

**А.И. Хлыстова**

Компьютерная верстка

**И.В. Шерстюк**

Отпечатано с представленного электронного  
оригинал-макета в типографии «ТалерПринт»  
109202, г. Москва, ул. 1-ая Фрезерная, д. 2/1  
Номер заказа

Сдано на верстку 15.04.2020 г.

Подписано в печать 15.05.2020 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

Члены Национальной газомоторной ассоциации, 2020 год	3
Перспективный газ	6
Продажи природного газа в качестве моторного топлива выросли на 30 %	18
«Газпром газомоторное топливо» обеспечит заправку новых тягачей	19
Россельхозбанк поддержит Нижегородский рынок газомоторного топлива	20
Компания РаритЭК подписала соглашение с Менделеевским муниципальным районом	21
Планы по развитию рынка ГМТ в Чувашии	22
Новокузнецк получит более 100 единиц «чистого» общественного транспорта	22
Газобаллонные автобусы для Братска	23
В Челябинск поставили 33 автобуса «МАЗ» на сжиженном топливе	24
До конца года Череповец получит 17 новых автобусов на ГМТ	25
Обзор международного рынка ГМТ	26
Инновации БЕЛАЗа: «зеленые технологии» и альтернативные источники энергии	31
<b>Слободов Е.Б.</b> Веские причины для применения природного газа на транспорте	34
<b>Строкова К.К.</b> Анализ необходимых мер поддержки судовладельцев для стимулирования перехода на двухтопливные двигатели	39
<b>Патрахальцев Н.Н.</b> Некоторые возможности применения в дизелях альтернативных топлив в качестве добавок к основному дизельному	44
<b>Шишков В.А.</b> Способ управления двигателем внутреннего сгорания	53
<b>Марков В.А., Кулешов А.С., Денисов А.Д., Зенкин А.Н., Землемерова А.С.</b> Расчётные исследования способов подачи воды в цилиндры дизельного двигателя	58
<b>Трембач С.А.</b> Способ оптимизации конструкции электрических карьерных самосвалов	72
Abstracts of articles	77
Авторы статей в журнале № 3 (75) 2020 г.	80

«Alternative Fuel Transport»  
international science and technology journal,  
No. 3 (75) / 2020

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

**Founder and Publisher**

Non-Commercial Partnership National Gas-Vehicle Association  
(NGVA).

**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**

**Erokhov, V.I.**  
*Professor of the Moscow Polytech,  
Doctor of Engineering*

**Fateev, V.N.**  
*Deputy Director of RNC Kurchatovsky Institute,  
Doctor of Chemistry*

**Gorbachev, S.P.**  
*Professor, Gazprom VNIIGAZ, Doctor of Engineering*

**Grachev, V.A.**  
*President of the Non-Governmental  
Environment Facility named after V.I. Vernadsky*

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

**Khakhalkin, V.S.**  
*Deputy Strategic Development Director,  
OAO «MGPZ»*

**Kozlov, S.I.**  
*Doctor of Engineering*

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

**Morgunov, B.A.**  
*Director, Institute of Ecology,  
National Research University Higher School of Economics,  
Doctor of Geographic Sciences*

**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*

**Rybalsky, N.G.**  
*Professor, Moscow State University M.V. Lomonosov,  
Doctor of Sciences*

**Yarygin, G.A.**  
*Professor, Institute of Fine Chemical Technologies  
named M.V. Lomonosov, Doctor of Engineering Sciences*

**Zimin, V.L.**  
*Head of Division Gazprom PJSC, Director,  
NGVA, Candidate of Economic Sciences,  
deputy chief editor*

**Editor**

**Ershova, O.A.**  
E-mail: transport.1@ngvrus.ru  
Phone.: +7 (495) 641 05 88

**Subscription and Distribution Department**  
E-mail: a.tavdidishvili@ngvrus.ru  
www.ngvrus.ru

**Translation by**  
**Khlystova, A.I.**

**Computer imposition**  
**Sherstyuk, I.V.**

Order number  
Passed for press on 15.04.2020  
Endorsed to be printed on 15.05.2020  
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

Members of National Gas Vehicle Association in 2020	3
Progressive gas	6
Sales of natural gas as a motor fuel grew by 30%	18
Gazprom Gas-engine fuel to provide fill-up for new drive trucks	19
Russian Agricultural Bank to support NGV market of Nizhny Novgorod	20
RariTEK company signed an agreement with Mendeleevsky municipal district	21
Plans on NGV market development in Chuvashia	22
Novokuznetsk to receive more than 100 units of «clean» public transport	22
Gas-cylinder buses for Bratsk	23
33 MAZ buses on LNG for Chelyabinsk	24
Review of the International NGV Fuel Market	26
Innovations of BELAZ: «green technologies» and alternative energy sources	31
<b>Evgeny Slobodov</b> Strong reasons for natural gas usage on transport	34
<b>Ksenia Stroková</b> Analysis of the necessary support measures for ship owners to encourage the transition to dual-fuel engines	39
<b>Nikolay Patrakhaltsev</b> Various possibilities of alternative fuels as additives to base fuels employing in diesel engines	44
<b>Shishkov Vladimir</b> The method of controlling an internal combustion engine	53
<b>Markov Vladimir, Andrei Kuleshov, Alexander Denisov, Alexander Zenkin, Anastasia Zemlemerova</b> Computational studies of methods for supplying water to the cylinders of a diesel engine	58
<b>Sergey Trembach</b> Frequent recharging and suboptimal design of electric dump trucks. Method for optimizing these indicators	72
Abstracts of articles	77
Contributors to journal issue №3 (75) 2020	80

# Члены Национальной газомоторной ассоциации, 2020 год

За последние полтора года число членов Национальной газомоторной ассоциации увеличилось в 2 раза и составляет 125 организаций - ключевых участников рынка газомоторного топлива

## **ООО «Яндекс Такси»**

Агрегаторы такси

## **ООО «Ванкорское УТТ»**

Владельцы газозаправочной инфраструктуры

## **ООО «Газпром газомоторное топливо»**

Владельцы газозаправочной инфраструктуры

## **ООО «Газпром СПГ-технологии»**

Владельцы газозаправочной инфраструктуры

## **ОАО «Газпром трансгаз Беларусь»**

Владельцы газозаправочной инфраструктуры

## **ООО «Новатэк-АЗК»**

Владельцы газозаправочной инфраструктуры

## **ООО «Газпромнефть Марин Бункер»**

Владельцы газозаправочной инфраструктуры для бункеровки судов

## **ООО «Корпорация Роснефтегаз»**

Владельцы региональной газозаправочной инфраструктуры (до двух субъектов РФ)

## **АО «МГПЗ»**

Владельцы региональной газозаправочной инфраструктуры (до двух субъектов РФ)

## **ООО «Региональная газовая компания»**

Владельцы региональной газозаправочной инфраструктуры (до двух субъектов РФ)

## **Fornovo Gas S.p.a.**

Иностранные компании (нерезиденты ЕАЭС)

## **KOA ENG Co.,LTD**

Иностранные компании (нерезиденты ЕАЭС)

## **Kwangshin Machine Industry Co., LTD**

Иностранные компании (нерезиденты ЕАЭС)

## **АО UNIDOM Co.,LTD**

Иностранные компании (нерезиденты ЕАЭС)

## **Газпром ЭП Интернэшнл Б.В.**

Иностранные компании (нерезиденты ЕАЭС)

## **Представительство**

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

Иностранные компании (нерезиденты ЕАЭС)

## **ООО «Газпром межрегионгаз Иваново»**

Инфраструктурные компании (доступ к электроэнергии, газу, автомобильным дорогам и т.д.)

## **ООО «Газпром межрегионгаз Москва»**

Инфраструктурные компании (доступ к электроэнергии, газу, автомобильным дорогам и т.д.)

## **ООО «Газпром межрегионгаз Пермь»**

Инфраструктурные компании (доступ к электроэнергии, газу, автомобильным дорогам и т.д.)

## **ООО «Газпром межрегионгаз Самара»**

Инфраструктурные компании (доступ к электроэнергии, газу, автомобильным дорогам и т.д.)

## **АО «ВНИКТИ»**

Испытательные лаборатории, НИИ, вузы

## **ООО «ИЛ-16»**

Испытательные лаборатории, НИИ, вузы

## **ООО «НИИгазэкономика»**

Испытательные лаборатории, НИИ, вузы

## **ООО «НИИ экологии НГП»**

Испытательные лаборатории, НИИ, вузы

## **ООО «Эйдос-Инновации»**

Испытательные лаборатории, НИИ, вузы

## **АО «Агентство прямых инвестиций»**

Консультационные услуги

## **ООО «ИТЕКО Россия»**

Логистические/экспедиторские компании

## **ООО «Газпром добыча Иркутск»**

Нефтегазовые компании

## **ООО «Газпром добыча Краснодар»**

Нефтегазовые компании

## **ООО «Газпром добыча Надым»**

Нефтегазовые компании

## **ООО «Газпром добыча Уренгой»**

Нефтегазовые компании

## **ООО «Газпром добыча Ямбург»**

Нефтегазовые компании

## **ООО «Газпром переработка»**

Нефтегазовые компании

## **ООО «Газпром ПХГ»**

Нефтегазовые компании

## **ООО «Газпром трансгаз Волгоград»**

Нефтегазовые компании

## **ООО «Газпром трансгаз Екатеринбург»**

Нефтегазовые компании

## **ООО «Газпром трансгаз Казань»**

Нефтегазовые компании

## **ООО «Газпром трансгаз Краснодар»**

Нефтегазовые компании

## **ООО «Газпром трансгаз Махачкала»**

Нефтегазовые компании

## ЧЛЕНЫ АССОЦИАЦИИ

### ООО «Газпром трансгаз Москва»

Нефтегазовые компании

### ООО «Газпром трансгаз Нижний Новгород»

Нефтегазовые компании

### ООО «Газпром трансгаз Самара»

Нефтегазовые компании

### ООО «Газпром трансгаз Санкт-Петербург»

Нефтегазовые компании

### ООО «Газпром трансгаз Ставрополь»

Нефтегазовые компании

### ООО «Газпром трансгаз Сургут»

Нефтегазовые компании

### ООО «Газпром трансгаз Томск»

Нефтегазовые компании

### ООО «Газпром трансгаз Уфа»

Нефтегазовые компании

### ООО «Газпром трансгаз Чайковский»

Нефтегазовые компании

### ИП Остапенко

ППТО (пункт по переоборудованию и техническому обслуживанию)

### ООО «Автогазоборудование»

ППТО

### ООО «БелТракСервис»

ППТО

### ООО «Гарант-Газ»

ППТО

### ООО «Метанмастерсервис»

ППТО

### ООО «ПАТиМ»

ППТО

### ООО «Тахограф»

ППТО

### ООО «ТрансЭнергоСтройгрупп»

ППТО

### ООО «ГК Агро-Белогорье»

Предприятия АПК (агропромышленный комплекс)

### АО «Раритэк Холдинг»

Производители транспортных средств и техники на природном газе

### ООО «Автомобильный завод ГАЗ»

Производители транспортных средств и техники на природном газе

### ООО «АТС-сервис»

Производители транспортных средств и техники на природном газе

### ООО «Ивеко Россия»

Производители транспортных средств и техники на природном газе

### ООО «Мицубиси Корпорейшн (РУС)»

Производители транспортных средств и техники на природном газе

### ООО «Скания-Русь»

Производители транспортных средств и техники на природном газе

### ООО «Хендэ Мотор Мануфактуринг Рус»

Производители транспортных средств и техники на природном газе

### ПАО «КАМАЗ»

Производители транспортных средств и техники на природном газе

### ОАО «Новогрудский завод газовой аппаратуры»

Производители и поставщики оборудования для ТС и ППТО (в том числе ГБО)

### ООО «ВИТКОВИЦЕ Рус»

Производители и поставщики оборудования для ТС и ППТО (в том числе ГБО)

### ООО «Газкомплект»

Производители и поставщики оборудования для ТС и ППТО (в том числе ГБО)

### ООО «Газпарт 95»

Производители и поставщики оборудования для ТС и ППТО (в том числе ГБО)

### ООО «ГазСервисКомпозит»

Производители и поставщики оборудования для ТС и ППТО (в том числе ГБО)

### ООО «Джи-джи солюшнс»

Производители и поставщики оборудования для ТС и ППТО (в том числе ГБО)

### ООО «Интергаз-Сервис»

Производители и поставщики оборудования для ТС и ППТО (в том числе ГБО)

### ООО «Интехгаз»

Производители и поставщики оборудования для ТС и ППТО (в том числе ГБО)

### ООО «Флюид Лайн»

Производители и поставщики оборудования для ТС и ППТО (в том числе ГБО)

### ООО «Цилиндерсрус»

Производители и поставщики оборудования для ТС и ППТО (в том числе ГБО)

### ООО «Эксайтон Групп»

Производители и поставщики оборудования для ТС и ППТО (в том числе ГБО)

### ООО «Эра Глонасс»

Производители и поставщики оборудования для ТС и ППТО (в том числе ГБО)

### ООО НПФ «Реал-Шторм»

Производители и поставщики оборудования для ТС и ППТО (в том числе ГБО)

### АО «Барренс»

Производители компрессорного оборудования для газозаправочных объектов

### ЗАО «Комптех»

Производители компрессорного оборудования для газозаправочных объектов

### ООО «Бауэр Компрессоры»

Производители компрессорного оборудования для газозаправочных объектов

### ООО «Компрессор газ»

Производители компрессорного оборудования для газозаправочных объектов

### ООО «Краснодарский компрессорный завод»

Производители компрессорного оборудования для газозаправочных объектов

### ООО «Тегас»

Производители компрессорного оборудования для газозаправочных объектов

**ООО «Челябинский компрессорный завод»**

Производители компрессорного оборудования для газозаправочных объектов

**АО «Газпром оргэнергогаз»**

Производители оборудования для газозаправочных объектов, проектирование и строительство газозаправочной инфраструктуры

**АО «ГЛОБАЛ И ЭНД СИ СОЛЮШНС ФРАНЦИЯ»**

Производители оборудования для газозаправочных объектов, проектирование и строительство газозаправочной инфраструктуры

**АО «Грасис Инжиниринг»**

Производители оборудования для газозаправочных объектов, проектирование и строительство газозаправочной инфраструктуры

**ОАО «Салаватнефтемаш»**

Производители оборудования для газозаправочных объектов, проектирование и строительство газозаправочной инфраструктуры

**ОАО НПО «Гелиймаш»**

Производители оборудования для газозаправочных объектов, проектирование и строительство газозаправочной инфраструктуры

**ООО «Брянск-Автогаз»**

Производители оборудования для газозаправочных объектов, проектирование и строительство газозаправочной инфраструктуры

**ООО «Геокадинжиниринг»**

Производители оборудования для газозаправочных объектов, проектирование и строительство газозаправочной инфраструктуры

**ООО «Киммако»**

Производители оборудования для газозаправочных объектов, проектирование и строительство газозаправочной инфраструктуры

**ООО «Кировский завод Газовые технологии»**

Производители оборудования для газозаправочных объектов, проектирование и строительство газозаправочной инфраструктуры

**ООО «Криогазтех»**

Производители оборудования для газозаправочных объектов, проектирование и строительство газозаправочной инфраструктуры

**ООО «КРИОСТАР РУС»**

Производители оборудования для газозаправочных объектов, проектирование и строительство газозаправочной инфраструктуры

**ООО «ЛЕВИТЭК»**

Производители оборудования для газозаправочных объектов, проектирование и строительство газозаправочной инфраструктуры

**ООО «Легион Энерго»**

Производители оборудования для газозаправочных объектов, проектирование и строительство газозаправочной инфраструктуры

**ООО «Мониторинг Вентиль и Фитинг»**

Производители оборудования для газозаправочных объектов, проектирование и строительство газозаправочной инфраструктуры

**ООО «НПК НТЛ»**

Производители оборудования для газозаправочных объектов, проектирование и строительство газозаправочной инфраструктуры

**ООО «НПО «Нефтехимпроект»**

Производители оборудования для газозаправочных объектов, проектирование и строительство газозаправочной инфраструктуры

**ООО «НТА-Пром»**

Производители оборудования для газозаправочных объектов, проектирование и строительство газозаправочной инфраструктуры

**ООО «ПетроГазТех»**

Производители оборудования для газозаправочных объектов, проектирование и строительство газозаправочной инфраструктуры

**ООО «Промгаз-технологий»**

Производители оборудования для газозаправочных объектов, проектирование и строительство газозаправочной инфраструктуры

**ООО «РМ КПГ»**

Производители оборудования для газозаправочных объектов, проектирование и строительство газозаправочной инфраструктуры

**ООО «СервисАрт»**

Производители оборудования для газозаправочных объектов, проектирование и строительство газозаправочной инфраструктуры

**ООО «СПГ Проект Инжиниринг»**

Производители оборудования для газозаправочных объектов, проектирование и строительство газозаправочной инфраструктуры

**ООО «Тегрус»**

Производители оборудования для газозаправочных объектов, проектирование и строительство газозаправочной инфраструктуры

**ООО «Тегрус Комплект»**

Производители оборудования для газозаправочных объектов, проектирование и строительство газозаправочной инфраструктуры

**ООО «Транстрой»**

Производители оборудования для газозаправочных объектов, проектирование и строительство газозаправочной инфраструктуры

**ООО «Хэм-Лет»**

Производители оборудования для газозаправочных объектов, проектирование и строительство газозаправочной инфраструктуры

**ООО ИК «ПромТехСервис»**

Производители оборудования для газозаправочных объектов, проектирование и строительство газозаправочной инфраструктуры

**ООО НПК «ЛенПромАвтоматика»**

Производители оборудования для газозаправочных объектов, проектирование и строительство газозаправочной инфраструктуры

**ПАО «Газпром автоматизация»**

Производители оборудования для газозаправочных объектов, проектирование и строительство газозаправочной инфраструктуры

**АО «Сбербанк Лизинг»**

Финансовые организации, институты развития

**ПАО «ГТЛК»**

Финансовые организации, институты развития

**ООО УК «Металлоинвест»**

Эксплуатация карьерной техники

**ООО «ТК «Экотранс»**

Эксплуатация коммунальной техники

**ООО «АК-БУР Сервис»**

Эксплуатация строительной техники

**ООО «Газпром энерго»**

Электроэнергетические компании

**ООО «Газпром энергосбыт»**

Электроэнергетические компании

**ПАО «Мосэнерго»**

Электроэнергетические компании

**ПАО «МОЭК»**

Электроэнергетические компании

**ПАО «ОГК-2»**

Электроэнергетические компании

**ПАО «ТГК 1»**

Электроэнергетические компании

# Перспективный газ

На вопросы журнала «Газпром»<sup>1</sup> отвечает заместитель  
Председателя Правления ПАО «Газпром» Олег Аксютин



Олег Аксютин

*Олег Евгеньевич, в мире много говорят о необходимости полного отказа от углеводородного топлива. Это реализуемо на практике?*

Давайте отталкиваться от реальности: с учётом существующего уровня развития техники и технологий полный отказ от углеводородного топлива в обозримой перспективе – скорее фантазия. Переход на безуглеродные технологии предполагает масштабную электрификацию (в некоторых сценариях – стопроцентную) с использованием возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Развитие ВИЭ невозможно без большого количества мощностей по хранению электроэнергии, вовлечения в оборот значительных площадей как на суше, так и в морских акваториях (в случае офшорных ветряных электростанций), что обуславливает необходимость значительных инвестиций, повышает зависимость от

погодных факторов и нарушает сложившуюся экосистему. Поэтому с учётом технологических и экономических причин, которые я перечислил, бесперебойное энергоснабжение только за счёт ВИЭ без использования углеводородов сейчас даже трудно представить.

Кроме того, согласно последнему прогнозу ООН, в ближайшие 30 лет численность населения Земли увеличится на 2 млрд человек. При этом в настоящее время каждый пятый житель нашей планеты не имеет доступа к электроэнергии, а около 3 млрд человек до сих пор используют дрова и прочий биоматериал для приготовления пищи и отопления. Обеспечить достойные условия жизни этих людей в долгосрочной перспективе возможно только на основе ископаемых источников энергии, наиболее чистым из которых является природный газ.

Цивилизация развивается, в мире потребляется всё больше энергии. Увеличение населения планеты, рост мировой экономики, возникновение новых и расширение уже существующих производств, интенсивно растущий транспортный парк – всё это требует постоянно растущих объёмов энергии. При этом обеспечение энергией должно происходить стабильно.

В текущих условиях решение данной задачи должно учитывать и климатическую повестку снижения выбросов парниковых газов. Наиболее популярным инструментом

---

1. Интервью опубликовано в № 4 корпоративного журнала «Газпром», беседу вёл Сергей Правосудов

реализации этой цели в ряде стран стала поддержка использования возобновляемых источников энергии. Благодаря широкому спектру мер государственной поддержки совокупные инвестиции в отрасль возобновляемой энергетики в мире за последние 15 лет, по данным агентства Bloomberg, превысили 4 трлн долларов. За это же время установленные мощности ветряных и солнечных электростанций выросли в 17(!) раз и составили более 1 тыс. ГВт. Но при этом несмотря на столь масштабные инвестиции выбросы парниковых газов в мире продолжают расти.

Очевидно, что только развитие возобновляемой энергетики не может служить решением задачи контроля и сокращения выбросов даже непосредственно в энергетическом секторе, нужны другие подходы. Несмотря на постоянные заявления о политике отказа от наиболее «грязных» энергоресурсов, часто в случае сокращения выработки электроэнергии из возобновляемых источников недостаток энергии в этих странах компенсируют, используя угольную электрогенерацию, то есть осуществляют выработку на самом «грязном» виде ископаемого топлива – угле. Атомная энергия также уже не рассматривается как возможный вариант «поддержки» ВИЭ, несмотря на отсутствие выбросов.

Одним из основных путей достижения климатических целей может и должно стать расширение использования природного газа, так как природный газ – единственный энергоноситель, который позволяет одновременно обеспечить энергетическую безопасность и устойчивое развитие в глобальном масштабе. Бесперебойное энергоснабжение, энергобезопасность напрямую зависят от наличия достаточных мощностей по хранению энергии, резервных мощностей, а наиболее оптимальными и экономически обоснованными способами хранения и покрытия пикового потребления энергии являются использование ПХГ и газовая генерация.

Использование природного газа при развитии возобновляемой энергетики эффективно и с точки зрения воздействия на климат. Если объективно провести анализ «углеродного следа», то есть выбросов парниковых газов по всей производственной цепочке, то окажется, что, например, производство солнечных панелей в Китае и последующая их транспортировка в страны Европейского союза по величине «углеродного следа» сопоставимы с использованием угольной генерации. «Углеродный след» от использования природного газа значительно меньше.

Очевидно, что для системного решения двух проблем – обеспечения устойчивого энергоснабжения и снижения вредных выбросов – наиболее рациональным выбором является расширение использования природного газа.

## ВИЭ и газ

***Часто можно услышать, что возобновляемая энергетика становится эффективнее традиционной. Вы согласны с этим утверждением?***

Возобновляемой энергетике присущ недостаток, являющийся критическим для энергетической безопасности любой страны или региона: нестабильность выработки электроэнергии и высокая степень зависимости от погодных условий.

В условиях безветренной (либо штормовой) и пасмурной погоды выработка электричества на станциях возобновляемой энергетики может очень быстро упасть до критических значений. Это происходит настолько часто, что в Германии для обозначения этого явления уже используется специальный термин – *Dunkelflaute* («тёмный штиль» – прим. «ТАТ»). В результате возникает необходимость компенсировать неиспользуемые мощности возобновляемой энергетики, в том числе за счёт значительного увеличения





использования угля, что негативно влияет на состояние экологии. Причём происходят подобные ситуации регулярно даже в тех странах, которые являются мировыми лидерами по развитию возобновляемой энергетики – например, в Германии и Дании.

Кроме того, возобновляемой энергетике присущи и другие серьезные недостатки:

- высокая нагрузка на энергосистемы при резком падении выработки электроэнергии в связи с изменениями погодных условий, приводящая к веерным отключениям энергии (блэкауты);
- необходимость выделения значительных территорий сельскохозяйственных земель под строительство ветропарков или солнечных станций;
- необходимость создания системы хранения электроэнергии, дублирующей по мощности производственную составляющую;
- высокая зависимость возобновляемой энергетики от отрасли по добыче и обработке редких металлов (литий, никель, кадмий и др.);
- растущая проблема переработки и утилизации отработанных материалов, особенно солнечных панелей;
- негативное влияние на экосистемы при увеличении масштабов ветряных и солнечных станций.

Все эти недостатки могут стать критическими при увеличении масштабов развития возобновляемой энергетики.

Мы ничего не имеем против возобновляемой энергетики, но когда она приносит реальную пользу. Например, мы, газовая компания, поддерживаем использование альтернативных и возобновляемых источников энергии на своих объектах в технологически изолированных районах – это экономически и технически обоснованно. Но когда масштабные инвестиции идут на удовлетворение политических амбиций, негативно отражаясь на конкурентоспособности национальных экономик, в ущерб населению, то о какой эффективности тут можно говорить?

Самая главная причина стимулирования развития возобновляемой энергетики – это ложное ощущение того, что ВИЭ дают энергетическую независимость, и в первую очередь от углеводородов. Но необходимо понимать, что рост установленной мощности ветрогенераторов и солнечных панелей провоцирует резкое увеличение потребления редкоземельных металлов, ценных минералов и пластика (например, неодим

и диспрозий играют стратегическую роль в производстве ветровых турбин). При отсутствии собственных значительных запасов редкоземельных металлов возникает зависимость либо от поставщиков, обладающих подобными стратегическими запасами (например, Китая), либо от поставщиков – производителей оборудования.

Стратегия по стопроцентной электрификации на основе возобновляемой энергии имеет концептуальную преграду. В настоящее время климат меняется. Можно спорить о причинах, но наблюдается определённый тренд. При переходе полностью на возобновляемые источники энергетика, да и вся экономика станут зависимыми от природных явлений, в том числе обусловленных климатическими изменениями. Образно говоря, фундамент будущей энергетической модели будет построен на зыбком и неустойчивом месте, создавая угрозу энергетической безопасности.

С солнечной генерацией и системами аккумулирования электроэнергии связаны вопросы безопасности применяемых токсичных веществ (получение кремния и арсенидов – опасные химические производства), в случае гелиотермоэлектростанций существенно повышается температура окружающего воздуха, что приводит к гибели пролетающих птиц. При масштабном использовании ветроэнергетики возникает необходимость резкого увеличения производства алюминия и стеклопластика – весьма грязных производств. Излучаемый ветровыми турбинами низкочастотный шум вызывает дезориентацию животных и насекомых, их гибель. Ветрогенераторы являются также источниками радиопомех, так как частота вращения лопастей близка к частоте синхронизации сигналов телевидения и радио, что несёт угрозу населению и национальной безопасности. Помимо этого, технологии утилизации ветрогенераторов и солнечных панелей, выработавших свой ресурс, пока не отработаны для массового применения, по факту большая часть из них просто складировается на полигонах.

По моему мнению, когда речь заходит о здоровье и безопасности человека, необходимости доступной (дешёвой) энергии, никакой конкуренции между источниками энергии не должно быть. Наша задача сегодня – создать для будущих поколений эффективную энергосистему на основе принципа технологической нейтральности, используя преимущества различных источников энергии. Фундаментом такой системы должен быть энергоресурс, соответствующий критериям «доступность», «бесперебойность энергоснабжения», «экологическая безопасность». Всем этим критериям соответствует природный газ, а партнёрство с возобновляемой энергетикой может создать положительный синергический эффект.

### ***Будет ли расти доля газа в глобальном энергобалансе?***

Уголь, нефть и газ обеспечивают около трёх четвертей потребностей человечества в энергоресурсах. Мы ожидаем, что потребление природного газа будет расти быстрее «конкурентов» – нефти и угля, и он станет единственным ископаемым источником энергии, доля которого в мировом энергобалансе возрастёт в долгосрочной перспективе. Это связано с экономическими и экологическими преимуществами природного газа на фоне растущего значения климатической политики в большинстве стран мира.

Мы считаем, что основным регионом роста спроса на природный газ будет Азия, прежде всего Китай, где правительством страны поставлена задача по снижению потребления угля. «Газпром» выстраивает свою стратегию с учётом этого фактора. В конце прошлого года мы запустили газопровод «Сила Сибири», по которому в Китай пошёл российский газ. К слову сказать, мы подписали с КНР самый крупный в истории газовой отрасли контракт. По нашим оценкам, к 2025 году каждый третий кубометр дополнительного к 2019 году спроса на газ в КНР может обеспечиваться поставками

по «Силе Сибири». В настоящее время мы ведём переговоры с китайскими партнёрами по новым проектам.

Что касается Европы, то в среднесрочной перспективе можно ожидать прироста спроса на газ. Этому поспособствуют такие факторы, как закрытие угольных и атомных электростанций, а также повышение экологических стандартов в электроэнергетическом секторе и на транспорте. При этом внутренняя добыча в европейских странах, по прогнозам, будет снижаться, что может увеличить рыночную нишу для газа ПАО «Газпром».

Природный газ является уникальным энергоносителем, способствующим достижению целей устойчивого развития. Мировые запасы газа позволяют обеспечить экономику энергией на многие десятилетия вперёд, постоянное развитие газотранспортной инфраструктуры усиливает стабильность энергоснабжения, а высокие экологические характеристики способствуют снижению объёмов вредных выбросов.

Именно поэтому мировое экспертное сообщество высоко оценивает перспективы использования природного газа. Согласно прогнозам, потребление природного газа в мире будет стабильно расти.

## Потепление или похолодание?

*Между учёными не прекращается спор о том, что ждёт нашу планету: глобальное потепление или похолодание, какая точка зрения вам кажется наиболее обоснованной?*

Вопрос очень сложный. Как отметил президент России, настоящие причины глобальных изменений климата никому не известны, в истории нашей Земли были такие периоды, когда было и потепление, и похолодание: «Это может зависеть от глобальных процессов во Вселенной».

Действительно, несмотря на очевидный ответ любого обывателя в средней полосе России с её нетипично тёплой в этом году зимой некоторые учёные характеризуют существующий тренд изменения климата не как потепление, а как похолодание. В частности, в работах Европейской организации по ядерным исследованиям (ЦЕРН) прогнозируется наступление длинного холодного минимума примерно к 2040 году, в исследованиях Главной (Пулковской) астрономической обсерватории РАН – примерно к 2050 году, а американского климатолога Джона Кейси из NASA – через 30 лет. При этом аномально тёплые зимы встречались и в прошлом. Вспомните строки из известного романа в стихах Александра Пушкина: «Зимы ждала, ждала природа. / Снег выпал только в январе».

Климатическое моделирование, на котором строится большинство теорий изменения климата планеты, – это комплексный процесс, сильно зависящий от подбора первичных данных и методологии оценки, а также от технических возможностей вычислительной техники. Пока ни одна из существующих ныне моделей не вызывает однозначного научно обоснованного доверия.

Сейчас мы видим, что изменение климата превратилось в мощный политический и экономический инструмент. В этом вопросе, наверное, ближе позиция глобальной сети из 700 учёных и специалистов в области климата и смежных областях, направившей в ООН послание: «Наука о климате должна быть менее политизированной, а политика в области климата – более научной. Учёные должны открыто признавать неопределённости и преувеличения в своих предсказаниях о глобальном потеплении, в то время как политики должны беспристрастно рассчитывать реальные выгоды и предполагаемые затраты на адаптацию к глобальному потеплению, а также реальные затраты и предполагаемые выгоды от смягчения последствий»<sup>2</sup>.

2. См. «Транспорт на альтернативном топливе», № 2 (74) 2020 г., стр. 26-38.

*Углекислый газ – это действительно абсолютное зло (ведь для растений он необходим)?*

То, что причиной повышения глобальной температуры является рост концентрации CO<sub>2</sub> в атмосфере, – популярная сегодня теория. В настоящее время концентрация превысила значение 400 частей на миллион. Плохо это или хорошо? Давайте размышлять, и здесь я буду оперировать научными фактами.

Всем известно со школьной скамьи, что углекислый газ вовлечён в процесс фотосинтеза и участвует в формировании климата планеты. Некоторые зарубежные и отечественные учёные отмечают, что антропогенная версия не в силах объяснить такие очевидные факты, как пауза в глобальном потеплении в период после 1998 года, несмотря на увеличение выбросов CO<sub>2</sub>, а также ещё более противоречащее этой гипотезе снижение глобальной температуры в 1940-1976 гг. в условиях заметного роста выбросов CO<sub>2</sub> и других парниковых газов.

Радикальную оценку антропогенной версии дал член-корреспондент РАН Андрей Капица (1939-2011), заведующий кафедрой рационального природопользования географического факультета МГУ: «Это совершенно неправильная и ненаучная теория. Человеческая деятельность практически не влияет на климат, доля её влияния фактически очень мала по сравнению с теми основными процессами, которые влияют на климат. Углекислый газ по парниковым свойствам на два порядка уступает водяному пару».

В 2016 году бывший глава «Гринпис» в Канаде Патрик Мур опубликовал материал о позитивной роли диоксида углерода для жизни на планете. Он указал, что в истории человечества случались крутые спады концентрации диоксида углерода в атмосфере. Последний – 18 тыс. лет назад – до уровня 180 частей на миллион, когда существование многих видов растений было под угрозой. 150 ppm – критическое пороговое значение для жизни растений на нашей планете.

Так является ли углекислый газ, обеспечивающий существование всей жизни на Земле, абсолютным злом? Жизнь на планете существует благодаря CO<sub>2</sub>.

## Электромобили и газомоторка

*Как вы оцениваете перспективы газомоторного топлива в сравнении с электромобилями?*

Необходимо сказать, что развитие электротранспорта сопровождается масштабной лоббистской и финансовой поддержкой. Крупнейшими автопроизводителями реализуются инвестиционные программы общим объёмом свыше 120 млрд долларов, направленные на выпуск новых моделей электромобилей и более мощных аккумуляторов. На приобретение электромобилей выделяются беспрецедентные субсидии (до 8 тыс. евро на автомобиль), предоставляются налоговые льготы, бесплатная парковка и прочее. Ведётся агрессивная пропаганда электромобилей и ВИЭ как единственного способа решения экологических проблем, вплоть до деклараций о принудительном полном отказе от транспорта на традиционных видах топлива. Основными потенциальными выгодоприобретателями от подобной политики выступают производители оборудования для эксплуатации электротранспорта, в первую очередь аккумуляторов.

Вместе с тем ёмкость рынка для электротранспорта имеет объективные ограничения.

- Если предположить, что 100 % новых автомобилей в мире с 2020 года будет на электроприводе, их доля в общем объёме транспортных средств в развитых странах с учётом преодоления всех инфраструктурных и стоимостных ограничений может составить



максимум 6,5 % легкового автопарка к 2030 году. В реальной жизни даже достижение этого показателя представляется маловероятным.

- Для развивающихся стран критичными являются инфраструктурные ограничения, связанные с развитием электросетей, экологическим вредом при утилизации аккумуляторов, снижением эффективности электротранспорта при неблагоприятном температурном режиме. Можно говорить лишь про конкурентоспособность электромобилей в отдельных сегментах транспортного сектора развитых стран, которые могут себе позволить жёсткое экологическое регулирование и субсидирование потребления.

- Существуют ресурсные ограничения на рынках кобальта (дефицит ожидается в 2024 году) и лития (дефицит ожидается в 2026 году), что является сдерживающим фактором роста объёмов производства аккумуляторов и ограничением для снижения их стоимости.

- Для транспорта большой грузоподъёмности, ориентированного на длинное логистическое плечо, крайне важным фактором является дальность хода. В этом контексте электротранспорт также не является оптимальным решением. Необходимость постоянной подзарядки резко снижает коммерческую привлекательность электротранспорта для магистральных грузовых перевозок.

В то же время на рынке уже существуют предложения тягачей на СПГ с запасом хода свыше 1,5 тыс. км! Это при том что природный газ имеет преимущества как с экономической точки зрения (стоимость километра пути на метане ниже стоимости того же километра на традиционных видах топлива даже в странах – импортёрах природного газа), так и экологии.

Перевод транспорта на использование метана в качестве топлива может стать эффективным решением экологических проблем. По нашим оценкам, выбросы парниковых газов для всего жизненного цикла производства и потребления топлива у природного газа в четыре раза ниже, чем у бензина. При сгорании метана не образуется твёрдых сажевых частиц, которые оказывают самое тяжёлое воздействие на организм человека. Таким образом, использование метана на транспорте приводит к реальному улучшению здоровья людей, а не только бумажных показателей в отчётах.



С учётом того, что метан является наиболее эффективным сырьём для производства водорода, обеспечение доступа потребителя к газозаправочной инфраструктуре – это важный задел для перехода к использованию водорода в качестве топлива. Уже сегодня существуют технологии эффективного применения метано-водородных смесей, в том числе на транспорте. Поэтому развитие тематики газомоторного топлива – это очень перспективная ветвь транспортного сектора.

На сегодняшний день метан в качестве моторного топлива используется более чем в 80 странах мира. Мировой метановый автопарк составляет порядка 28 млн автомобилей, увеличившись за год на 1,6 млн транспортных средств, что сопоставимо с развитием электротранспорта.

Несмотря на объективные преимущества природного газа как топлива, заинтересованным участникам рынка предстоит большая работа по продвижению этого вида топлива и эффективному информированию потенциальных потребителей. При активной скоординированной позиции участников рынка по продвижению метана в качестве топлива для транспорта газомоторное топливо может претендовать на существенную долю в сегменте альтернативных видов топлива за счёт своих потребительских характеристик. Потенциал дополнительного спроса на природный газ в качестве топлива для автотранспорта в мире может составить порядка 150 млрд кубометров.

Преимущества использования газомоторного топлива видны не только в автомобильном, но и во многих других видах транспорта. Так, например, в последнее время заметен существенный рост его применения при бункеровке судов.

Что касается электромобилей, то тут необходимы исследования полного жизненного цикла электромобиля – от получения и обработки элементов батарей (литий, кобальт и др.) до их переработки и утилизации. При этом, по данным немецких учёных, на электромобили может приходиться больше выбросов CO<sub>2</sub>, чем на дизельные (с учётом происхождения электричества). Для зарядки электромобилей в городах должны быть выделены дополнительные мощности электроэнергии. В связи с этим показательна новость об изменении тарифообразования одной из крупнейших сети зарядных станций в Европе. Автовладельцам предлагают платить не за посещение

зарядки, а за количество энергии. Оценивается, что в этом случае для владельцев заправлять обычный бензин – выгоднее.

## Водород

***Расскажите о планах работы «Газпрома» в производстве и использовании водорода.***

На газо- и нефтеперерабатывающих заводах Группы «Газпром» водород традиционно применяется в промышленных процессах – например, при производстве светлых нефтепродуктов.

Учитывая формирование новых требований к углеродоёмкости производственной деятельности, «Газпром» реализует комплексные научно-технические проекты по разработке инновационных технологий для производства и использования метано-водородного топлива в производственной деятельности компании (в целях снижения «углеродного следа» и повышения эффективности российских поставок газа). А также технологий производства водорода из метана без выбросов парниковых газов (в целях диверсификации и повышения эффективности использования трубопроводного газа).

Для решения поставленных задач задействованы ведущие российские университеты и институты Российской академии наук, а также отечественные двигателестроительные предприятия.

Учитывая масштабную работу по формированию новых требований к экологическим показателям оборудования и внедрению принципов наилучших доступных технологий, ПАО «Газпром» инициировало работы по повышению экологических характеристик газоперекачивающих агрегатов (ГПА). Были проанализированы и апробированы различные технологии для решения задач по снижению выбросов и повышению эффективности газотурбинных установок. Вступление в силу Парижского соглашения по климату и необходимость повышения конкурентоспособности компании на мировых рынках определили водородную тематику как одну из ключевых.

В рамках направления водородных технологий рассматриваются перспективы развития технологии крекинга метана в расплавах жидких металлов, плазмохимическая конверсия природного газа и пиролиз, методы хранения и использования водорода, а также вопросы получения водорода из сероводорода (сероводородная конверсия и плазмохимическая конверсия), что, кстати, позволяет решить и ряд экологических проблем при добыче и переработке серосодержащих газов.

Хочу отметить, что газовая отрасль уже принимает активное участие в развитии водородной энергетики – в настоящее время 76 % водорода в мире производится из природного газа. При этом потребление газа в качестве сырья для производства этого количества водорода составляет 205 млрд кубометров. Мы видим огромный потенциал природного газа для развития этого сектора энергетики с учётом не только новых требований к углеродоёмкости процессов, но и других не менее важных экологических требований. В связи с этим решением Научно-технического совета ПАО «Газпром» предусмотрено проведение комплексных исследований потенциала низкоуглеродного развития национальных экономик за счёт расширения использования российского природного газа и водородных энергоресурсов на его основе.

## СПГ и сланцы

### ***Какова стратегия «Газпрома» в отношении производства СПГ?***

Мы исходим из того, что трубопроводный газ является основой мирового газового рынка и гарантом энергетической безопасности, а газ в форме СПГ играет балансирующую роль, обеспечивая гибкость направлений поставок. В 2018 году доля газа, поставляемого в форме СПГ, составила лишь 11 %, а к 2030 году она вырастет до 16 %.

В ближайшее десятилетие основой мирового газоснабжения будут оставаться трубопроводы, а мировым лидером по поставкам трубопроводного газа, без сомнения, будет «Газпром». В то же время «Газпром» является пионером отечественной отрасли СПГ. Так, в 2019 году мы отпраздновали 10-летие запуска первого в России завода по производству СПГ в рамках проекта «Сахалин-2». Сейчас мы рассматриваем СПГ в качестве средства для выхода на новые удалённые рынки. «Газпром» завершает строительство комплекса в районе КС «Портовая» мощностью 1,5 млн т СПГ, ведёт работу по реализации комплекса в районе Усть-Луги экспортной мощностью 13 млн т СПГ, рассматривает возможность строительства третьей технологической линии уже упомянутого завода СПГ в рамках проекта «Сахалин-2». Реализация перспективных проектов может позволить к 2030 году увеличить долю СПГ в структуре экспорта компании до 10 %.

### ***Как вы оцениваете экономику сланцевых проектов в США? Можно ли ждать существенного роста добычи сланцевых углеводородов в Китае?***

Для начала отмечу, что в ПАО «Газпром» проводится регулярная работа по мониторингу отрасли сланцевого газа в различных регионах мира. Ежегодно мы докладываем результаты Совету директоров.

В ходе данной работы мы выявили проблему, связанную с экономикой сланцевых проектов, в частности в США – ведущей стране мира по объёмам добычи газа из сланцев. По нашим оценкам, в случае сохранения цен на газ в США на низком уровне компании могут начать снижать добычу уже в ближайшее время. Согласно расчётам, снижение может начаться при ценах на Henry Hub на уровне менее 85 долл./тыс. м<sup>3</sup>; а в январе 2020 года средняя цена на газ на этом хабе составила 76 долл./тыс. м<sup>3</sup>. Негативно отразиться на добыче сланцевого газа может и снижение цен на нефть. Сокращение активности американских производителей сланцевой нефти напрямую влияет на газодобычу, ведь значительная доля получаемого в США сланцевого газа приходится на попутный нефтяной газ.

Что касается Китая, то масштаб и перспективы развития отрасли сланцевого газа в этой стране принципиально отличаются от США. Во-первых, в отличие от США, где на сланцевые месторождения приходится более 2/3 всей добычи, в газовом балансе КНР сланцевый газ занимает очень скромную долю. Так, по итогам 2019 года совокупная добыча газа на сланцевых месторождениях в КНР составила 15 млрд кубометров, обеспечив менее 10 % от общей добычи и менее 5 % газопотребления в стране (в 2019 году в КНР было добыто 174 млрд м<sup>3</sup>, а потребление составило 307 млрд м<sup>3</sup>).

Во-вторых, в Китае добычу газа на сланцевых месторождениях ведут лишь две крупные государственные компании – Китайская национальная нефтегазовая корпорация



(КННК) и «Синопек». Несмотря на усилия властей по привлечению негосударственных инвестиций в отрасль, до недавнего времени независимые производители проявляли осторожность и не решались войти в этот капиталоемкий и рисковый бизнес, в то время как в США сланцевая отрасль развивается за счёт работы частных компаний.

Наконец, география добычи сланцевого газа в Китае ограничивается лишь одним газоносным бассейном, расположенным на территории провинции Сычуань. В остальных регионах промышленное освоение сланцевых ресурсов возможно лишь в отдалённой перспективе в случае их подтверждения результатами геологоразведочных работ. Для сравнения, в США добыча сланцевого газа ведётся во многих регионах страны.

С учётом вышеперечисленных факторов и несмотря на амбициозные планы китайских компаний по наращиванию добычи независимые эксперты оценивают потенциальный объём производства газа из сланцев в Китае к 2030 году в пределах 50 млрд м<sup>3</sup>, или на 30-50 млрд м<sup>3</sup> ниже действующих плановых показателей (80-100 млрд м<sup>3</sup> к 2030 году согласно 13-му пятилетнему плану).

#### ***Каковы перспективы научно-технического сотрудничества ПАО «Газпром» с китайскими компаниями?***

«Газпром» сотрудничает в научно-технической сфере с КННК более 12 лет. В последние годы вместе с ростом коммерческих связей, в том числе реализацией проекта экспортного газопровода «Сила Сибири», значительно расширилась тематика совместных исследований и разработок.

Обычно с нашими партнёрами мы работаем по трёхлетним программам научно-технического сотрудничества. В действующей программе 35 позиций по 11 технологическим направлениям. Среди них коммерческие проекты, связанные с решением задач для конкретных газодобывающих объектов в Китае и России, а также совместные исследования и обмен опытом по вопросам, представляющим взаимный интерес.

Наиболее активно идут работы по созданию технических решений и инструментов для эффективной разработки месторождений со сложными трещиновато-пористыми коллекторами, добыче угольного метана, оптимизации работы обводнённых скважин и многопластовых газовых залежей, эксплуатации подземных хранилищ газа, по многим аспектам энергосбережения и экологической безопасности.

Немаловажное значение имеют совместный анализ и оценка перспектив развития газового рынка – они повышают достоверность прогнозов для планирования деятельности компаний.

В реализации программы научно-технического сотрудничества задействованы ведущие научные институты компаний: головные научные центры «Газпрома» – ВНИИГАЗ и НИИГазэкономика, со стороны КННК – НИИ по разведке и разработке нефтегазовых месторождений АКОО «Петрочайна». Результаты взаимодействия в области науки и техники мы с китайскими коллегами оцениваем положительно. И договорились о формировании следующей трёхлетней программы на 2021-2023 гг.

## Инновации

#### ***Какие главные стратегические направления инновационного развития «Газпрома»?***

Сегодня для нас актуально развитие целого ряда перспективных направлений. Среди них – разведка и добыча углеводородов на шельфе, методы повышения нефте- и газоотдачи, доразработка месторождений сеноманского низконапорного газа, освоение глубокозалегающих залежей углеводородов, создание точных моделей месторождений, подземных хранилищ газа и систем подводной добычи углеводородов, переработка сырья сложного состава, увеличение глубины переработки углеводородов, развитие газомоторных технологий и СПГ-направления. И, конечно же, с учётом огромных расстояний от наших новых центров добычи до ключевых рынков сбыта для нас крайне важным остаётся совершенствование технологий транспортировки газа.

Особое внимание я хотел бы обратить на вопросы цифровизации производственных процессов. Цифровые технологии уже являются неотъемлемой частью нашего мира, и лидерство компании невозможно без внедрения интеллектуальных систем контроля и управления. Актуальными направлениями в данной сфере являются создание моделей и выполнение экспериментальных исследований процессов, протекающих в природной среде, разработка программного обеспечения для обработки и интерпретации геолого-геофизических данных и т.д. Эти разработки будут содействовать созданию виртуальных обликов производственных объектов, которые ускорят процессы создания новых образцов техники, проектирования и строительства. Также искусственный интеллект может помочь совершить рывок в моделировании развития рынков газа.

#### ***Какой экономический эффект даёт внедрение инноваций?***

Потенциальный экономический эффект от внедрения результатов научно-технической разработки является одним из важнейших показателей уже в самом начале инновационного процесса, когда мы определяем направления НИОКР. На стадии передачи готовой разработки в производство экономика приобретает ещё большее значение. В ПАО «Газпром» функционирует постоянно действующая Комиссия по внедрению инновационной продукции.

Одним из недавних решений комиссия одобрила заключение энергосервисного договора для реализации с 2020 года проекта по применению высокоэффективных сменных проточных частей (СПЧ) центробежных компрессоров в ООО «Газпром трансгаз Югорск». Потенциал замены СПЧ составляет более 130 штук, при этом эффект от внедрения заключается в снижении загрузки ГПА и расхода топливно-энергетических ресурсов на транспортировку газа. Только по топливному газу экономия составляет около 1,5 млн кубометров в год на один ГПА.

Следует отметить, что не каждая инновация имеет целью достижение большого экономического эффекта, часто первостепенное значение имеют вопросы обеспечения безопасности технологических процессов, охрана здоровья людей и сохранение окружающей среды. Тем не менее годовой фактический экономический эффект от использования в организациях Группы только результатов наших НИОКР, без учёта внедрения сторонних разработок, для газового бизнеса превышает 10 млрд рублей.

## Продажи природного газа в качестве моторного топлива выросли на 30 %

Состоялось заседание правления ПАО «Газпром» в заочной форме. Правление приняло к сведению информацию о проводимой компанией работе по развитию рынка газомоторного топлива в Российской Федерации. Отмечено, что использование природного газа в качестве моторного топлива позволяет существенно снижать транспортные издержки и воздействие на окружающую среду.

Объём продаж природного газа на заправочных объектах «Газпрома» продолжает расти. В 2019 году он увеличился на 30 %. Совместно с федеральными и региональными органами власти, производителями техники компания ведёт активную работу по расширению газомоторного рынка. В числе приоритетных направлений – создание инфраструктуры для заправки легкового, пассажирского и грузового автотранспорта компримированным (КПГ) и сжиженным (СПГ) природным газом на федеральных трассах. Речь идёт об автодорогах М-1 «Беларусь», М-4 «Дон», М-5 «Урал», М-7 «Волга», М-10 «Россия», М-11 «Нева» и Центральной кольцевой автомобильной дороге.

Кроме того, в настоящее время компания вместе с администрациями субъектов РФ реализует ряд пилотных проектов по ускоренному развитию газозаправочной сети в Белгородской, Калининградской, Ленинградской, Ростовской областях и в г. Санкт-Петербурге. Наряду со строительством новых станций для заправки природным газом проекты предполагают развитие парка газомоторных автомобилей, создание новых сервисных центров по переоборудованию и обслуживанию такой техники.



Принципиальное значение для наращивания темпов развития российского рынка газомоторного топлива имеют меры государственной поддержки, принятые по инициативе «Газпрома». В частности, внедрён механизм субсидирования строительства объектов газозаправочной инфраструктуры – в 2019 году на эти цели из федерального бюджета было выделено 3,4 млрд руб. В 25 субъектах РФ частично снижена или обнулена ставка транспортного налога для автомобилей на природном газе.

Ещё одно направление работы «Газпрома», имеющее значительный потенциал, – сжиженный природный газ для железнодорожного и водного транспорта. Компания уже приступила к реализации проекта строительства пункта заправки газовых

локомотивов на станции Войновка Свердловской железной дороги, на очереди – создание таких объектов на железной дороге «Обская – Бованенково – Карская». В Татарстане начато строительство первого в России пассажирского судна на СПГ. Планируются проекты в сфере бункеровки морских судов.

Профильным подразделениям «Газпрома» совместно с «Газпром газомоторное топливо» и «Газпром СПГ технологии» поручено продолжить работу по развитию отечественного газомоторного рынка.

Вопрос о развитии рынка газомоторного топлива в Российской Федерации будет внесён на рассмотрение Совета директоров компании.

Управление информации ПАО «Газпром»

## «Газпром газомоторное топливо» обеспечит заправку новых тягачей

Парк техники ООО «Автомобильная компания – Мостранс» пополнили 50 новых тягачей IVECO Stralis AS440S46 T/P LNG, работающие на сжиженном природном газе (СПГ). Их заправку обеспечит мобильный криоблок «Газпром газомоторное топливо», располагающийся на территории «Московского газоперерабатывающего завода».



С марта 2019 г. компания «Газпром газомоторное топливо» обеспечивает заправку 25 тягачей IVECO Stralis AT440S33T/P CNG+LNG, закупленных грузоперевозчиком в 2018 году. За год объём потребления СПГ автопарком составил 267,5 т. За счёт более низкой стоимости СПГ (26 руб./кг) в сравнении с дизельным топливом «Автомобильной компании – Мостранс» удалось добиться значительного снижения расходов на топливо.

Закупаемая техника используется в контейнерных грузоперевозках, а также в перевозке строительных материалов в Москве и Московской области. Всего в

планах грузоперевозчика увеличение числа тягачей IVECO Stralis на СПГ до 500 единиц до 2028 года.

Партия из 50 магистральных тягачей IVECO Stralis NP LNG, работающих на сжиженном природном газе, была отгружена ООО «Автомобильная компания – Мостранс» в первом квартале 2020 года.

Компания IVECO и «Автомобильная компания – Мостранс» являются давними партнёрами. Текущая поставка 50 единиц техники осуществлялась в рамках подписанного в 2018 году меморандума, подразумевающего ежегодное поступление экологических газовых машин.

Таким образом, ООО «Автомобильная компания – Мостранс» станет первым российским перевозчиком, в парке которого будет работать такое количество машин на сжиженном газе. Экологичные тягачи Stralis NP на СПГ используются транспортным

оператором на контейнерных грузоперевозках, перевозке строительных материалов и транспортировке наливных грузов в Москве и Московской области. Среди клиентов компании – крупные международные ритейлеры: IKEA, Metro, Auchan, Leroy Merlin и P&G.

Магистральный тягач IVECO Stralis NP LNG – пионер среди грузовиков, работающих на СПГ. Автомобиль оснащён надёжным двигателем FPT Industrial Cursor 13 NP и новой роботизированной 12-скоростной коробкой передач Hi-Tronix. Магистральный тягач IVECO Stralis NP LNG стал первым транспортным средством подобного типа, способным выполнять рейсы на дальние расстояния – запас хода на одной заправке составляет до 1600 км.

Комментируя поставку 50 новых тягачей ООО «Автомобильная компания – Мостранс», глава бренда Iveco в России Роберто Каматта подчеркнул стратегический характер сотрудничества с крупным российским перевозчиком: «Сегодня коммерческий транспорт на газомоторном топливе – это оптимальное и эффективное решение как с точки зрения рентабельности, так и с точки зрения снижения негативного влияния на окружающую среду. В этом смысле пример нашего стратегического партнёрства с «Автомобильной компанией – Мостранс» – весьма показателен. Перевозчиком уже накоплен значительный опыт эксплуатации тягачей IVECO Stralis NP на природном газе, и этот опыт признан однозначно положительным. Лучшее тому подтверждение – продолжающиеся отгрузки тягачей на сжиженном природном газе».

«Применение сжиженного природного газа эффективно в сегментах с большим объёмом потребления топлива. Для автомобильного транспорта – это магистральные грузоперевозки. За счёт высокой энергоёмкости СПГ дальность пробега грузового транспорта на одной заправке может достигать 1600 км. Одна из стратегических задач «Газпром газомоторное топливо» – создание заправочной сети сжиженным природным газом на основных федеральных трассах европейской части России», – отметил генеральный директор ООО «Газпром газомоторное топливо» Тимур Соин.

В настоящее время в управлении «Газпром газомоторное топливо» находятся 252 газозаправочных объекта и 17 площадок с передвижными автогазозаправщиками (ПАГЗ) в 62 регионах России, комплексы сжижения природного газа в Калининграде и Петергофе, «Московский газоперерабатывающий завод».

Всего на территории России действует 484 газозаправочных объекта, 329 из них принадлежат Группе «Газпром». Общая производительность газозаправочной сети компании составляет около 2,3 млрд кубометров природного газа в год.

«Автомобильная компания – Мостранс» – первая российская транспортная компания, которая использует в производственном процессе грузовую технику на СПГ. Приоритетными направлениями деятельности компании уже более 11 лет являются автомобильные контейнерные перевозки.

По материалам <http://gazprom-gmt.ru/press-center/news/>  
<https://proteh.org/news/10042020>

## Россельхозбанк поддержит Нижегородский рынок газомоторного топлива

Нижегородская область входит в числе пилотных по развитию рынка газомоторного топлива. С 2019 года партнёром проекта в регионе выступает Россельхозбанк. Аграрии могут получить в банке льготные кредиты на покупку природного газа и газомоторного

транспорта в рамках госпрограммы льготного финансирования АПК, сообщает пресс-служба кредитной организации.

Ранее Минсельхоз России по предложению банка включил газомоторную технику и метан в перечень льготного кредитования аграриев.

«Сегодня Россельхозбанк предлагает нижегородским аграриям получить льготные кредиты на покупку природного газа и работающей на нём техники в рамках госпрограммы льготного финансирования АПК. Экологический эффект и экономическая выгода здесь очевидны, поскольку будут сокращены расходы топлива, а также снизится уровень вредных выбросов в окружающую среду», – отметил директор Нижегородского филиала банка Александр Люлин.

<https://vz-nn.ru/news/banki/34537/>

## Компания РариТЭК подписала соглашение с Менделеевским муниципальным районом

В конце апреля на территории АО «РариТЭК Холдинг» было подписано соглашение о намерениях по реализации инвестиционного проекта между муниципальным образованием «Менделеевский муниципальный район» и ООО «РариТЭК СПГ». Подписи под документом поставили глава Менделеевского муниципального района Чершинцев Валерий Сергеевич и генеральный директор ООО «РариТЭК СПГ» Батыршин Рафаэль Римович.



Валерий Чершинцев (слева) и Рафаэль Батыршин

Компания «РариТЭК», используя огромный опыт и свои наработки, планирует запустить производство автомобильных криогенных бортовых топливных систем для сжиженного природного газа на территории опережающего развития «Менделеевск». Данный проект имеет особую актуальность в свете решения правительства РФ по газификации автотранспорта. Кроме того, реализация проекта позволит уйти от использования импортных аналогов – мощность первой линии производства топливных систем составит 1200 ед. в год.

В этом году на объекте планируются строительные-монтажные работы. Запуск самого производства ожидается во втором квартале 2021 года. Сумма инвестиций составит более 100 млн рублей в год. Проект предусматривает создание свыше 20 рабочих мест.

Кроме этого, в планах «РариТЭК» строительство АГНКС в 2021 году. Инвестиции на этот проект составят порядка 60 млн рублей, планируется создание 12 рабочих мест.

По материалам <https://raritek.ru/press-center/news/845080/>  
<https://www.business-gazeta.ru/news/>

## Планы по развитию рынка ГМТ в Чувашии

С 2020 года началась реализация государственной программы рынка газомоторного топлива. Регионам будут выделяться субсидии на строительство автогазозаправочных станций. Минтранс Чувашии определён уполномоченным органом исполнительной власти, ответственным за развитие рынка газомоторного топлива в регионе. Республике в 2020 году необходимо построить три АГНКС и переоборудовать на метан 595 транспортных средств.

Одну из станций построят на трассе М-7 «Волга» в Козловском районе, другую – на автодороге «Вятка» в Чебоксарском районе, третья планируется в Чебоксарах. На 2021 год в планах ещё две заправочные станции.

В рамках реализации госпрограммы по развитию рынка газомоторного топлива в 2020 году на развитие заправочной инфраструктуры КПП предусмотрены средства из республиканского бюджета Чувашской Республики в размере 120 млн рублей, в том числе за счёт федерального бюджета 112,8 млн рублей. В 2021 году инвестиции составят 63,8 млн рублей, в том числе из федерального бюджета – 60 млн.

В настоящее время в Чебоксарах перевозка пассажиров осуществляется на автобусах средней и большой вместимости, использующих в качестве моторного топлива природный газ. Автомобильная газонаполнительная компрессорная станция в городе построена в 1986 году, имеет восемь раздаточных колонок, из них одна находится в резерве. При этом конструктивная особенность данной станции не позволяет осуществить полную заправку транспортных средств одновременно на всех раздаточных колонках, поскольку производительность компрессора недостаточна для этого. Из-за этого на станции возникают очереди из автотранспортных средств на заправку газом. Время заправки автобуса занимает 40-60 минут.

Главное преимущество метана – низкая цена и небольшой объём вредных выбросов в продуктах горения, что особенно важно для перегруженных транспортом крупных городов. Сейчас сдерживающим фактором для расширения парка техники на КПП является отсутствие развитой сети АГНКС. Разработанный министерством транспорта порядок бюджетной господдержки должен стимулировать развитие рынка газомоторного топлива в республике.

<http://www.grani21.ru/news/>

## Новокузнецк получит более 100 единиц «чистого» общественного транспорта

Об этом недавно сообщил в соцсетях губернатор Кемеровской области Сергей Цивилёв.

По федеральному проекту «Чистый воздух» в городе появятся 15 новых троллейбусов и 15 трамваев, а также 85 автобусов на газомоторном топливе. На эти цели выделят более 2 млрд рублей.

«Приобретение электротранспорта – важный шаг к улучшению экологической обстановки в Новокузнецке. По госпрограмме в прошлом году мы закупили четыре автобуса на метане, а за счёт средств местного бюджета приобрели два троллейбуса.



Новая техника

Теперь получим серьёзное финансирование по проекту «Чистый воздух». Уверен, к 2024 году достигнем плановых показателей, и воздух в городе станет значительно чище», – уверен губернатор.

В рамках стратегии развития Новокузнецка через четыре года в городе планируют снизить выбросы загрязняющих веществ в атмосферу более чем на 20 % от уровня 2017 года. При этом по итогам 2019 года выбросы были снижены более чем на 8 % по отношению к 2017 году при запланированном снижении на 4 %.

Новые трамваи будут произведены на Усть-Катавском вагоностроительном заводе, им придумали названия – «Новокузнецк» и «Кузбасс». Первые автобусы привезут в конце мая.

<https://vashgorod.ru/novokuznetsk/news/1132519>

## Газобаллонные автобусы для Братска

21 автобус на экологически чистом топливе закуплен администрацией Братска в рамках реализации Комплексного плана федерального проекта «Чистый воздух». Автобусы будут работать на природном газе (метан).

Как ранее сообщалось, в феврале-марте администрацией города были проведены конкурсные процедуры на приобретение и поставку 21 автобуса на газомоторном топливе. Из них шесть автобусов «Лотос» большой вместимости (75 пассажиров, включая 28 сидячих мест) производства компании «РариТЭК» (Набережные Челны) и 15 автобусов ПАЗ средней вместимости (50 пассажиров, включая 20 сидячих мест) производства ООО «СИМАЗ» (Ульяновск).

Техника приобреталась для муниципального центрального пассажирского предприятия за счёт средств областного и городского бюджетов на общую сумму 147,3 млн. руб.



Все автобусы должны быть оснащены навигационными системами ГЛОНАСС, тахографами и комплектами электронных указателей маршрута.

Как сообщил председатель комитета промышленности и транспорта администрации города Юрий Бак, в настоящее время завершается сборка автобусов и проводится установка дополнительного оборудования – системы автоинформирования пассажиров со светодиодным табло, системы видеонаблюдения, USB-разъёмы для зарядки мобильных устройств и т.д.

Комплектация автобусов «Лотос» завершена до конца апреля, и в течение мая они были доставлены в Братск.

<https://sever138.ru/text/14-04-2020/006/>

## В Челябинск поставили 33 автобуса «МАЗ» на сжиженном топливе



Мобильный заправщик МАЗ



Автобус МАЗ

Техника Минского автозавода осваивает дороги Челябинской области. 33 новых автобуса вышли на маршруты города. Новые МАЗы оснащены шестирядными двигателями Weichai с рабочим объёмом 7 470 см<sup>3</sup> и мощностью 270 л.с. Моторы собираются в ООО «МАЗ-Вейчай» в «Великом камне», что положительно сказывается на конечной цене техники.

Баллоны с метаном размещены в заднем отсеке автобуса. В 320-литровой ёмкости вмещается 120-130 кг СПГ, что обеспечивает запас хода на 400 км. Этого вполне достаточно для работы на городских маршрутах.

Тестовую эксплуатацию в Челябинске проходили две модели автобусов: МАЗ 203945 и девятиметровый МАЗ 206945. Последний был оснащён 200-сильным двигателем Weichai



Мусоровоз МАЗ

и автоматической коробкой передач Allison. Автобус во время испытаний показал себя с лучшей стороны, хотя отмечалось, что его вместимость (67 пассажиров) для городского маршрута недостаточна.

В настоящее время продвижение газового транспорта на российском рынке сдерживается отсутствием развитой сети заправочных станций сжиженным газом. На МАЗе придумали выход из положения – выпустили мобильные заправщики, которые могут исполнять функции полноценной

заправки. На шасси установлены две ёмкости для топлива: полимерно-композитный баллон на 486 л КПП и 350-литровый криобак для хранения метана в сжиженном виде.

Помимо автобусов, минчане представили челябинским коммунальщикам первый образец девятикубового мусоровоза, рассчитанного на транспортировку 2 900 кг отходов. В качестве носителя используется шасси, оснащённое 170-сильным двигателем ЯМЗ (Евро-5), который работает на природном газе. Метан хранится в двух 210-литровых баллонах, закреплённых вдоль рамы.

<https://minsknews.by>

## До конца года Череповец получит 17 новых автобусов на ГМТ

Министерство транспорта РФ одобрило заявку Вологодской области о приобретении 17 газомоторных автобусов большого класса на льготных условиях. Более половины стоимости покупки будет оплачено из федерального бюджета. Соответствующее письмо руководство ведомства направило в адрес губернатора Олега Кувшинникова.

Техника придёт в регион в рамках федерального проекта «Общесистемные меры развития дорожного хозяйства», который является составной частью национального проекта «Безопасные и качественные автомобильные дороги» (БКАД). Конкурсный отбор проводился по рейтинговой системе.

В числе победителей оказалась и Вологодская область. Новая пассажирская техника будет использоваться на самых востребованных магистральных городских маршрутах, что позволит перераспределить существующий парк по другим направлениям и вывести из эксплуатации устаревший подвижной состав.

«В прошлом году за счёт областного бюджета мы закупили для Череповца 25 новых низкопольных автобусов на газомоторном топливе, а в этом году, благодаря нацпроекту БКАД, в город будет поставлено ещё 17 новых машин. Уверен, что череповчане по достоинству оценят современную технику: экологичную, комфортную и безопасную», – отметил губернатор Вологодской области Олег Кувшинников.

По словам главы региона, в ближайшее время руководство города совместно с муниципальным перевозчиком должны определиться с конкретными моделями транспорта и обеспечить 40 % софинансирования. Остальные 60 % расходов будут покрыты из федеральной казны. После оформления необходимых согласовательных процедур ориентировочно к концу лета автобусы поступят в муниципальную автоколонну № 1456.

<https://volgda-oblast.ru/novosti/>

## Обзор международного рынка ГМТ

Мировой парк автомобилей на газомоторном топливе только за последние 5 лет увеличился в 12 раз. Разные страны пошли по разному пути в использовании газомоторного топлива. В Японии и Китае общественный транспорт почти полностью переведён на диметилвый эфир (ДМЭ). Volvo, Nissan и КАМАЗ активно развивают двигателестроение для работы с ДМЭ. В Иране несмотря на достаточные запасы нефти насчитывается 2 млн автомобилей на СПГ. Франция – один из лидеров в использовании СПГ. Каждый третий автобус работает на этом виде природного топлива. Швеция не имеет собственных запасов природного газа, но в более чем 10 городах общественный транспорт работает только на газе, объёмы которого вырабатываются на биогазовых установках.

### Россия

В условиях уменьшения передвижения транспорта для борьбы с распространением коронавируса возможно снижение спроса на природный газ в качестве моторного топлива. В России в настоящее время газозаправочные объекты в регионах работают в штатном режиме, так как природный газ отнесён к товарам первой необходимости. Согласно распоряжению о внесении изменений в перечень непродовольственных товаров первой необходимости, пункт «сжиженный природный газ» добавили в обобщающую группу «газомоторное топливо», куда также входят сжиженный углеводородный газ (СУГ) и компримированный природный газ (КПГ).

\*\*\*

В России также утверждена подпрограмма «Развитие рынка газомоторного топлива» на период до 2024 года в составе госпрограммы «Развитие энергетики». На реализацию подпрограммы из федерального бюджета РФ будет выделено 19,29 млрд рублей. К 2024 году объём потребления природного газа в качестве моторного топлива может увеличиться до 2,7 млрд кубометров, число газозаправочных станций – до 1273 единиц, автопарк – до 40 тыс. ед.

Первоочередное развитие рынка газомоторного топлива предусматривается в 27 субъектах России, через которые проходят ключевые федеральные трассы страны, где уже имеется базовая газозаправочная инфраструктура. Это позволит эффективно формировать «газомоторные коридоры» в европейской части страны. В перечень субъектов для первоочередного формирования заправочной инфраструктуры ГМТ не вошли города Сибири. Динамика строительства АГНКС в Сибири, по сравнению с общероссийской, говорит о низких темпах финансирования этой сферы в регионах. Это сдерживает использование газомоторного топлива, в том числе на общественном транспорте.

По словам вице-премьера Дмитрия Козака, выделенные до 2024 года средства не позволяют охватить сегодня всю страну, поэтому избран кластерный подход – основные транспортные магистрали, которые идут через Москву на Северо-Запад, Юго-Восток

и Юг, а также на Урал, должны быть оснащены необходимой заправочной инфраструктурой. Тогда появится дополнительный спрос на колёсную технику на газомоторном топливе, прежде всего на личный автомобильный транспорт, коммерческую, сельскохозяйственную технику. После завершения комплексной работы в рамках этих трёх кластеров география будет расширяться.

\*\*\*

2 апреля 2020 года на заседании правительства России был представлен проект Энергетической стратегии России на период до 2035 года. При подготовке этого документа Минэнерго рассмотрело стресс-сценарий, который учитывает текущую ситуацию на мировых рынках и значительное снижение спроса на энергоресурсы из-за коронавируса. Среди долгосрочных трендов – развитие технологий, глобализация мирового рынка энергоносителей; рост конкуренции (в частности, за счёт добычи сланцевого газа и нефти), увеличение производства сжиженного природного газа и торговли этим товаром; ужесточение ограничительных мер и санкций. В стратегии закреплены пять ключевых целей для отраслей ТЭК: обеспечение потребностей социально-экономического развития страны продукцией и услугами; развитие и диверсификация экспорта; модернизация, развитие и повышение доступности инфраструктуры; технологическая независимость; цифровая трансформация. Удовлетворение внутреннего спроса на нефтепродукты и газомоторное топливо планируется достичь за счёт роста объёмов добычи и увеличения объёма инвестиций. Цель по развитию инфраструктуры предполагает строительство газозаправочных станций и зарядной инфраструктуры для электромобилей.

\*\*\*

Федеральным порталом для размещения проектов нормативно-правовых актов опубликован с целью обсуждения проект изменений в Технический регламент о безопасности объектов внутреннего водного транспорта в части жидкого топлива, утверждённый постановлением правительства Российской Федерации от 12 августа 2010 г. № 623.

\*\*\*

В Самарской области внесли поправки в статью 4 Закона «О транспортном налоге на территории Самарской области». Согласно поправкам, с 1 января 2020 года:

- освобождаются от налога владельцы машин на природном газе (метан);
- имеют скидку 50 % собственники двухтопливных автомобилей.

В Самарской области зарегистрировано около 3 тыс. автомобилей, работающих на газе. Около 50 % транспорта принадлежит компаниям.

\*\*\*

В 2020 году в Башкирии планируется строительство семи новых АГНКС (пять частных; две – Газпрома). Сейчас в Башкирии действуют 17 АГНКС (две – частных; 15 – Газпрома). Стоимость строительства одного объекта – 150-200 млн руб.

\*\*\*

Gazpromneft Marine Lubricants провела первые бункеровки в портах Пусан, Масан

и Инчхон (Южная Корея) моторными маслами Gazpromneft Ocean, разработанными с учётом требований ИМО2020. Gazpromneft Ocean доступны для бункеровок в 16 портах Южной Кореи. Срок доставки фасованной или наливной продукции составляет от трёх до четырёх дней.

Парафиновые базовые масла, входящие в состав масел Gazpromneft Ocean, позволяют маслу сохранять оптимальную вязкость при высоких механических и температурных нагрузках, поддерживают чистоту в поршневой зоне двигателей. Масла одобрены ведущими производителями оборудования: Wartsila, Winterthur Gas&Diesel, MAN Diesel & Turbo, J-ENG.

Производство организовано на партнёрском заводе, прошедшем технический аудит на соответствие международным стандартам. Качество выпускаемой продукции контролируется на всех этапах от момента отгрузки сырья до транспортировки масел к борту судна.

Gazpromneft Marine Lubricants – дочернее предприятие «Газпром нефти», специализируется на производстве и реализации судовых смазочных материалов на международном рынке. Продукция компании выпускается на современных заводах в России, Сингапуре, Турции и Южной Кореи. Ассортимент продукции включает 43 наименования для всех видов судового оборудования.

\*\*\*

НОВАТЭК и Nauticor (ФРГ) планируют начать бункеровку судов с СПГ-двигателями в регионе Балтийского моря. Nauticor и Novatek Green Energy подписали соглашение о сотрудничестве в развитии инфраструктуры. Nauticor создаст цепочку поставок «последней мили» – от терминала до конечного потребителя.

НОВАТЭК начнёт поставлять СПГ-топливо с завода в Высоцке на приёмный терминал в Ростоке (Германия). Заправка судов будет осуществляться по технологии «борт-борт» с участием судна-бункеровщика Kairos.

Среднетоннажный терминал в порту Ростока НОВАТЭК строит совместно с бельгийским газотранспортным оператором Fluxys. Производственная мощность терминала составит 660 тыс. тонн в год. Реализацией продукции на рынке, бункеровкой судов и перевалкой сжиженного природного газа будет заниматься совместное предприятие НОВАТЭКа и Fluxys.

«Одно из направлений нашей стратегии СПГ – среднетоннажные и малотоннажные проекты. Для нас важно построение эффективных маркетинговых каналов для реализации нашей продукции на различных рынках. Использование СПГ в качестве судового и моторного топлива вместо дизельного топлива и мазута будет способствовать снижению выбросов в атмосферу и улучшению экологии», – заявил глава НОВАТЭКа Леонид Михельсон.

## Белоруссия

На заводе «Могилёвтрансмаш» ОАО «МАЗ» (управляющая компания холдинга «БЕЛАВТОМАЗ») представлен мусоровоз на газовом топливе (420 л). Мусоровоз вмещает более 10 кубометров груза.

## Германия

Компания BayWa Mobility Solutions GmbH (BS) ввела в эксплуатацию вторую станцию СПГ в Нердлингене (Бавария).



Новая станция в Баварии

## США

Компания Clean Energy Fuels Corp., ведущий поставщик «чистого» топлива для транспортного рынка Северной Америки, запустила онлайн-калькулятор стоимости, который позволяет быстро оценить финансовые затраты на перевод отдельного транспортного средства или всего автопарка с дизельного топлива на природный газ, включая расчётное сокращение выбросов углекислого газа.



\*\*\*

В рамках климатической инициативы штата Калифорния (California Climate Investments initiative) компания All American Marine (AAM) получила контракт на строительство первого в США судна на водородных топливных элементах. Пассажирский паром на водороде будет курсировать в районе Калифорнийского залива.

Проект разрабатывается для демонстрации возможности коммерциализации водородных топливных элементов на морском транспорте с целью сокращения выбросов парниковых газов, укрепления экономики, улучшения здоровья населения и окружающей среды. Проект финансируется частным капиталом и частично за счёт гранта в размере 3 млн долларов.

## Нидерланды

Компания Titan LNG (Нидерланды) осуществила в порту Роттердама бункеровку

сжиженным природным газом самого мощного в мире в своём классе полупогружного кранового судна Sleipnir (судовладелец – Heerema). Для заправки такого судна понадобилось почти 3,3 тонны СПГ. На выполнение всей операции ушло почти 24 часа. СПГ для бункеровки был доставлен танкером Coral Fraseri, принадлежащим группе Anthony Veder, владельцу флота газовозов. Всего в такой масштабной операции приняли участие четыре голландские компании.



Отмечается, что при выполнении всех процедур бункеровки вовлечённые компании выполнили все санитарные меры предосторожности, реализуемые в Нидерландах для сдерживания распространения коронавируса.

Роттердам является крупнейшим европейским портом-хабом с развитой инфраструктурой, предназначенной для обслуживания океанских и фидерных линий, трубопровода, железнодорожного и автомобильного транспорта. В порту действуют около 120 терминалов. Ежегодный грузооборот порта Роттердам в среднем составляет 450 млн тонн. 70 % акций порта принадлежат городскому муниципалитету, 30 % – государству.

## Швеция

MAN Cryo (MAN Energy Solutions) разработает проект строительства многофункционального терминала для хранения сжиженного топлива на основе метана в шведском порту Окселосунд. Заказчик проекта – компания OхGas, принадлежащая порту Окселосунд.

Терминал в порту Окселосунд будет спроектирован для снабжения сжиженным природным газом, а также метаном, полученным из биогаза, сталелитейного производства SSAB, находящегося в Окселосунде. Напрямую с терминала начнут бункеровать суда, работающие на СПГ и других видах топлива на основе метана. Газ будет также доставляться по железной дороге и автогазовозами в другие районы Швеции.

Компания MAN Cryo из Гётеборга, возглавляемая Луизой Андерссон, принимала активное участие в разработке предыдущих проектов СПГ-терминалов в Швеции.

Компания MAN Energy Solutions (головной офис – Аугсбург, Германия) является мировым лидером на рынке крупных дизельных двигателей для использования на судах и электростанциях, выпускает двухтактные и четырёхтактные двигатели для морских судов и стационарных объектов, турбокомпрессоры и винты, газовые и паровые турбины, компрессоры. В июне 2018 года компания объявила о смене своего прежнего названия MAN Diesel and Turbo. MAN Energy входит в энергетическое подразделение группы MAN SE, одной из 30 ведущих немецких компаний.

В 2015 году MAN Energy Solutions приобрела и интегрировала в свою структуру компанию Cryo AB, которая продолжила свою деятельность под новым брендом MAN Cryo. Компания предлагает на рынке системы для хранения, распределения и обработки различных сжиженных газов.

# Инновации БЕЛАЗа: «зеленые технологии» и альтернативные источники энергии

Современные экологические стандарты, внедрение «зелёных технологий», переход на альтернативные источники энергии – глобальный тренд машиностроения. Развиваясь в русле мировых тенденций, БЕЛАЗ стремится повышать эффективность, снижать эксплуатационные расходы, улучшать безопасность и экологичность производимой карьерной техники.

## Курсом на электрификацию

Дизель-троллейвозы – это перспективное направление в русле мировых тенденций по использованию альтернативных источников энергии в карьерной технике \*. Применение карьерного транспорта такого класса является эффективным решением для горнотранспортных работ, так как позволит увеличить скорость движения самосвала на подъеме в 1,8-2 раза, что в свою очередь даст возможность повысить производительность и нарастить объём перевозок. Попутно будет обеспечено снижение расхода топлива, значительно сокращены выбросы вредных веществ в окружающую среду и улучшена экологическая обстановка в карьере и прилегающих районах. Переход на дизель-троллейвозы позволит применить дизельные двигатели меньшей мощности.

Выделяются три разработки специалистов БЕЛАЗа в этом направлении:

- дизель-троллейвоз – это карьерный самосвал, который на определённом участке карьерной дороги в качестве силовой установки использует внешний источник электричества, за счёт чего увеличивается скорость машины и экономится дизельное топливо;

- электротроллейвоз использует в основном внешний источник энергии от троллейных линий и только в местах погрузки и разгрузки переходит на собственные аккумуляторные батареи;

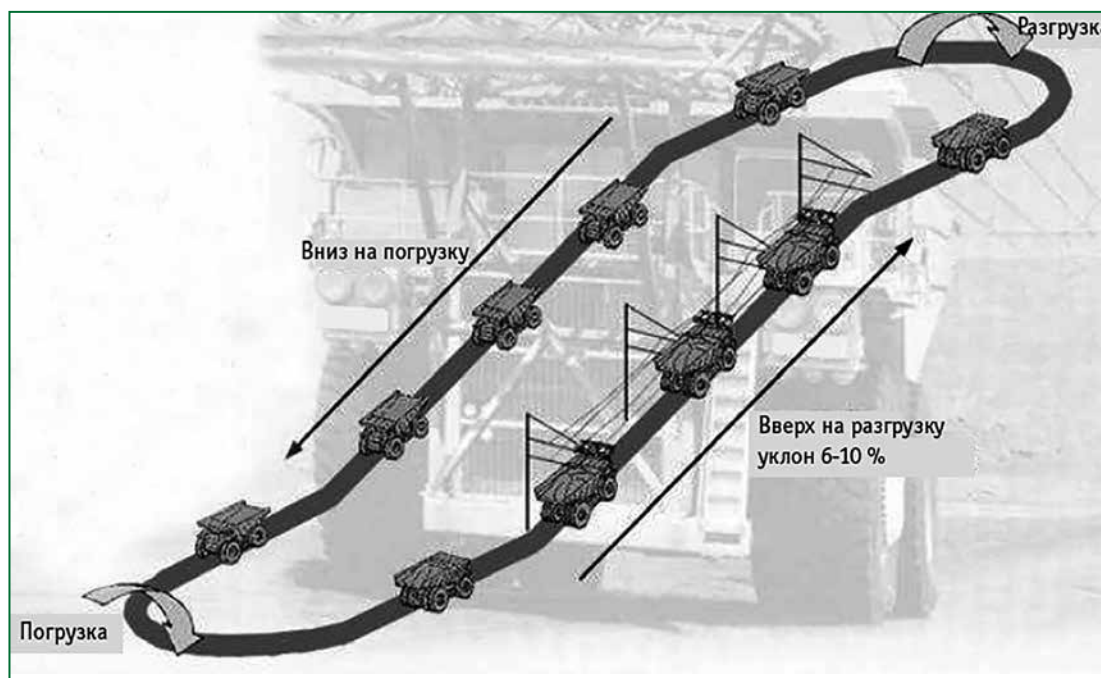
- самосвал-электровоз или электросамосвал, использующий в качестве силовой установки блок тяговых аккумуляторных батарей.



Компьютерная 3D-модель дизель-троллейвоза «БЕЛАЗ» грузоподъемностью 240 т и схема его перемещения в карьере

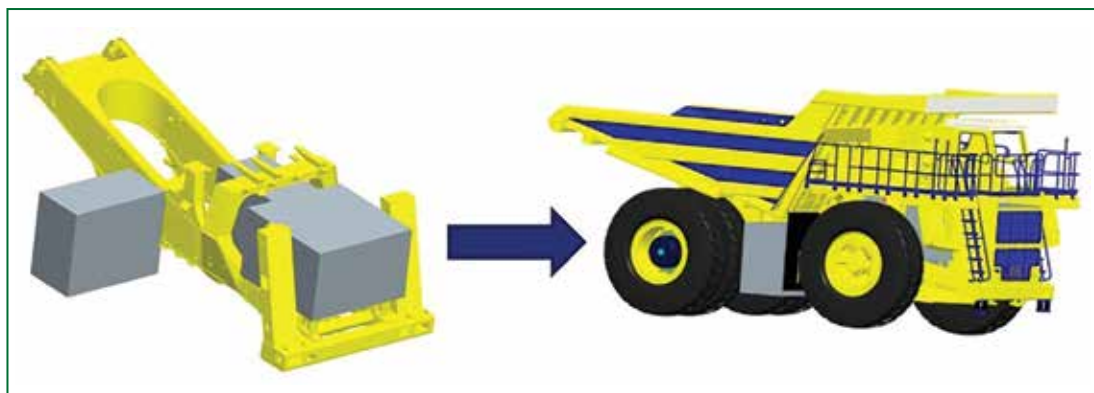
\* Читайте в этом номере статью С.А. Трембача «Способ оптимизации конструкции электрических карьерных самосвалов», стр. 72.





Реализация первых двух разновидностей электрификации карьерных самосвалов уже идёт полным ходом. Для проведения исследований, испытаний и настройки оборудования на заводском полигоне планируется установить контактную троллейную линию общей протяжённостью более полукилометра.

Разрабатывается система управления троллейвозным оборудованием собственного производства для создания электротроллейвоза на базе 220-тонника БЕЛАЗ-75306 – полностью экологичного карьерного транспорта, свободного от вредных выбросов.



В качестве источника энергии электросамосвал вместо дизель-генераторной установки использует тяговые аккумуляторные батареи

На сегодняшний день актуально решение задачи обеспечения продолжительной работы аккумуляторных батарей без подзарядки.

«Даже самые лучшие электрические накопители энергии по своим удельным показателям способны обеспечить практически в 20 раз меньший запас хода в сравнении с машинами на дизельном топливе. Сейчас самосвал при движении с грузом вниз без подзарядки может работать максимально около 8 часов. Но так как 95 % карьеров – это всё же перевозка груза вверх, то после каждого рейса такой машине обязательно

необходима подзарядка», – отмечает генеральный конструктор ОАО «БЕЛАЗ» Александр Егоров.

Тем не менее это направление разработок весьма перспективное. Так, по плану опытно-конструкторских работ на предприятии в этом году намечено изготовление образцов 130-тонных самосвалов, которые будут работать по газодизельному циклу. Уже в ближайшие месяцы в планах белазовских конструкторов изготовить и образец самосвала в классе 90 тонн на электрических батареях. Договор с южнокорейским производителем батарей и соглашение на специальные сопутствующие системы заключены, комплектующие прибывают, так что вскоре начнётся закладка этого самосвала.

«Использование электросамосвалов позволит горнодобывающим предприятиям экономить за счёт разницы цены на топливо и электричество. Если взять Якутию, где в России самая большая дельта между ценой на топливо и ценой на электричество, то за 10 лет эксплуатации такой карьерный электросамосвал может сэкономить до 3 млн долларов», – поделился подсчётами Александр Насковец, начальник бюро компоновки научно-технического центра управления главного конструктора ОАО «БЕЛАЗ».

В целом по прогнозам экспертов с ростом стоимости дизельного топлива актуальность использования троллейвозного транспорта на базе аккумуляторов или конденсаторов будет только возрастать.

## В русле газификации карьерной техники

Идя навстречу интересам добывающих компаний и удовлетворяя растущие запросы потребителей, БЕЛАЗ реализует несколько прорывных проектов в сегменте карьерной техники на газомоторном топливе. Интерес к ней со стороны добывающих компаний в последнее время растёт. Ведь техника, использующая в качестве моторного топлива сжиженный природный газ, позволяет не только экономить средства, но и улучшает экологическую ситуацию в обычно сильно загазованных карьерах.

Работа над газификацией карьерной техники ведётся по двум направлениям – газодизель и чистый газ. В частности, белазовцы трудятся над созданием 90-тонника с двигателем Weichai на газовом топливе. Также в ближайших планах БЕЛАЗа совместно с российскими компаниями создать карьерный самосвал грузоподъёмностью 136 тонн с газопоршневым двигателем на базе дизеля Cummins KTA 50-C.

Карьерная техника наиболее удобна для перевода на газ, так как эксплуатируется недалеко от места своей дислокации, и одна заправка может обслуживать весь парк самосвалов. 45-тонный самосвал БЕЛАЗ-75476 с газопоршневым двигателем, работающим на метане, уже проходит эксплуатационные испытания в карьере Ломоносовского ГОКа в Архангельской области России.

Кроме того, конструкторами предприятия в макетном исполнении разработан 90-тонный «БЕЛАЗ», работающий на сжиженном метане. Два успешных пуска такого двигателя уже произведены. По мере его изучения вносятся коррективы, доработки. В ближайшее время планируется выход на полную мощность двигателя.

Все разработки проводятся на основании маркетинговых исследований рынка и в тесном сотрудничестве с традиционными и потенциальными потребителями карьерной техники «БЕЛАЗ».

<http://belaz.by/press-centre/innovation-belaz-green-technology>



45-тонный самосвал БЕЛАЗ-75476

# Веские причины для применения природного газа на транспорте

**Е.Б. Слободов,**

президент и технический директор ООО «Мониторинг Вентиль и Фитинг»

Соотношение запасов нефти и её потребления достигло критической точки, которую принято называть «пиком потребления нефти»

## Инфраструктура

Почти 85 стран всех пяти континентов используют природный газ в качестве газомоторного топлива. Более 60 млн автомобилей работают на голубом топливе сегодня. Автомобили заправляются на 25 тысячах автозаправочных станций в 2900 городах по всему миру. 1300 станций в стадии строительства. К концу 2020 года 38 000 точек будут поставлять метан для автомобилей. В России сейчас эксплуатируется 300 тысяч автомобилей на природном газе. Существуют 450 АГНКС, и каждый год в эксплуатацию вводятся порядка 50 станций.

180 автопроизводителей предлагают специализированные метановые двигатели и устанавливают топливные баки для сжатого или сжиженного природного газа. Интерес автопроизводителей растёт: КАМАЗ, Ford, Scania, Opel, GM, Mercedes Benz, Toyota, Hyundai, Tata, Fiat – яркие примеры тому.

Соотношение запасов нефти и её потребления достигло критической точки, которую принято называть «пиком потребления нефти». Увеличения добычи нефти не предвидится – будет только снижение. По природному газу подобная ситуация не просматривается. Добыча природного газа будет непрерывно расти в ближайшие десятилетия. Разведка природного газа постоянно расширяется как на традиционных месторождениях, так и в сланцевых отложениях. Угольный метан представляет собой новую альтернативу. Запасов кристаллогидратов метана на морском дне не перечислить и их в несколько раз больше, чем традиционных резервов.

Обычные газопроводные сети продолжают расширяться. Подводные трубопроводы строятся через моря, а наземные – через горные хребты. Происходит массовое развитие виртуальных газопроводов. Морские корабли и автомобильные полуприцепы делают природный газ доступным там, где нет никаких физических трубопроводов. То есть там, где имеются слишком большие расстояния и большие трудности для прокладки труб или недостаточный масштаб спроса. Терминалы по сжижению и регазификации позволяют подать природный газ в любое место на планете. Перевозки сжиженного природного газа (СПГ) приняли глобальный характер и создают возможности для увеличения поставок.

Транспорт на СПГ не влечёт за собой таких больших рисков экологической катастрофы, как добыча и транспортировка нефти. Более того транспорт на СПГ свободен



Автомобиль на СПГ

от рисков политических конфликтов между странами, по территории которых прокладываются магистральные трубопроводы. Маршрут прокладки виртуального трубопровода может быть при необходимости изменён легко и быстро.

Природный газ для транспортных средств может заменить все жидкие топлива во всех способах применениях, в то время как обратное невозможно. Это касается наземного транспорта, то есть легковые автомобили, фургоны, скутеры, мотоциклы, все виды автобусов и грузовых автомобилей, которые работают на сжатом и сжиженном природном газе. Кроме того, автокраны, сельхозмашины, строительная техника, самолёты, катера, паромы и поезда уже успешно применяют СПГ.

## Политика и экономика

Цена на нефть крайне нестабильна, особенно после последнего большого международного финансового кризиса. Поэтому всё больше и больше правительств способствуют внедрению природного газа в качестве основы своей энергетической системы, чтобы ослабить зависимость от постоянного удорожания ввозимого жидкого топлива. Даже такие крупные производители нефти, как Иран или Венесуэла, поощряют использование природного газа на своих внутренних рынках, чтобы увеличить свой экспорт нефти. Природный газ является единственным видом топлива, который есть в изобилии и отличается экологической чистотой. Это – экономически жизнеспособное топливо с инфраструктурой, необходимой для использования на автомобильном, железнодорожном, морском и речном транспорте во всём мире в течение следующих 40 лет.

Средняя мировая практика показывает, что применение природного газа на транспорте позволяет достичь 66 % экономии в сравнении с бензином и 33 % – по отношению к дизельному топливу. Страны, которые импортируют топливо, смогут платить на 50 % меньше за эквивалентную единицу энергии при применении сжиженного природного газа в сравнении с жидкими видами топлива, например, с дизельным.

## Экология и здоровье

Двигатели, работающие на природном газе, выбрасывают на 25 % меньше углекислого газа, чем работающие на бензине, и на 35 % меньше, чем на дизельном топливе (считается, что  $\text{CO}_2$  способствует глобальному изменению климата в связи с парниковым эффектом). Они сокращают выбросы оксида углерода на 95 % по сравнению с бензином, углеводородов на 80 % и оксидов азота на 30 %. Природный газ не содержит серы (есть дизельные двигатели, которые выделяют серу в количестве до 18,4 г/ч), твёрдых частиц, свинца или тяжёлых металлов.

Топливные баки для КПП/СПГ герметичны, в то время как часть бензина из топливных баков испаряется. Особенно интенсивно пары бензина попадают в атмосферу при заполнении хранилищ топлива на бензиновых заправочных станциях и при заправке бензином автомобилей. Пары бензина тяжелее воздуха и скапливаются в зоне нахождения людей. Это обстоятельство является причиной почти 50 % загрязнений воздуха углеводородами, связанных с автомобильным транспортом.

В отличие от бензина, природный газ для транспортных средств не имеет токсичных и канцерогенных добавок соединений свинца или бензола. Природный газ не токсичен, не агрессивен и не может загрязнять грунтовые воды, реки, моря и океаны. Именно поэтому в случае его утечки для окружающей среды нет того вреда, который причиняется ей при разливах нефти. Двигатели, работающие на природном газе, меньше шумят, имеют плавный ход и легче поддаются регулировке, особенно при пониженных нагрузках, в сравнении с бензиновыми или дизельными двигателями. Природный газ соответствует строгим экологическим стандартам, предъявляемым со стороны правительств и регулирующих органов. Природный газ – это возможность широкомасштабного использования топлива с самыми низкими уровнями загрязнения.

Также природный газ служит необходимым мостом к водородной энергетике – топливу будущего. Водород является самым экологически чистым из всех видов топлив, но пока он недоступен в необходимых масштабах.

## Безопасность

КПП и СПГ – это не новая технология. Природный газ имеет 70-летнюю историю применения. Полностью изучены его технологические особенности и сопряжённые с его использованием риски. Будучи легче воздуха, природный газ в случае возможной аварийной утечки поднимается вверх и быстро рассеивается. Бензин в аналогичной ситуации движется вниз, что значительно увеличивает риск возгорания и опасность взрыва в результате аварии или утечки. Для воспламенения природного газа необходима температура 600 °С, в то время как бензин или пропан легко зажечь при 450 °С. Это обусловлено тем, что природный газ является менее пожароопасным топливом, чем бензин и пропан. Топливные баки СПГ и баллонные сборки КПП герметичны и не имеют воздуха внутри. Поэтому нет риска самовоспламенения. Напротив в баках с бензином всегда есть горючая смесь – пары бензина и воздух, поскольку они соединены с атмосферой.

Баллоны для сжатого природного газа изготавливаются по очень строгим нормам безопасности и могут выдержать испытания давлением значительно более высоким, чем рабочее давление заправки. При рабочем давлении 20 МПа их расчётным и пробным давлением является 30 МПа, а разрушение не наступает вплоть до давления 46 МПа. Благодаря своей надёжности, структуре, форме и расположению в автомобиле баллоны гораздо менее опасны, чем бензобаки, в случае столкновения.



Заправка СПГ в топливный бак

Например, они в обязательном порядке проходят испытания огнём и отстрелом с помощью огнестрельного оружия.

## Эксплуатация двигателя

Природный газ для транспортных средств имеет более высокое, чем у бензина, октановое число (125 против 95), что обеспечивает горение без самовоспламенения даже в двигателях высокого сжатия и высокой эффективности. Смесь природного газа и воздуха идеально воспламеняется, хорошо и устойчиво горит при любой температуре окружающей среды. Моторное масло, которое смазывает двигатель, меньше загрязняется, если используется природный газ, и интервалы между заменами масла в два раза длиннее. На стенках цилиндров не образуются отложения, так как они не омываются жидкостью. Свечи зажигания также содержатся в чистоте. Продукты горения природного газа неагрессивны. Они не повреждают металлы. Поэтому срок службы как самих цилиндров двигателя, так и всей выхлопной системы, включая глушитель, существенно больше, чем на бензиновых двигателях.

Газовое топливо исключает детонацию в цилиндрах во время периодов быстрого ускорения и, следовательно, уменьшает износ всех металлических поверхностей двигателя. Двигатель обеспечивает большую гибкость производительности как во время ускорений, так и при низкой скорости движения.

Конвертируемые транспортные средства могут перейти от использования газомоторного топлива к бензину простым нажатием кнопки или поворотом ручки во время вождения. Двухтопливная система газ/бензин удваивает доступный пробег автомобиля.

Двигатели на природном газе работают в любой местности, даже в горах. Например, грузовик с 37 тоннами нагрузки совершил в мае 2008 года специальный пробег на природном газе в перуанских Андах на высоте 4800 метров. Газомоторный транспорт работает в любых климатических условиях. Он всегда будет готов к использованию, поскольку топливо не замерзает даже при экстремально низких температурах. Природный газ сжижается только при  $-165^{\circ}\text{C}$ .

## Перспективы развития газомоторной отрасли

Общеизвестно, что Россия является самой крупной газодобывающей державой. Разведанные ресурсы природного газа составляют четверть от всех мировых запасов. Однако в части применения природного газа на транспорте и в части его транспортировки в сжиженном виде есть серьёзное отставание от других промышленно развитых стран. Данное обстоятельство в сочетании со всеми перечисленными выше экономическими, политическими, экологическими и техническими преимуществами природного газа однозначно указывает на то, что нас ждёт в ближайшее время бурное развитие этой отрасли. Рост инфраструктуры применения природного газа на транспорте и его транспортировки как в сжиженном, так и в сжатом виде будут превышать рост промышленности в других отраслях как минимум на порядок.

В связи с этим отрасли потребуется в большом количестве следующее оборудование:

- ожижители природного газа;
- ёмкости для хранения сжиженного природного газа;
- средства транспортировки сжатого и сжиженного природного газа;
- атмосферные и электрические испарители и подогреватели природного газа среднего и высокого давления;
- центробежные и поршневые криогенные насосы для сжиженного природного газа;
- газобаллонные системы и топливные баки для сжиженного природного газа;
- криогенные запорные, регулирующие и предохранительные клапаны;
- бесшовные нержавеющие трубы в бухтах для прокладки газовых магистралей в пределах автомобильных газонаполнительных станций;
- устройства заправки автомобилей компримированным или сжиженным природным газом и многое другое.

В связи с интенсивным ростом отрасли в работу будут вовлекаться всё новые и новые организации и специалисты, которым будет необходимо данное оборудование, а также помощь по его подбору, установке и использованию. Специализация компании «Мониторинг Вентиль и Фитинг» (MV&F) тесно связана с большинством инженерных устройств и компонентов, применяемых в отрасли КПП/СПГ. Высокотехнологичное оборудование компании работает во многих странах мира, его отличает высокое качество и надёжность.

### Требования по подготовке статей к опубликованию в журнале

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

1. Все научно-технические статьи должны иметь на русском и английском языках следующие составляющие:

**заголовок, ФИО авторов полностью, их должности, ученая степень (при наличии), контакты (e-mail, телефоны), аннотации, ключевые слова.**

2. Все английские тексты следует набирать только строчными буквами, сохраняя начальные прописные буквы в именах собственных.

3. Авторы остальных публикаций (информационных, рекламных и т.д.) представляют на русском и английском языках: **заголовок, ФИО авторов полностью, их должности, адрес и контакты (e-mail, телефоны).**

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

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

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

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

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

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

# Анализ необходимых мер поддержки судовладельцев для стимулирования перехода на двухтопливные двигатели

**К.К. Строкова,**

советник по правовым вопросам Национальной газомоторной ассоциации

В статье представлен анализ необходимых мер поддержки судовладельцев в Российской Федерации для стимулирования их к использованию сжиженного природного газа в качестве судового топлива. Приводится краткий обзор международных документов, регламентирующих деятельность морского судоходства в области воздействия на окружающую среду.

---

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:**

судно, СПГ, рынок, ИМО.

**Б**енджамин Франклин однажды сказал: «Вы можете медлить, но время медлить не станет». Это, безусловно, верно для международной судоходной отрасли, поскольку впереди её ждёт множество более строгих экологических норм, которые должны привести к растущим издержкам и эксплуатационным проблемам.

С момента принятия в 1992 году Рамочной Конвенции об изменении климата Организация Объединённых Наций постепенно построила глобальное реагирование на изменение климата и его последствия. Последний многосторонний ответ был разработан Парижским Соглашением 2015 года. Выбросы парниковых газов от международных перевозок также рассматриваются на глобальном уровне, хотя они и не были охвачены до 1997 года, когда был утверждён Киотский протокол к Конвенции<sup>1</sup>. В протоколе указывается, что стороны, работая в сотрудничестве с Международной морской организацией (International Maritime Organization – ИМО), должны добиваться ограничения или сокращения выбросов парниковых газов от морского бункерного топлива. Работа продолжается в ИМО уже много лет и на протяжении 2020 года была также направлена на установление целевых показателей сокращения выбросов в соответствии с Парижским соглашением.

Двигатели, работающие на сжиженном природном газе (СПГ), использовались для выработки электроэнергии на суше в течение многих лет, но их использование на морском транспорте является относительно новым явлением. Казалось бы, из трёх вариантов соблюдения правил конвенции MARPOL по ограничению использования высокосернистых топлив с 2020 года СПГ является идеальным вариантом, поскольку не содержит серы, и, следовательно, двигатели, работающие на нём, не могут производить SO<sub>x</sub>.

---

1. Россия подписала Киотский протокол в марте 1999 года, но тогда не ратифицировала. 22 октября 2004 года Госдума РФ одобрила проект ФЗ «О ратификации Киотского протокола к Рамочной конвенции ООН об изменении климата», 27 октября – Совет Федерации, 5 ноября закон подписал Президент РФ.



Сторонники СПГ прогнозируют возрастание его роли в качестве топлива будущего на протяжении большей части XXI века, но отсутствие международных стандартов и правил является препятствием для более масштабного освоения.

Несмотря на его привлекательность по экологическим соображениям СПГ показал достаточно медленное вхождение на рынок в сравнении с тем, как прогнозировали его сторонники. Это объясняется многими причинами, в том числе отсутствием бункеровочной инфраструктуры, более высокими капитальными затратами, более низкой удельной энергоёмкостью СПГ по сравнению с нефтяным топливом и отсутствием международных норм в отношении использования газа в качестве топлива. Вопросы высоких капитальных затрат и низкой удельной энергоёмкости двигателей ожидаемо решаются путём внедрения новейших технологических разработок. Основным недостатком – отсутствие международных норм касательно использования газа – был решён ИМО<sup>2</sup>, которая в 2015 году приняла Международный кодекс безопасности судов, использующих газы и другое топливо с низкой температурой воспламенения (Кодекс IGF, *англ.* International Code of Safety for Ships Using Gases or Other Low-Flashpoint Fuels – IGF Code), а также поправки, делающие кодекс обязательным в соответствии с SOLAS с 1 января 2017 года.



Танкер Gagarin Prospect на СПГ

Поскольку газ и другие виды топлива с низкой температурой воспламенения имеют свои собственные проблемы безопасности, Кодекс IGF решил эту проблему, что привело к существенному росту проектов строительства газовых и двухтопливных судов. Поправки к главе II-1 SOLAS в результате применения Кодекса IGF включают изменения в части F «Альтернативный дизайн и схемы». Они предоставляют методологию для альтернативного проектирования и организации механизмов, электрических установок и систем хранения и распределения топлива с низкой температурой воспламенения, в то

2. Международная морская организация (ИМО) является международной межправительственной организацией ООН. Деятельность ИМО направлена на повышение безопасности морского судоходства и предотвращение загрязнения судами окружающей среды, в первую очередь, морской.

время как новая часть G «Суда, использующие топливо с низкой температурой воспламенения» добавляет новые правила для судов, построенных после 1 января 2017 года.

Кодекс содержит обязательные положения по организации, установке, контролю и мониторингу машин, оборудования и систем, использующих топливо с низкой температурой воспламенения с акцентом на СПГ, и с намерением расширить положения, поскольку новые альтернативные виды топлива получают всё большее признание. В нём с использованием целевого подхода рассматриваются все области, требующие особого внимания при использовании топлива с низкой температурой воспламенения, причём цели и функциональные требования, определённые для каждого раздела, составляют основу для проектирования, постройки и эксплуатации судов, использующих этот вид топлива.

Российский морской регистр судоходства также внёс поправки в Правила классификации и постройки морских судов, а именно ввёл в действие главу 9 раздела XVII «Требования к судам, оборудованным для использования газа или топлива с низкой температурой вспышки в качестве топлива». Данный документ дал следующее определение двухтопливного двигателя – это тепловой двигатель, конструкция которого позволяет использовать в качестве топлива газовое и жидкое топливо, одновременно или по отдельности. Также были установлены дополнительные требования к двухтопливным двигателям внутреннего сгорания: в случае перекрытия подачи газового топлива двигатели должны обеспечивать постоянную работу только на жидком топливе без прекращения функционирования; должна быть предусмотрена автоматическая система переключения с газового топлива на жидкое и наоборот с минимальными отклонениями мощности двигателя от среднего значения; в случае обычной остановки или аварийного отключения подача газового топлива должна быть перекрыта не позднее отключения источника зажигания, не должно быть возможным отключение источника зажигания без предшествующего или одновременного перекрытия подачи газа к каждому из цилиндров или к двигателю в целом.

В 2018 году оператор бункерного бизнеса «Газпромнефть Марин Бункер» (член Национальной газомоторной ассоциации с 2019 года) инициировал внедрение в практику российского судоходства стандарта ISO 20519:2017 «Суда и морские технологии. Требования к бункеровке судов, использующих сжиженный природный газ в качестве топлива». Стандарт был зарегистрирован в Федеральном информационном фонде стандартов для применения на территории Российской Федерации (ФГУП «Стандартинформ», № 1175/ISO от 29.08.2018 г.). Стандарт содержит требования к судам-бункеровщикам, бункеруемым судам, а также к самой процедуре технологической операции. Были установлены специальные требования к судам: принимающие суда должны отвечать положениям Стандарта и быть одобрены государством флага, признанной организацией или классификационным обществом в соответствии с действующими унифицированными толкованиями и требованиями, опубликованными IACS, с указанием соответствия, как минимум, действующим требованиям Кодекса IGF, самого Стандарта и действующим требованиям государства флага.

Следует упомянуть о существующем рынке двухтопливных двигателей. Так, Wärtsilä (Финляндия) разрабатывала двухтопливные двигатели для берегового использования с конца 1980-х годов и была первым производителем, который применил эту идею на морском транспорте. В 2001 году компания Wärtsilä заключила контракт на серию танкеров СПГ, построенных во Франции, и два морских судна.

В течение многих лет Wärtsilä была основным сторонником двухтопливных двигателей, хотя Rolls-Royce (Великобритания) также продвигал газовые версии своих



Крупнейший в мире бункеровщик СПГ  
Kaigos проводит бункеровку в порту Росток (Германия)

дизельных двигателей Bergen Diesel. Независимо от производителя, все двигатели были среднескоростными вариантами, но теперь появились двухтопливные низкооборотные двухтактные двигатели.

Компания MAN Energy Solutions (Германия) также стала участником рынка двухтопливных двигателей. Вместо того, чтобы концентрироваться на четырёхтактных двигателях, она стала бесспорным лидером в двухтактных двигателях, продав несколько двигателей на носителях СПГ и для генераторных установок на судах.

В любой стандартной топливной системе нефтяное топливо хранится в бункерных баках на борту судна, аналогично хранится на борту и сжиженный природный газ. Появление двухтопливных двигателей повысило возможность преобразования некоторых существующих дизельных двигателей в новую конфигурацию. Модульный вариант двигателей предоставляет более новым версиям преимущества, хотя модернизация более старых версий также не создаёт больших трудностей в настоящее время. Управление мультитопливным двигателем является более сложным, что вызывает необходимость преобразования датчиков двигателя и приборов, которые позволяют автоматически переключаться с одного вида топлива на другое без перерыва в работе двигателя. Следует отметить, что преобразование двигателя в двухтопливный и использование СПГ приводят к потере мощности почти на 14 %, но это не влияет в целом на работу судна, которому редко требуется вся начальная установленная мощность.

Отмечая опыт успешного развития отрасли в других странах, прогнозировать схожие темпы развития на территории РФ возможно только при внедрении сопоставимых мер государственной поддержки.

Так, переход на двухтопливную систему безусловным образом характеризуется значительными издержками и эксплуатационными проблемами для судовладельцев, в связи с чем необходимы следующие меры стимулирования:

1. Субсидирование капитальных вложений в переоборудование судов на двухтопливную систему на российских верфях. Размер субсидирования должен быть определён в диапазоне 50-70 %, но при этом можно предложить ограничение максимальной суммы в рублях. Подобная мера государственной поддержки позволит судовладельцам без значительного ущерба диверсифицировать флот и при этом даст толчок развитию судостроительной отрасли, включая новое производство двигателей на российских заводах.

2. Важным условием для всех судовладельцев, эксплуатирующих флот на СПГ, будут выступать меры по снижению операционных расходов. Прежде всего, речь идёт о необходимости введения льготных ставок по портовым сборам для судов, бункеруемых СПГ и судов-бункеровщиков СПГ в размере 50 % от существующих ставок. Кроме того, необходимо поднять вопрос о комплексном пакете налоговых льгот, к которым, в частности, относятся:

- возможность не учитывать доходы при расчёте налога на прибыль судовладельцев, эксплуатирующих суда на СПГ, от эксплуатации и (или) реализации судов, зарегистрированных в Российском открытом реестре судов;
- освобождение от транспортного налога и налога на имущество до 2030 года;
- освобождение от уплаты страховых взносов на обязательное пенсионное, медицинское и социальное страхование с вознаграждений за труд, выплаченных членам экипажей судов, зарегистрированных в Российском открытом реестре судов, использующих СПГ.

3. Для развития переоборудования судов на двухтопливные двигатели необходима также разработка мер поддержки судостроительных верфей, производителей и поставщиков оборудования. В условиях полного импорта комплектующих, существующих на сегодняшний момент, важной мерой поддержки выступила бы возможность предоставления освобождения от уплаты импортной пошлины для поставщиков оборудования, используемого для перевода судов на СПГ. Кроме того, необходимо ставить вопрос о разработке отраслевой программы по строительству судов с газотопливными двигателями.

Данные меры не являются исчерпывающими, но они могут придать импульс развитию СПГ в качестве бункерного топлива, которое продолжает набирать обороты. Это своеобразное признание того, что СПГ является единственным безопасным доступным и конкурентоспособным топливом.

По ряду оценок СПГ обеспечит ценовую выгоду для потребителя до 30 % по сравнению с нефтяными топливами. Таким образом, использование СПГ для обеспечения перевозок и реализации крупных промышленных проектов позволит воплотить сценарий устойчивого развития благодаря снижению топливных затрат и, следовательно, повышению долгосрочной конкурентоспособности проектов, а также благодаря обеспечению экологической безопасности.

Автопроизводитель Генри Форд однажды сказал: «Собраться вместе – это начало. Держаться вместе – это прогресс. Работать вместе – это успех». Морская отрасль должна выработать совместные решения, основанные на безопасных технологиях. И уже сейчас это осуществимо и достижимо, поскольку мы делаем следующий шаг на пути к нулевому уровню выбросов в атмосферу.

# Некоторые возможности применения в дизелях альтернативных топлив в качестве добавок к основному дизельному

**Н.Н. Патрахальцев,**  
д.т.н., профессор РУДН

Использование альтернативных топлив в дизелях в настоящее время целесообразно прежде всего в качестве добавок к основному дизельному с целью создания смесевых топлив с улучшенными физико-химическими и моторными свойствами. Такие решения позволяют не только экономить традиционные нефтяные топлива, но и повышать эффективность, снижать токсичность выбросов дизелей, решать ряд специфических задач, связанных с условиями эксплуатации двигателей, накапливать опыт применения альтернативных топлив для постепенного перехода на них, особенно на те, что производятся из возобновляемых сырьевых источников. Для достижения этих целей могут применяться сравнительно простые модернизационные конструктивные решения.

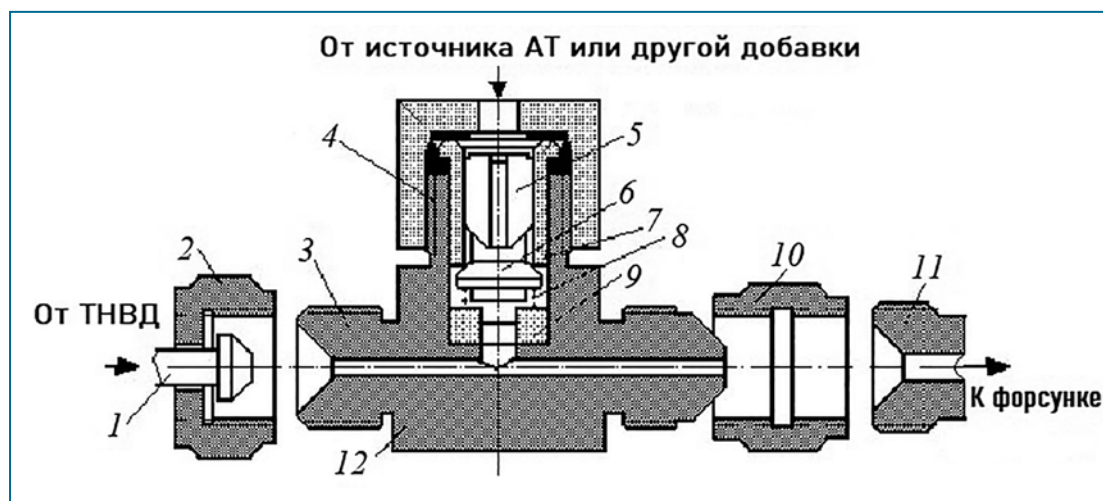
---

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:**

дизель, альтернативные топлива, смесевые топлива, дизельные системы топливоподачи.

**П**олный (в глобальном масштабе) перевод дизелей на питание тем или иным альтернативным топливом (АТ) в ближайшие годы представляется весьма маловероятным ввиду практической неограниченности на обозримую перспективу мировых нефтяных запасов как сырья. В то же время в региональных условиях возможна целесообразность использования нетрадиционных, в том числе возобновляемых, источников сырья и соответствующих АТ. Ещё более вероятным представляется применение в ближайшее время смесевых топлив, включающих традиционное дизельное топливо (ДТ) и то или иное АТ, двухтопливных двигателей, использующих ДТ и АТ одновременно или поочередно в зависимости от условий эксплуатации и т.д. Уже сегодня на практике в ряде случаев возможно применение таких решений [1]. При этом возможно как создание и применение специальных систем питания и организации рабочих процессов, так и использование модернизационных, то есть сравнительно простых решений, с целью применения АТ на существующих дизелях с их системами питания и организации рабочих процессов. Дополнительным фактором для использования таких решений является необходимость постепенного накопления опыта практического применения различных АТ.

Следует отметить, что в настоящее время применение АТ может быть целесообразным даже не столько с целью замещения традиционных нефтяных, сколько для повышения экологических качеств двигателей, улучшения их динамических, пусковых качеств, продления моторесурса, роста эффективности работы в нетрадиционных климатических условиях, например, высокогорья [2, 3].



**Рис. 1.** Схема узла клапана регулирования начального давления (РНД) и его включения между ТНВД и форсункой:  
 1 – трубопровод линии высокого давления от ТНВД; 2 – накидная гайка; 3 – штуцер узла с клапаном РНД; 4 – корпус размещения клапана РНД; 5 – клапан РНД с направляющим хвостовиком и запорным конусом; 6 – запорный конус; 7 – седло; 8 – возвратная пружина; 9 – ограничитель хода клапана 5 РНД; 10 – стяжная гайка; 11 – штуцер форсунки; 12 – узел с клапаном 5 РНД

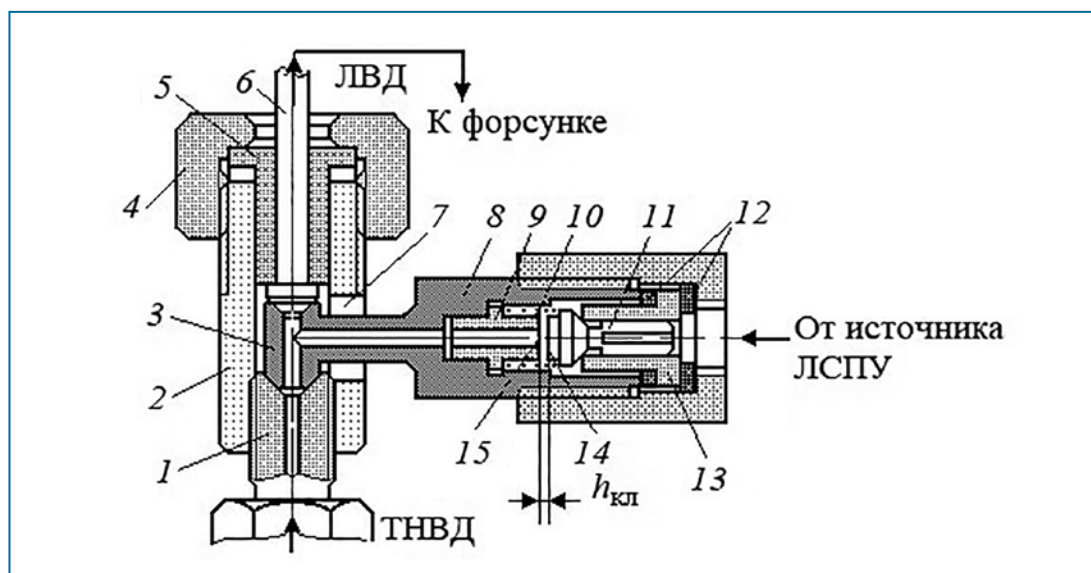
Дизели транспортного назначения в настоящее время часто имеют системы питания с электронным регулированием (типа CR), хотя продолжается широкое использование дизелей с топливными системами разделённого типа и традиционным регулированием. Именно на них возможны простейшие модернизационные решения для использования АТ как добавок к основному топливу [4].

Пример конструктивной модернизации дизельной системы топливоподачи разделённого типа для ввода АТ в линию высокого давления (ЛВД) и создания смесового топлива (ДТ+АТ) перед впрыскиванием его в цилиндр показан на рис. 1 [5]. Модернизация топливной аппаратуры заключается во включении в ЛВД узла с клапаном регулирования начального давления (РНД). Иначе он назван клапаном импульсной подачи добавки (Грехов Л.В. и др.).

Клапан является нормально закрытым, открывается внутрь объёма ЛВД и управляется волнами давления/разрежения, сформированными в ЛВД при отсечке подачи топлива и посадке нагнетательного клапана ТНВД в седло. Таким образом, клапан РНД функционирует в периоды между очередными впрыскиваниями топлива.

В качестве АТ могут применяться различные жидкие горючие вещества – сжиженные пропан-бутановые топлива (СПБТ), легковоспламеняющиеся жидкости (ЛВЖ), спирты, лёгкие синтетические парафиновые углеводороды (ЛСПУ), аммиак, различные масла и т.д. В особых случаях могут применяться добавки воды или растворы (например, водный раствор антидымной присадки – хлорида бария) для создания водо- или растворотопливных эмульсий перед их впрыскиванием в цилиндр штатной форсункой. Добавка в ДТ таким путём газов – кислорода, водорода, воздуха, природного газа (ПГ) и т.д. – практически также возможна, однако в чрезвычайно малых дозах и со сравнительно малой конечной эффективностью [6].

Узел с клапаном РНД является быстроразъёмным. Подвод к нему АТ или другой добавки/присадки осуществляется гибкими, удобными для размещения трубопроводами. Выполнение клапана РНД может быть реализовано с одинарным (как в схеме рис. 1) или двойным запирающим (рис. 2) [7].



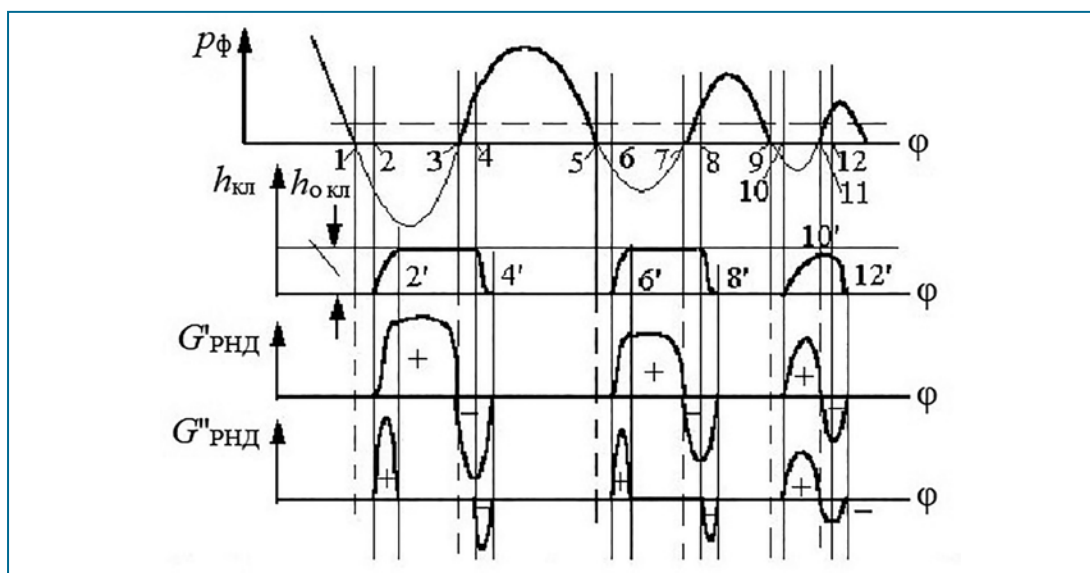
**Рис. 2.** Вариант конструктивной схемы клапана регулирования начального давления с двойным запиранием на примере добавки к дизельному топливу ЛСПУ: 1 – штуцер ТНВД; 2 – стакан держателя узла; 3 – ниппель держателя; 4 – накидная гайка; 5 – сухарики; 6 – трубопровод ЛВД; 7 – окно стакана; 8 – корпус узла клапана РНД; 9 – ограничитель хода клапана РНД; 10 – возвратная пружина; 11 – клапан РНД с запорным конусом (запирание по седлу 13); 12 – прокладка; 13 – седло клапана; 14 – плоскость второго запорного элемента; 15 – плоское седло

В обоих случаях принцип выполнения подсоединения узла с клапаном РНД к ЛВД неважен, однако в зависимости от назначения и применяемой добавки присоединение может быть целесообразным либо у штуцера ТНВД, либо вблизи форсунки – у её штуцера.

Сущность выполнения и работы клапана РНД с одинарным или двойным запиранием заключается в следующем. Клапан с одинарным запиранием (см. рис. 1) замыкает объём ЛВД благодаря запорному конусу 6 при посадке клапана 5 в седло 7. Клапан с двойным запиранием имеет дополнительное плоское седло 15, на которое клапан 11 РНД садится плоскостью 14 при полном его открытии (полное смещение влево по чертежу). Таким образом, клапан с одинарным запиранием позволяет ввод добавки в ЛВД при его полном или частичном открытии, а клапан с двойным запиранием допускает ввод добавки только при движении клапана в сторону открытия или в сторону закрытия (то есть только при частичном открытии клапана РНД). Осциллограммы рис. 3. иллюстрируют работу клапанов РНД с одинарным или двойным запиранием.

На рис. 3 сделаны следующие обозначения: 1-2, 5-6, 9-10 – периоды задержки начала движения клапана РНД; 2', 6', 10' – моменты полного открытия клапана; 3-4, 7-8, 11-12 – периоды запаздывания закрытия клапана РНД; 4', 8', 12' – моменты полного закрытия клапана.

Разница между прямым расходом и обратным выбросом определяет производительность клапана  $G_{\text{РНД}}$ . Производительность клапана РНД зависит от ряда параметров самого клапанного узла и, конечно, от волнового процесса в ЛВД, определяющего (при прочих равных условиях) перепад давления на клапане РНД. Очевидно, что этот перепад зависит от давления в источнике добавки. Так, добавки СПБТ или, например, диметилэфира (ДМЭ) всегда находятся под повышенным давлением, превышающим давление насыщенных паров добавки в данных условиях. В других случаях добавка



**Рис. 3.** Схемы осциллограмм функционирования клапана РНД под действием волн разрежения/давления в линии высокого давления:  $p_{\phi}$  – давление топлива в ЛВД вблизи штуцера форсунки, где установлен узел с клапаном РНД;  $h_{\text{кл}}$ ,  $h_{o\text{ кл}}$  – текущий и полный подъём (открытие, смещение) клапана РНД;  $G'_{\text{РНД}}$  – расход добавки через клапан РНД одинарного запираения;  $G''_{\text{РНД}}$  – расход через клапан РНД двойного запираения, знак «+» обозначает подачу добавки в ЛВД, знак «-» обозначает обратный выброс добавки из ЛВД;  $\phi$  – угол поворота коленчатого вала двигателя

может искусственно находиться под повышенным давлением от некоторого постороннего источника (например, баллон со сжатым воздухом, инертным газом, сжатым природным газом и проч.).

Важным конструктивным признаком узла с клапаном РНД является величина максимально допустимого хода клапана ( $h_{o\text{ кл}}$ ) (см. рис. 2), которая, например, для автотракторных двигателей обычно не превышает 0,4...0,5 мм. Чрезмерно большой ход клапана РНД приводит к тому, что время закрытия клапана при подходе к нему волны давления возрастает, и соответственно увеличивается обратный выброс добавки с основным топливом. Следует заметить, что явление ограниченного обратного выброса не обязательно является отрицательным, так как оно может улучшать процессы смешивания несмешиваемых компонентов – добавки и основного топлива. Очевидно, что для каждого конкретного типа топливной аппаратуры требуется оптимизировать массу клапана РНД и жёсткость возвратной пружины (если она нужна).

Целесообразность выполнения клапана РНД с одинарным или двойным запираением определяется характеристиками изменения остаточного давления в ЛВД данной топливной системы, а также видом и характеристиками применяемого АТ или присадки.

Изменять (при необходимости) величины остаточных давлений в ЛВД штатной топливной аппаратуры можно разными путями: например, изменением объёма разгрузочного пояска нагнетательного клапана ТНВД, изменением давления начала подъёма иглы форсунки. Для повышения эффективности работы двигателя целесообразно регулировать состав смесового топлива, то есть изменять количество добавки. Этого можно достигнуть изменением давления подачи добавки. Может быть также применён метод регулирования работы двигателя, например, отключением/включением цилиндров (регулирование двигателя изменением активного рабочего объёма). Этот метод представляет интерес в связи со следующими положениями.



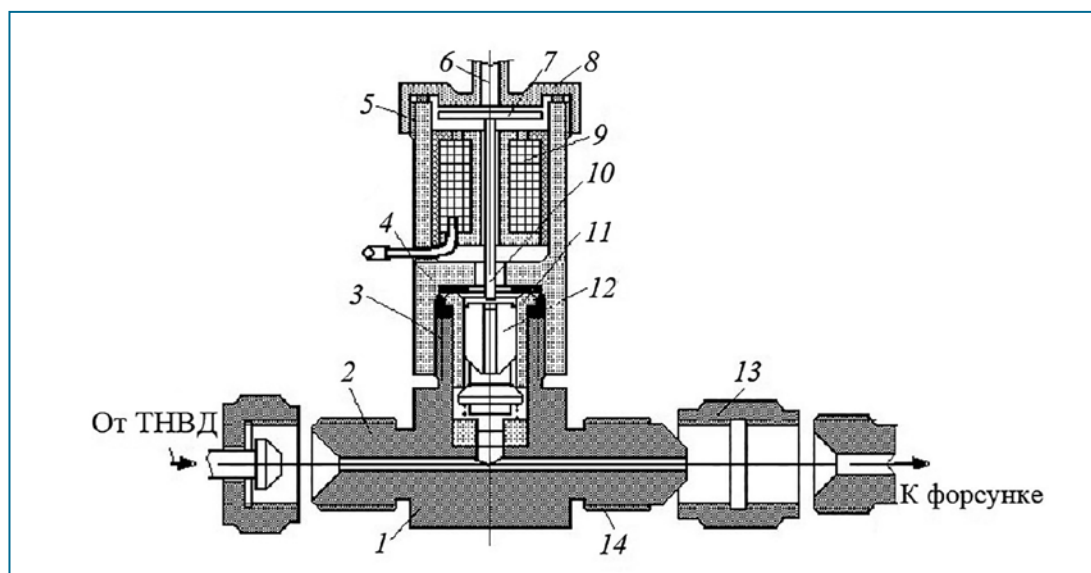


Рис. 4. Конструктивная схема системы отключения цилиндров и циклов:

1 – корпус узла; 2 – штуцер соединения с трубопроводом высокого давления от ТНВД; 3 – штуцер связи с корпусом отключателя; 4 – уплотнение; 5 – корпус отключателя; 6 – подвод добавки АТ или слив ДТ при отключении цилиндра; 7 – магнитная пластина; 8 – крышка; 9 – электромагнитная катушка; 10 – шток удержания клапана РНД в открытом состоянии; 11 – седло; 12 – клапан РНД с направляющим хвостовиком; 13 – стяжная гайка связи со штуцером форсунки; 14 – штуцер связи с форсункой

Разные АТ имеют разные физико-химические и моторные свойства. В зависимости от этих свойств может быть желательным уменьшение доли АТ в смесевом топливе или отключение ввода АТ, например, на режимах малых нагрузок и холостых ходов (ХХ). Такое ограничение желательно при использовании спирта. Для увеличения доли замещения ДТ спиртом целесообразно на малых нагрузках и ХХ отключить часть цилиндров, тем самым повысив нагрузку на оставшиеся в работе (активные) цилиндры и повысив их тепловое состояние, что и позволяет сохранить высокую долю замещения ДТ спиртом.

Конструктивная схема узла с клапаном РНД и отключателем цилиндра приведена на рис. 4 [8-10].

При отсутствии напряжения на электромагнитной катушке 9 клапан 12 РНД изложенным выше порядком обеспечивает ввод добавки (АТ) в ЛВД вблизи форсунки, где и создается смесь АТ и ДТ, которая в очередном цикле топливоподачи впрыскивается насосом в цилиндр двигателя. В случае подачи напряжения  $U$  на катушку 9 клапан 12 РНД, открывшийся после первого цикла топливоподачи, удерживается магнитными силами в открытом состоянии ( $h_{кл\ РНД}^*$ ). И при очередном нагнетательном ходе плунжера ТНВД подаваемое им топливо сливается через открытый клапан 12 в линию низкого давления и в бак. Игла форсунки не поднимается ( $h_{и}^* = 0$ ), топливо в цилиндр не впрыскивается, цилиндр выключается из работы. Новое его включение произойдет после снятия напряжения с электромагнитной катушки 9.

На рис. 5 показаны осциллограммы сигналов подачи и снятия электропитания на катушку привода клапана системы отключения цилиндра (а) и сигнала от датчика частоты вращения (б) при отключении и включении цилиндров.

Осциллограммы процессов отключения/включения цилиндра свидетельствуют о высоком быстродействии выключателя, что позволяет применить его для управления отключением/включением отдельных циклов работы двигателя. Такое поцикловое

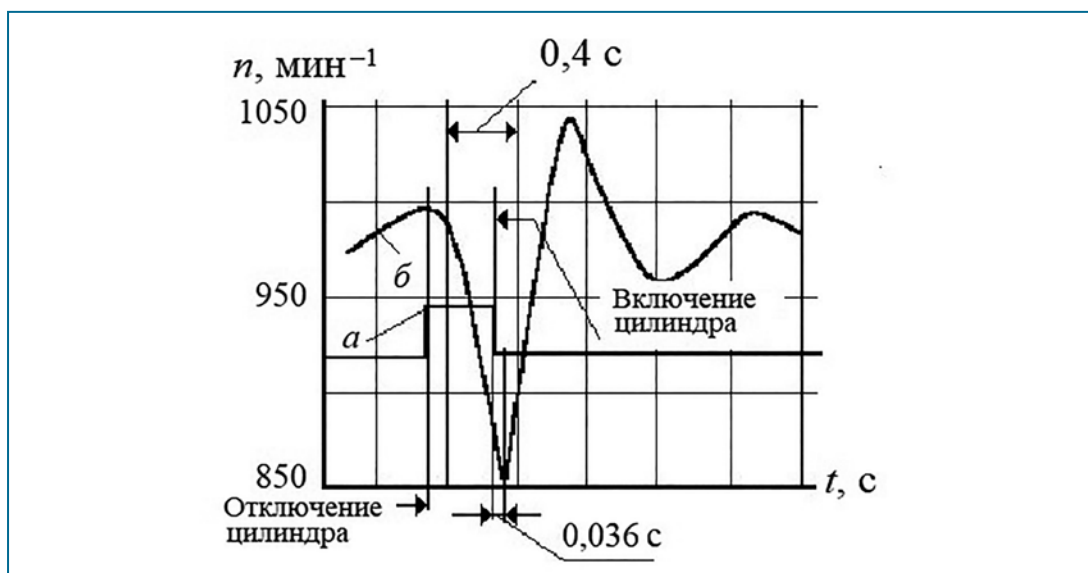


Рис. 5. Осциллограммы сигнала подачи и снятия электропитания на катушку привода клапана системы отключения цилиндра (а) и сигнала от датчика частоты вращения (б) при отключении и включении цилиндров

управление может быть целесообразно для поддержания повышенного теплового состояния всех цилиндров или для реализации метода на двигателе с газотурбинным наддувом. У последних длительное выключение цилиндра может быть нецелесообразно из-за опасности накапливания в нём смазочного масла, которое затем при включении цилиндра в работу выбрасывается в газотурбонагнетатель и может привести даже к его разному.

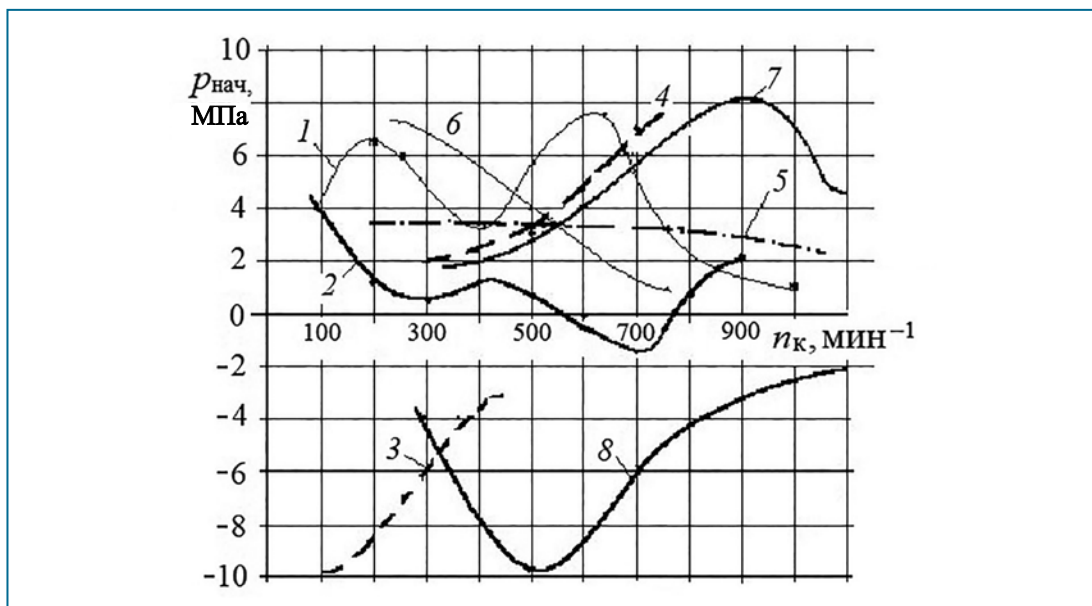
Каждому типу топливной аппаратуры и дизеля свойственна определённая характеристика изменения остаточного давления ( $p_{ост}$ ) и равного ему на установившихся режимах начального давления ( $p_{нач}$ ) (рис. 6) [8].

Установка клапана РНД на различные двигатели обеспечивает разные характеристики расхода добавки. Поэтому в конечном итоге желательно их экспериментальное определение. А ещё предпочтительнее экспериментальное определение расхода добавок с помощью системы с РНД.

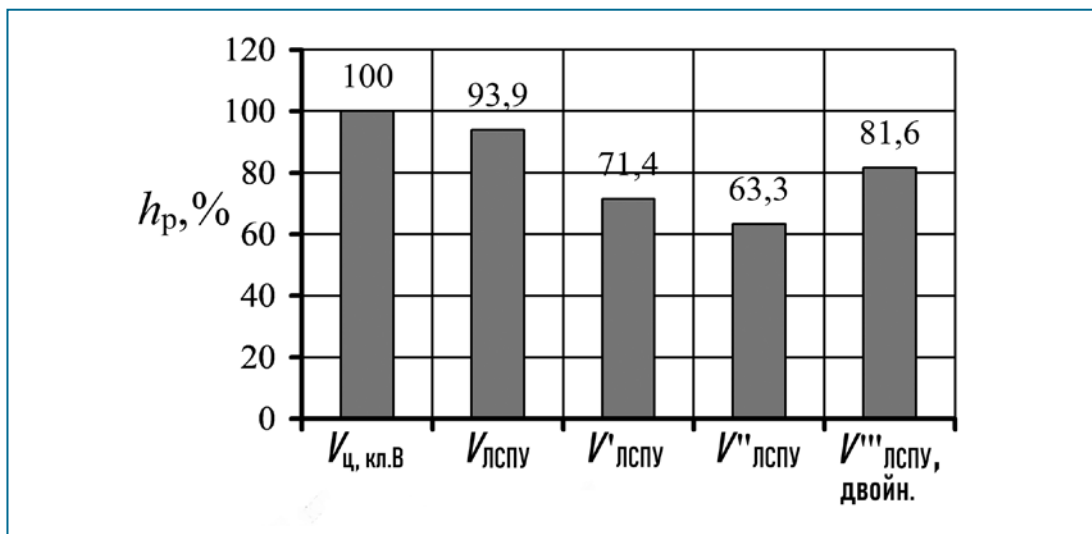
Анализ результатов экспериментального исследования дизеля 4С11/12,5 [3, 11] показывает, что работа клапана РНД в топливной системе без специального регулирования расхода СПБТ приводит к чрезмерному возрастанию его доли (до 45 %) на режимах малых нагрузок. Такой эффект может быть нежелателен с точки зрения повышения жёсткости сгорания при достаточно высоком тепловом состоянии двигателя. Или же это может привести к появлению пропусков воспламенения в цилиндрах при пониженном тепловом состоянии камеры сгорания из-за слишком низких цетановых чисел смешанного топлива, а также из-за чрезмерного отвода тепла в факеле при испарении СПБТ. Именно поэтому целесообразно теми или иными средствами регулировать расход добавок, подводя его к рациональным уровням для решения поставленной задачи.

Все исследованные варианты приводили к уменьшению цикловой номинальной подачи дизельного топлива из-за повышенной разгружающей способности нагнетательного клапана, что потребовало изменения положений рейки ТНВД ( $h_p$ ), как это показано на рис. 7. За 100% принято положение, при котором система с клапаном В обеспечивала номинальную подачу.

Таким образом, использование подкачивающего насоса для АТ и установка РНД у штуцера ТНВД увеличивают расход добавки, а соответственно положение рейки должно быть уменьшено.



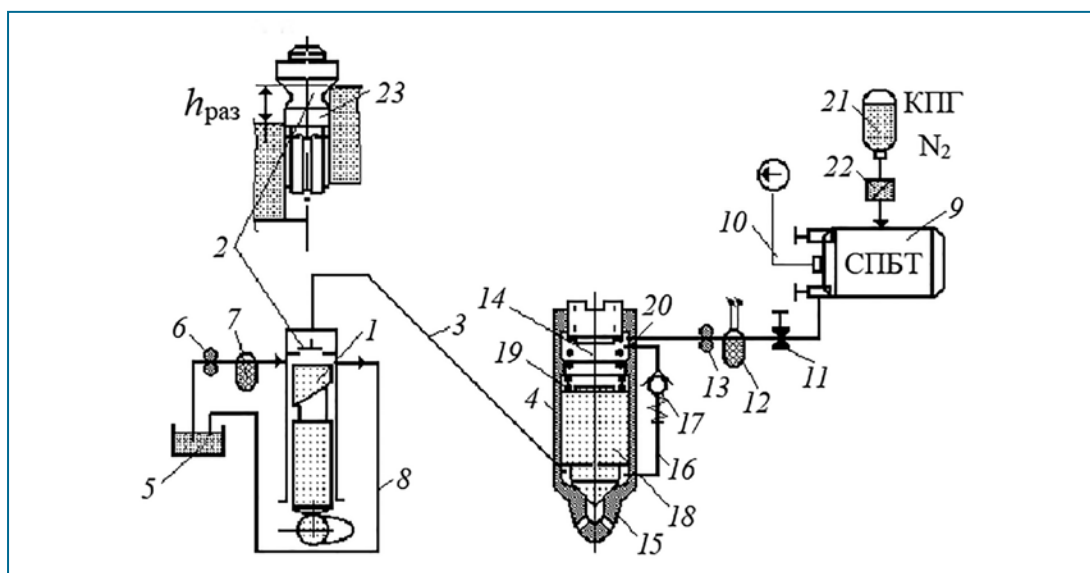
**Рис. 6.** Характеристики изменения начального ( $p_{нач}$ ) и равного ему остаточного ( $p_{ост}$ ) давлений в установившихся режимах, работа по внешним скоростным характеристикам: 1 – насос ЛСТН 9-10; 2 – насос УТН-5 и форсунка ФД-22; 3 – ТН-1 (4ЧН18/22); 4 – Д-6 (6ЧН15/18); 5 – ТН-8 с клапаном двойного действия; 6 – ЛС4ТН 8,5-10; 7 – УТН-5 (Д-240, 4Ч11/12,5; на стенде с дизелем); 8 – ЯМЗ-238 (8ЧН13/14)



**Рис. 7.** Положения рейки ТНВД ( $h_p, \%$ ), при которых обеспечивается номинальная цикловая подача ( $V_{ц}=70 \text{ мм}^3$ ) в разных вариантах выполнения системы:

$V_{ц, кл.В}$  – подача только ДТ;  $V_{лспу}$  – подача ЛСПУ и клапан РНД у форсунки;  $V'_{лспу}$  – подача ЛСПУ, но клапан у насоса;  $V''_{лспу}$  – подача ЛСПУ и клапан РНД у форсунки, но с подкачкой ЛСПУ мембранным насосом;  $V'''_{лспу, двойн.}$  – то же, но клапан РНД с двойным запираением

Перспективной схемой организации газодизельного процесса может стать схема (рис. 8) [7], где ввод СПБТ происходит через наддыгльное пространство форсунки, которая выполнена с замкнутым наддыгльным пространством, что исключает утечки газа в атмосферу. Подача СПБТ регулируется с помощью источника давления нейтрального или горючего газа.



**Рис. 8.** Перспективная схема организации газодизельного процесса с внутренним смесеобразованием:  
 1 – ТНВД; 2 – нагнетательный клапан; 3 – линия высокого давления; 4 – корпус форсунки;  
 5 – бак с дизельным топливом; 6 – подкачивающий насос; 7 – фильтр; 8 – линия отсечки;  
 9 – баллон со сжиженным газом (СПБГ); 10 – манометр; 11 – вентиль; 12 – фильтр газа;  
 13 – подкачивающий насос; 14 – надыгольная полость форсунки; 15 – форсунка закрытого типа; 16 – линия связи надыгольной и подыгольной полостей; 17 – клапан РНД;  
 18 – игла форсунки; 19 – пружина иглы форсунки; 20 – канал связи надыгольного пространства с клапаном РНД; 21 – источник повышенного давления нейтрального газа ( $N_2$ ) или компримированного природного газа (КПГ); 22 – редуктор – регулятор давления;  
 23 – разгрузочный поясок нагнетательного клапана ( $h_{раз}$  – ход разгрузки)

Применение метода физико-химического регулирования (ФХР) принципиально возможно без изменения принципов автоматического регулирования дизеля с помощью штатного регулятора. Однако если на двигателе реализована система с подачей АТ в ЛВД, то при этом одновременно с изменением состава топлива происходит изменение (регулирование) начального давления благодаря аккумулярованию в ЛВД дополнительного количества топлива. В этом случае функциональная схема системы регулирования может быть представлена в несколько изменённом виде в сравнении с классическим представлением. В «классике» функциональная схема представляет собой три взаимосвязанных блока: регулятор частоты вращения, топливная аппаратура и объект регулирования – дизель. При реализации метода ФХР добавкой АТ в ЛВД топливную аппаратуру целесообразно представить в виде отдельных элементов: топливный насос высокого давления с нагнетательным клапаном, форсунка закрытого типа и линия высокого давления (рис. 9) [11]. Дополнительным элементом схемы является источник добавки. Возможно также реализовать управление расходом добавки по сигналу от регулятора. Простейшими элементами управления подачей АТ могут быть элементы включения/выключения ввода добавки. Возможно также применение нескольких видов добавок с соответствующими органами включения/выключения того или иного вида добавки.

Таким образом, показаны возможности сравнительно простой модернизации дизельной топливной аппаратуры разделённого типа, а также некоторые варианты применения такой аппаратуры для использования различных видов альтернативных топлив как добавок к штатному дизельному топливу.

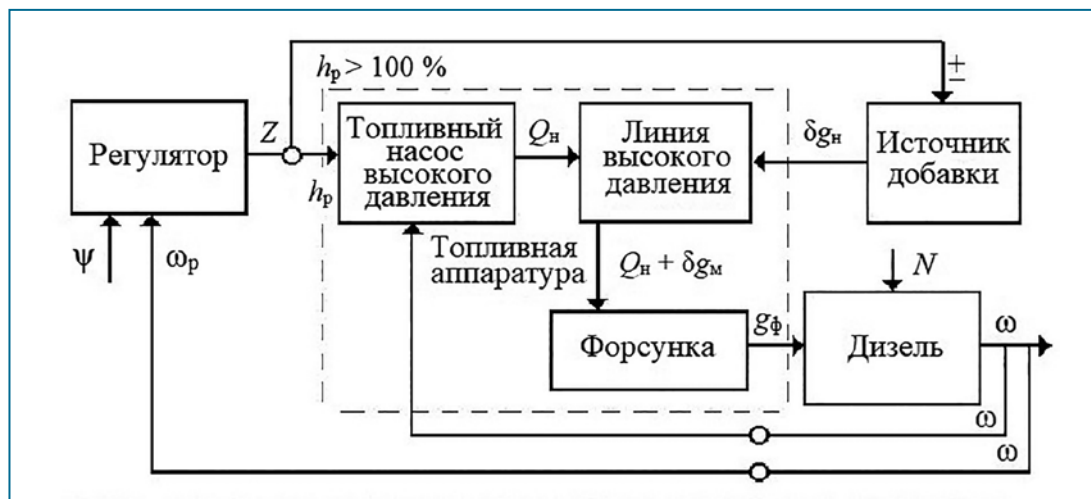


Рис. 9. Функциональная схема системы автоматического регулирования дизеля с подачей добавки (например, СПБТ) в линию высокого давления:

$\omega$  – угловая скорость вращения коленчатого вала;  $\omega_p$  – угловая скорость вала регулятора;  
 $\psi$  – задание органа управления двигателем;  $Z$  – положение муфты регулятора;  
 $h_p$  – положение рейки ТНВД;  $Q_n$  – подача топлива насосом высокого давления;  
 $\delta g_m$  – приращение подачи топлива, благодаря изменению начального давления в ЛВД;  
 $N$  – положение органа управления нагрузкой;  $g_\phi$  – подача смешанного топлива форсункой;  
 $\delta g_n$  – увеличение производительности насоса благодаря зарядке ЛВД от источника добавки

## ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Патрахальцев Н.Н. Аппаратура для газодизельного процесса // Автомобильная промышленность. – 1987. – № 7. – С. 16-17.
2. Патрахальцев Н.Н., Гусakov С.В., Медведев Е.В. Возможности организации газодизельного процесса с внутренним смешением на базе дизеля 8Ч13/14 // Двигателестроение. – 2004. – № 3. – С. 10-12.
3. Патрахальцев Н.Н., Камышников О.В., Хосе Гальдос Гомез. Особенности работы дизеля в условиях высокогорья на сжиженном нефтяном газе // Двигателестроение. – 2006. – № 3. – С. 36-39.
4. Патрахальцев Н.Н. Дизельные системы топливоподачи с регулированием начального давления // Двигателестроение. – 1980. – № 10. – С. 33-38.
5. Возможности форсирования дизеля изменением физико-химических свойств топлива / Н.Н. Патрахальцев, А.К. Синецких, А.А. Бадеев, А.Ф. Архипов // Строительные и дорожные машины. – 2005. – № 3. – С. 33-35.
6. Возможности совершенствования эколого-экономических показателей дизелей насыщением топлива воздухом или другим газом / Зауави М.Д., Альвеар Санчес Л.В., Эммиль М.В., Патрахальцев Н.Н. // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2010. – № 12. – С. 6-10.
7. Патрахальцев Н.Н., Казначевский В.Е., Медведев Е.В. Возможности продления моторесурса изношенного дизеля добавкой сжиженного нефтяного газа к основному топливу // АГЗК+АТ. – 2010. – № 3 (61). – С. 22-25.
8. Регулирование дизеля методом отключения – включения цилиндров или циклов / Н.Н. Патрахальцев, С.В. Страшнов, Б.А. Корнев, И.С. Мельник // Двигателестроение. – 2011. – № 3 (245). – С. 7-11.
9. Система регулирования дизеля изменением его рабочего объема / Н.Н. Патрахальцев, А.А. Савастенко, И.А. Петруня, Т.С. Аношина // Вестник РУДН. Машиностроение и энергомашиностроение. – 2014. – № 4. – С. 65-71.
10. Патрахальцев Н.Н., Ластра Л.А., Тапиа К.М. Безразборное раскоксовывание форсунок дизелей // Автомобильная промышленность. – 2006. – № 1. – С. 27-30.
11. Патрахальцев Н.Н., Казначевский В.Л., Силян Е.Л. Регулирование дизеля изменением физико-химических свойств топлива // Известия вузов. Машиностроение. – 2005. – № 5. – С. 43-49.

# Способ управления двигателем внутреннего сгорания

**В.А. Шишков,**

начальник технического отдела ООО «Палладио» (Тольятти), д.т.н.

Цель работы: повышение точности дозирования топлива в двигатель внутреннего сгорания (ДВС) при различных температурах и давлениях на входе в исполнительные органы дозирования в рабочем диапазоне параметров окружающей среды. Способ относится к системам управления ДВС, работающим на основном и альтернативном топливе. В этом способе дополнительными датчиками измеряют давление и температуру топлива на входе в исполнительные органы дозирования топлива. Проверяют исправность дополнительных датчиков сравнением их показаний со значениями, записанными в микропроцессорном контроллере. Если дополнительные датчики исправны, то по их показаниям в микропроцессорном контроллере вычисляют корректирующий коэффициент, с помощью которого изменяют сигнал управления для увеличения или уменьшения расхода топлива через исполнительные органы дозирования топлива. При отказе дополнительного датчика температуры топлива на входе в исполнительные органы его дозирования альтернативные показания температуры топлива получают вычитанием от температуры двигателя внутреннего сгорания разности температуры, записанной в микропроцессорном контроллере при проведении калибровочных испытаний, между температурой ДВС и температурой топлива перед исполнительными органами его дозирования при исправном дополнительном датчике температуры топлива в диапазоне эксплуатационных температур окружающей среды. Альтернативные показания температуры на входе в исполнительные органы дозирования топлива используют в микропроцессорном контроллере для вычисления корректирующего коэффициента, с помощью которого изменяют сигнал управления для увеличения или уменьшения расхода топлива через исполнительные органы его дозирования. Снижается токсичность отработавших газов и повышается ресурс работы каталитического нейтрализатора, при этом производится диагностика состояния датчиков температуры и давления топлива в процессе эксплуатации и принятия решения об использовании их показаний.

## **КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:**

способ управления двигателем внутреннего сгорания, датчики давления и температуры топлива, исполнительные органы дозирования топлива, микропроцессорный контроллер.

Известен способ управления двигателем внутреннего сгорания, работающим на основном и альтернативном топливах [1], включающий измерение параметров режимов работы ДВС с помощью множества датчиков, передачу сигналов датчиков в микропроцессорный контроллер (управляющий модуль), формирование на их основе сигналов управления расходом топлива, селективное (выбор) сигналов управления в зависимости от вида топлива, подачу сигналов управления на исполнительный орган дозирования соответствующего топлива в двигатель. Формирование сигналов

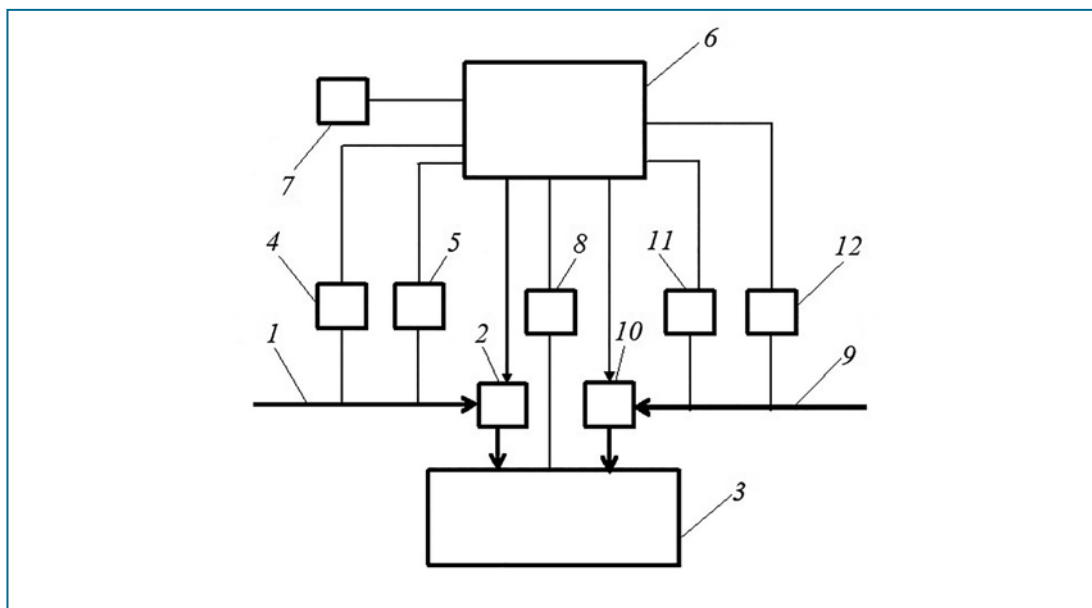


Рис. 1. Схема системы управления двигателем внутреннего сгорания

управления расходом основного и альтернативного топлив производят в одном микропроцессорном контроллере автономно для каждого вида топлива, при этом сигналы управления селективируют и подают либо на основной, либо на альтернативный исполнительный орган в зависимости от сигнала вида топлива. Недостаток данного способа в том, что расход топлива зависит не только от параметров режимов двигателя, но и от параметров самого топлива, а именно – от температуры и давления на входе в исполнительный орган дозирования. Из-за этого снижается точность дозирования топлива, что в свою очередь приводит к повышению токсичности отработавших газов ДВС и снижению ресурса работы каталитического нейтрализатора.

Цель работы: повышение точности дозирования топлива в двигатель внутреннего сгорания при различных температурах и давлениях на входе в исполнительные органы дозирования в рабочем диапазоне параметров окружающей среды. Способ относится к системам управления ДВС.

На рис. 1 представлена схема системы управления ДВС [2].

Система для осуществления способа, показанного на рис. 1, содержит трубопровод подачи жидкого топлива 1, соединённый через исполнительные органы дозирования 2 жидкого топлива (в качестве исполнительных органов дозирования 2 жидкого топлива применяют электромагнитные или пьезоэлектрические форсунки, число которых равно числу цилиндров в поршневом ДВС 3) с двигателем внутреннего сгорания 3. На входе в исполнительные органы дозирования 2 жидкого топлива установлены датчик давления 4 и датчик температуры 5, которые соединены с микропроцессорным контроллером 6. Исполнительные органы дозирования 2 жидкого топлива соединены с микропроцессорным контроллером 6 для их управления при работе ДВС 3. Датчик температуры 7 окружающей среды и датчик температуры 8 двигателя внутреннего сгорания 3 соединены с микропроцессорным контроллером 6. Система также содержит трубопровод подачи газового топлива 9, соединённый через исполнительные органы дозирования 10 газового топлива (в качестве исполнительных органов дозирования 10 газового топлива применяют электромагнитные форсунки, число которых равно числу цилиндров в поршневом ДВС 3) с двигателем внутреннего сгорания 3. На входе в исполнительные органы дозирования 10 газового топлива установлены датчик давления 11 и датчик температуры

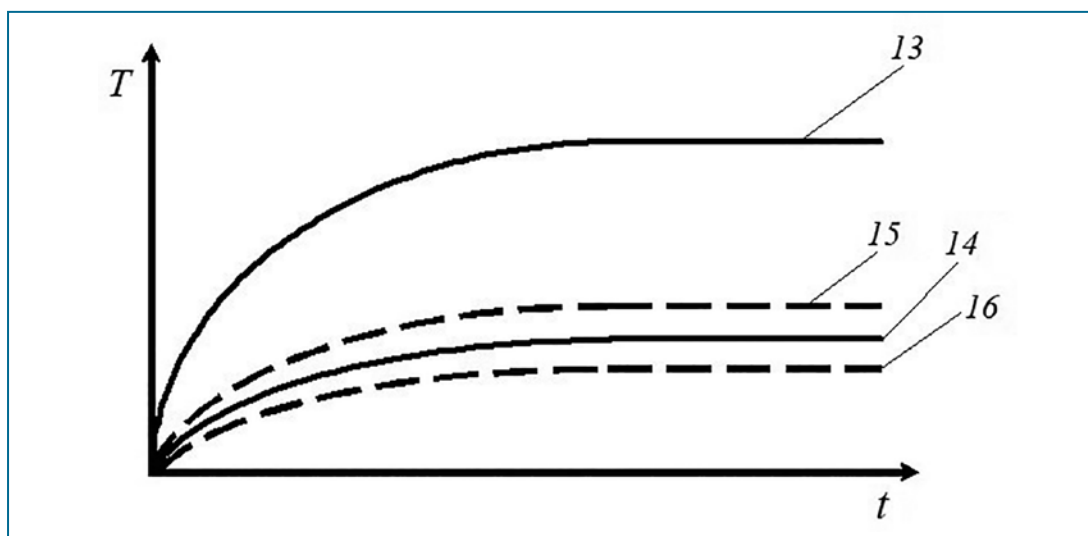


Рис. 2. Схема изменения температуры  $T$  двигателя внутреннего сгорания и температуры топлива  $t$  на входе в исполнительные органы дозирования после его пуска, во время прогрева и на последующих режимах работы

12, которые соединены с микропроцессорным контроллером 6. Исполнительные органы дозирования 10 газового топлива соединены с микропроцессорным контроллером 6 для их управления при работе ДВС 3.

На рис. 2 представлена схема изменения температуры двигателя внутреннего сгорания и температуры топлива на входе в исполнительные органы дозирования после пуска ДВС, во время прогрева и на последующих режимах работы.

Измеряют температуру двигателя внутреннего сгорания 3 (см. рис. 1) и температуры топлива на входе в исполнительные органы дозирования жидкого 2 и газового 10 топлива по времени при прогреве и на последующих режимах. После пуска ДВС 3 начинается его прогрев, и его температура  $T_{\text{ДВС}}$ , которую измеряют с помощью датчика 8, изменяется по линии 13 (см. рис. 2). При этом также прогревается топливо до температуры  $T_t$  на входе в исполнительные органы дозирования жидкого 2 (см. рис. 1) и газового 10 топлив соответственно отдельно и по-разному по линии 14 (см. рис. 2) при стандартных атмосферных условиях, то есть при температуре окружающей среды  $T_n = 293$  К. Прогрев жидкого и газового топлива обусловлен тем, что топливные рампы, на которых установлены исполнительные органы дозирования (форсунки), смонтированы на двигателе в моторном отсеке в непосредственной близости от места впрыска топлива. При температурах  $T_n > 293$  К прогрев топлива осуществляется быстрее по линии 15 (см. рис. 2), но по-разному для жидкого и газового топлив. При температурах  $T_n < 293$  К прогрев топлива осуществляется медленнее по линии 16 (рис. 2), но по-разному для жидкого и газового топлив.

Изменение разности температуры  $\Delta T_t = T_{\text{ДВС}} - T_t + \Delta T_{\text{нт}}$  двигателя внутреннего сгорания 3 и температуры топлива на входе в исполнительные органы дозирования 2 и 10 (см. рис. 1) отдельно для жидкого и газового топлив измерено при проведении калибровочных испытаний ДВС в составе транспортного средства и записано в энергонезависимой памяти микропроцессорного контроллера 6, где  $T_t$  – температура жидкого или газового топлива при исправных датчиках температуры 5 и 12,  $\Delta T_{\text{нт}}$  – поправка на температуру окружающей среды соответственно отдельно для жидкого и газового топлив. При отличии температуры  $T_n$  окружающей среды от стандартной  $T_n = 293$  К при проведении калибровочных испытаний ДВС измеряют и записывают в энергонезависимую память микропроцессорного контроллера 6 отдельно для жидкого и газового топлив поправку



$$\Delta T_{нт} = A (T_n - 293) = f(T_n),$$

где коэффициент  $A = f(T_n)$  определён при проведении калибровочных испытаний двигателя внутреннего сгорания 3 отдельно для жидкого и для газового топлив.

Дополнительными датчиками 4 и 5 (см. рис. 1) измеряют соответственно давление и температуру жидкого топлива на входе в исполнительные органы дозирования 2 жидкого топлива, дополнительными датчиками 11 и 12 измеряют соответственно давление и температуру газового топлива на входе в исполнительные органы дозирования 10 газового топлива. Проверяют исправность дополнительных датчиков 4, 5, 11 и 12 (см. рис. 1) сравнением их показаний со значениями, записанными в микропроцессорном контроллере 6. Если дополнительные датчики 4, 5, 11 и 12 исправны, то по их показаниям в микропроцессорном контроллере 6 вычисляют первый и второй корректирующие коэффициенты соответственно для жидкого и газового топлив. С помощью первого и второго корректирующих коэффициентов соответственно для жидкого и газового топлив изменяют сигналы управления для увеличения или уменьшения расхода топлива через исполнительные органы дозирования 2 жидкого или 10 газового топлив.

Массовый расход жидкого и газового топлива зависит от их плотности. Первый корректирующий коэффициент учитывает изменение плотности жидкого топлива в зависимости от температуры и давления на входе в исполнительные органы дозирования 2 жидкого топлива. Для газового топлива второй корректирующий коэффициент учитывает, во-первых, изменение плотности газового топлива в зависимости от температуры и давления на входе в исполнительные органы 10 его дозирования, во-вторых – изменение скорости звука от температуры и давления на входе в исполнительные органы дозирования 10 при критическом или сверхкритическом перепаде давления газа в них, так как в этом случае скорость истечения газа равна скорости звука. Например, для газообразного метана критический перепад равен:  $\pi_{кр} = p_{вх}/p_{вых} = 1,79$ , где  $p_{вх}$  – давление на входе в исполнительные органы дозирования 10,  $p_{вых}$  – давление на выходе из них.

При отказах дополнительного датчика 5 температуры жидкого топлива на входе в исполнительные органы его дозирования 2 или дополнительного датчика 12 температуры газового топлива на входе в исполнительные органы его дозирования 10 альтернативные показания температуры  $T_{ат}$  жидкого или газового топлива получают следующим образом. Вычитают из температуры  $T_{двс}$  двигателя 3 разности температуры  $\Delta T_t$  отдельно для жидкого и для газового топлив, записанной в микропроцессорном контроллере 6 при проведении калибровочных испытаний, между температурой  $T_{двс}$  двигателя 3 и температурой  $T_t$ , измеренной датчиком 5 жидкого топлива, или температурой, измеренной датчиком 12 газового топлива, соответственно перед исполнительными органами дозирования 2 жидкого и 10 газового топлива при исправных дополнительных датчиках 5 температуры жидкого топлива и 12 газового топлива в диапазоне эксплуатационных температур  $T_n$  окружающей среды, то есть с прибавлением поправки  $\Delta T_{нт}$  на отличие температуры окружающей среды от стандартного значения  $T_n = 293$  К. При этом отдельно для жидкого и газового топлив альтернативные показания температуры  $T_{ат}$  на входе в исполнительные органы дозирования 2 жидкого и 10 газового топлив используют в микропроцессорном контроллере 6 для вычисления соответственно первого для жидкого топлива и второго для газового топлива корректирующих коэффициентов, с помощью которых изменяют сигналы управления для увеличения или уменьшения расхода жидкого или газового топлив через исполнительные органы дозирования.

Альтернативные показания температуры отдельно для жидкого и для газового топлив вычисляют по формуле

$$T_{ат} = T_{двс} - \Delta T_t + \Delta T_{нт},$$

где  $T_{двс}$  – измеренная датчиком 8 температура двигателя;  $\Delta T_t = f(T_{двс})$  – разность между

температурой, измеренной датчиком 8, двигателя 3 и температурой, измеренной датчиком 5 жидкого или 12 газового топлива перед исполнительными органами дозирования 2 жидкого или 10 газового топлива, в зависимости от температуры, измеренной датчиком 8 двигателя 3, при исправных датчиках температуры 5 жидкого или 12 газового топлива, записанная в энергонезависимой памяти в микропроцессорном контроллере 6 при проведении калибровочных испытаний при стандартной температуре атмосферы  $T_n = 293$  К;  $\Delta T_{нт} = A (T_n - 293) = f(T_n)$  – поправка на температуру окружающей среды относительно показателя  $T_n = 293$  К для стандартной атмосферы определена при проведении калибровочных испытаний отдельно для жидкого и газового топлив и записана в энергонезависимой памяти в микропроцессорном контроллере 6. Коэффициент  $A = f(T_n)$  определён при проведении калибровочных испытаний ДВС 3 отдельно для жидкого и газового топлив.

При отказе датчика 5 или 12 температуры соответственно жидкого или газового топлив на входе в исполнительные органы дозирования 2 жидкого или 10 газового топлив формируют диагностический код ошибки, записывают его в энергонезависимую память микропроцессорного контроллера 6 и включают лампу неисправности на панели приборов транспортного средства.

При отказе датчика 8 температуры ДВС 3 в микропроцессорном контроллере 6 выключают вычисление первого для жидкого и второго для газового топлив корректирующих коэффициентов по температуре и давлению топлива на входе в исполнительные органы дозирования 2 жидкого и 10 газового топлива.

При отказе датчика 7 температуры окружающей среды в микропроцессорном контроллере 6 выключают вычисление первого для жидкого и второго для газового топлив корректирующих коэффициентов по температуре и давлению топлива на входе в исполнительные органы дозирования 2 жидкого и 10 газового топлива.

При отказах датчиков давления жидкого топлива 4 или газового топлива 11 на входе в исполнительные органы дозирования 2 жидкого или 10 газового топлива в микропроцессорном контроллере 6 соответственно выключают вычисление первого для жидкого или второго для газового топлив корректирующих коэффициентов по температуре и давлению на входе в исполнительные органы их дозирования 2 или 10.

При отказе датчиков 4 или 11 давления соответственно жидкого или газового топлива на входе соответственно в исполнительные органы дозирования 2 жидкого или 10 газового топлива формируют диагностический код ошибки, записывают его в энергонезависимую память микропроцессорного контроллера 6 и включают лампу неисправности на панели приборов транспортного средства.

Таким образом, усовершенствован способ повышения точности дозирования топлива в двигатель внутреннего сгорания в зависимости от температуры и давления топлива на входе в исполнительные органы дозирования с учётом температуры окружающей среды путём коррекции их управления, что в свою очередь снижает токсичность отработавших газов и повышает ресурс работы каталитического нейтрализатора. При этом производится диагностика состояния датчиков температуры и давления топлива в процессе эксплуатации и принятия решения об использовании их показаний.

## ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Патент RU № 2136933, опубл. 10.09.1999.
2. Способ управления двигателем внутреннего сгорания: патент на изобретение № 2708491: СПК F02 D 19/00, F02 D 19/06, F02D 19/0607, F02D 19/0626, F02D 19/0628, F02 D 41/00, F02 D 41/0025, F02 D 41/24, F02 D 41/26 (2019.08) / Шишков В.А.; заявитель Шишков В.А. – № 2019104674/06 (008839); заявл. 19.02.2019, опубл. 09.12.2019. Бюл. № 34. – 10 с.

# Расчётные исследования способов подачи воды в цилиндры дизельного двигателя

**В.А. Марков,**

профессор, заведующий кафедрой «Поршневые двигатели» МГТУ им. Н.Э. Баумана, д.т.н.,

**А.С. Кулешов,**

профессор кафедры

«Поршневые двигатели» МГТУ им. Н.Э. Баумана, д.т.н.,

**А.Д. Денисов,**

старший преподаватель кафедры «Технологии машиностроения и систем

автоматизированного проектирования» (ТМС и САПР) Коломенского института (филиал)

ФГБОУ ВО «Московский политехнический университет»,

**А.Н. Зенкин,**

студент кафедры «Поршневые двигатели» МГТУ им. Н.Э. Баумана,

**А.С. Землемерова,**

студентка кафедры «Поршневые двигатели» МГТУ им. Н.Э. Баумана

Рассмотрены возможности использования подачи воды в цилиндры для снижения выбросов токсичных компонентов отработавших газов дизелей. Проведены расчётные исследования дизеля типа Д-245 (4 ЧН 11/12,5) производства Минского моторного завода с различными способами подачи воды во впускную систему дизеля и непосредственно в цилиндр. Проведён сравнительный анализ показателей топливной экономичности и токсичности отработавших газов при подаче воды во впускной коллектор до и после компрессора, во впускной патрубке вблизи впускного клапана и при непосредственном впрыскивании воды в цилиндр дизеля.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:**

двигатель внутреннего сгорания, дизельный двигатель, вода, водотопливная эмульсия, топливная экономичность, показатели токсичности отработавших газов.

## Введение

Наиболее актуальными проблемами современного двигателестроения является обеспечение наилучших показателей топливной экономичности и токсичности отработавших газов (ОГ) двигателей внутреннего сгорания (ДВС) [1-3]. Необходимость экономного расходования топлива обусловлена продолжающимся истощением мировых запасов нефти, повышением цен на нефтепродукты и ростом выбросов в атмосферу основного парникового газа – диоксида углерода (углекислый газ)  $\text{CO}_2$  [4, 5].

Другой важнейший показатель работы ДВС – токсичность их ОГ. В настоящее время снижению токсичности ОГ двигателей внутреннего сгорания придаётся большое значение в связи с расширением сферы их применения и увеличением общего количества автомобилей, автобусов и других машин с силовыми установками с ДВС.

Двигатели внутреннего сгорания играют значительную роль в загрязнении атмосферы. В крупных городах они являются одним из главных источников токсичных веществ, выбрасываемых в окружающую среду [6-8]. Так, доля автомобильного транспорта в выбросе вредных веществ в атмосферу города Москвы составляет 85 % [2, 9].

В настоящее время в США, Японии, странах Западной Европы действуют ограничения, устанавливающие максимально допустимые выбросы с ОГ ДВС следующих токсичных веществ – оксидов азота  $NO_x$ , монооксида углерода CO, лёгких несгоревших углеводородов CH, твёрдых частиц [2, 9]. Причём нормы на токсичность ОГ ДВС непрерывно ужесточаются. Нормирование токсичности ОГ проводится с учётом особенностей транспортных средств (их грузоподъёмности) и характерных условий эксплуатации.

В табл. 1 представлены нормы на токсичность ОГ дизелей серийных автомобилей полной массой более 3,5 тонн. На рис. 1 показана динамика ужесточения норм предельно допустимых выбросов вредных веществ в странах Европейского союза и РФ. По приведённым данным можно отметить, что за последние 10 лет требования к выбросам оксидов азота  $NO_x$  и твёрдых частиц ужесточились в 2-2,5 раза. Поэтому, наряду с улучшением экономических показателей дизелей, снижение токсичности их ОГ становится серьёзной проблемой.

Таблица 1

Нормы на выбросы токсичных компонентов с ОГ дизельных двигателей транспортных средств полной массой более 3,5 тонны

Нормы	Нормы выбросов токсичных компонентов ОГ, г/(кВт·ч)			
	Оксиды азота $NO_x$	Монооксид углерода CO	Лёгкие углеводороды CH	Твёрдые частицы (для двигателей мощностью более 85 кВт)
Евро-0 (EU0)	14,4	11,2	2,4	–
Евро-1 (EU1)	8,0	4,5	1,1	0,36
Евро-2 (EU2)	7,0	4,0	1,1	0,15
Евро-3 (EU3)	5,0	2,1	0,66	0,10
Евро-4 (EU4)	3,5	1,5	0,46	0,02
Евро-5 (EU5)	2,0	1,5	0,46	0,02

Ужесточение нормативов, ограничивающих вредное воздействие ДВС на окружающую среду, заставляет производителей двигателей искать пути решения проблемы снижения токсичности ОГ. В качестве эффективного средства воздействия на рабочий процесс дизеля с целью снижения выброса наиболее значимых токсичных компонентов ОГ является подача воды в цилиндры двигателя [2, 9-12]. Это обусловлено тем, что эмиссия оксидов азота сильно зависит от максимальных температур в камере сгорания (КС) двигателя. При подаче воды, обладающей большой теплотой парообразования ( $Q_{п} = 2260$  кДж/кг при  $t = 100$  °С; у нефтяных дизельных топлив –  $Q_{п} = 220...300$  кДж/кг), в цилиндры дизеля и её последующем испарении значительно уменьшаются температуры сгорания топлива, что приводит к уменьшению эмиссии оксидов азота [10]. Следует также отметить, что вода даже в незначительных количествах действует как катализатор, ускоряющий многие химические реакции. При повышенной температуре она может окисляться атомарным кислородом по реакции  $H_2O + O \leftrightarrow H_2O_2$ , взаимодействует с монооксидом углерода CO и углеводородами CH (в частности, по реакциям  $H_2O + CO \leftrightarrow CO_2 + H_2$  и  $H_2O + CH_4 \leftrightarrow CO + 3H_2$ ) и образует химически активные радикалы, участвующие в окислении топлива [10].

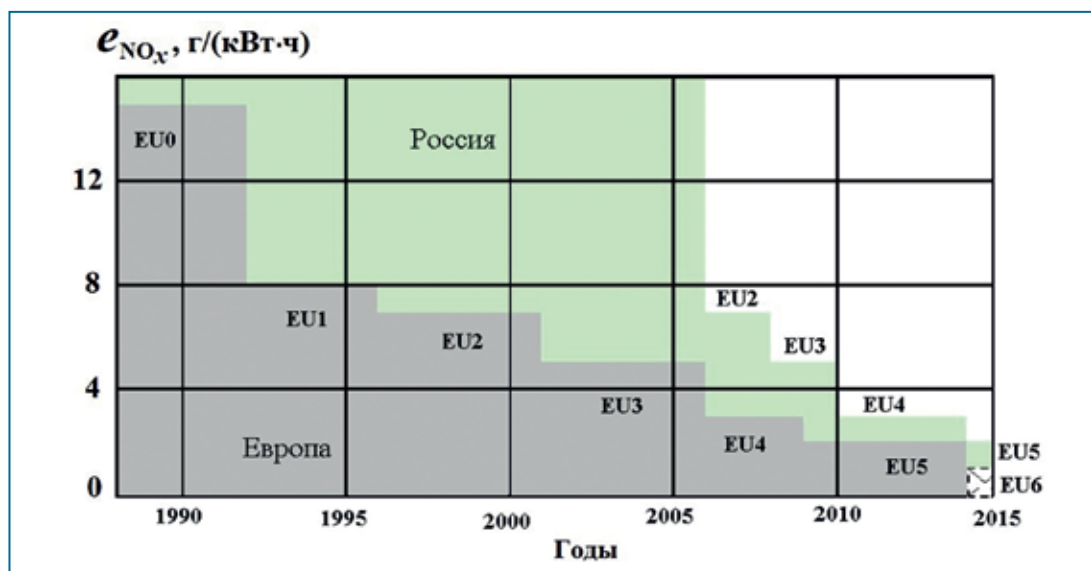


Рис. 1. Динамика изменения предельно допустимых выбросов оксидов азота с оработавшими газами транспортных дизелей в странах Европейского союза и РФ

В связи с этим определённый интерес представляют исследования дизелей, в которых реализованы различные способы подачи воды в цилиндры.

## Способы подачи воды в цилиндры дизеля

Разработано несколько способов подачи воды в цилиндры двигателя (рис. 2) [10]. Возможна подача воды в жидкой фазе или в виде пара. Подача водяного пара в камеру сгорания может быть реализована в силовых установках, имеющих контур утилизации теплоты (теплоты ОГ, охлаждающей воды, смазывающего масла), отводимой от двигателя и используемой для подогрева воды и её испарения. Для быстроходных двигателей транспортных средств предпочтительным является подача воды в КС в жидкой фазе. Наибольшее практическое применение нашли следующие способы: применение в качестве топлива водотопливных эмульсий (ВТЭ), впрыскивание воды непосредственно в цилиндры, подача воды на всасывание (во впускной трубопровод).

Проведены многочисленные исследования дизелей, работающих на водотопливных эмульсиях различного состава [9-20]. Они подтвердили эффективность использования эмульгированных топлив в дизелях. Но применение ВТЭ в качестве моторного топлива имеет и ряд недостатков. К ним можно отнести необходимость использования оборудования для эмульгирования топлив, нестабильность ВТЭ, проблемы износа деталей цилиндропоршневой группы и топливной аппаратуры. Следует также отметить проблемы фильтрации ВТЭ и необходимость перехода на работу на дизельном топливе (ДТ) при пуске и остановке дизеля [21, 22]. Часть этих недостатков устраняется при подаче воды во впускную систему дизеля или непосредственно в его цилиндры.

Улучшение ряда показателей дизелей может быть достигнуто при подаче воды во впускную систему двигателя. При введении во впускной коллектор воды или водяного пара они играют роль не только инертного разбавителя рабочей смеси, но и принимают участие в реакции горения, приводя к увеличению выделившейся теплоты и снижению эмиссии токсичных компонентов ОГ.

Возможна подача воды во впускную систему как в паровой фазе, так и в жидкой. Во втором случае вода подаётся либо через специальный карбюратор, установленный

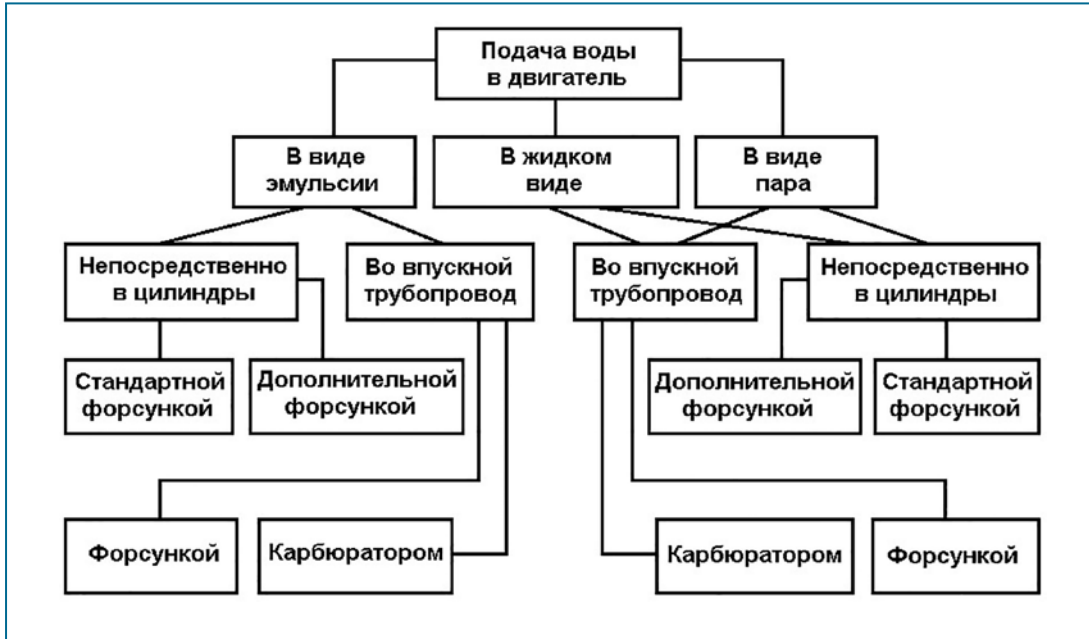


Рис. 2. Способы подачи воды в цилиндры двигателя

во впускной системе, либо впрыскивается форсункой во впускной трубопровод дизеля. Последнее мероприятие наиболее целесообразно в дизелях с высоким наддувом, в которых испаряющаяся во впускной системе вода охлаждает наддувочный воздух. В ряде случаев это позволяет избежать организации промежуточного охлаждения наддувочного воздуха при использовании двухступенчатой системы наддува.

Наибольший эффект при такой организации рабочего процесса отмечается по выбросам оксидов азота, что обусловлено снижением максимальных температур сгорания, приводящим к уменьшению содержания  $\text{NO}_x$  в ОГ дизеля. Об этом свидетельствуют, в частности, результаты исследований дизеля Д-242 (4 Ч 11/12,5), проведённых в Санкт-Петербургском государственном аграрном университете [23]. При испытаниях дизеля на стенде с подачей воды на впуске (во впускной коллектор) отмечено заметное уменьшение концентраций в ОГ оксидов азота  $C_{\text{NO}_x}$  (рис. 3), причём наибольшее снижение  $C_{\text{NO}_x}$  отмечено на форсированных режимах с максимальными температурами сгорания  $T_{\text{max}}$ . В частности, при  $T_{\text{max}} = 2100 \text{ K}$  и отношении подачи воды  $G_b$  во впускную систему к подаче топлива  $G_t$ , равном  $G_b/G_t = 30 \%$ , концентрация  $C_{\text{NO}_x}$  снизилась на 40 %. Но на нефорсированных режимах снижение температур сгорания, вызванное испарением подаваемой в КС воды, может привести к неполному сгоранию топлива, что влечёт за собой увеличение эмиссии продуктов неполного сгорания и ухудшение топливной экономичности. Поэтому такие исследования должны проводиться в широком диапазоне скоростных и нагрузочных режимов дизеля.

В работе [11] проведён анализ показателей дизеля Д-240 (4 Ч 11/12,5) при различных количествах подаваемой во впускной трубопровод воды. Эти исследования показывают, что при такой подаче воды наибольшее снижение содержания  $\text{NO}_x$  в ОГ происходит при максимальной частоте вращения (рис. 4). В частности, на режиме полной нагрузки при  $n = 2200 \text{ мин}^{-1}$  подача воды в количестве, равном цикловой подаче топлива, позволяет снизить содержание  $\text{NO}_x$  в ОГ с 1100 до 500 ppm. На режиме с полной нагрузкой при  $n = 1000 \text{ мин}^{-1}$  такое снижение концентрации  $\text{NO}_x$  в ОГ составило 450 ppm.

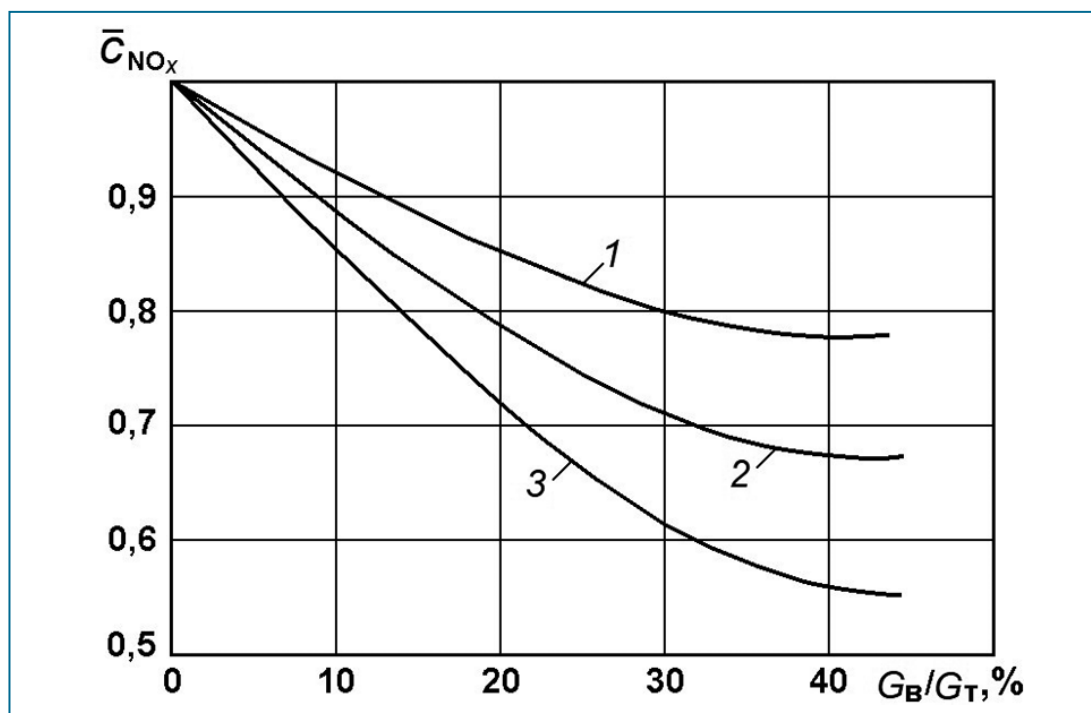


Рис. 3. Зависимость относительной концентрации оксидов азота в ОГ дизеля Д-242 от отношения подачи воды  $G_B$  во впускную систему к подаче топлива  $G_T$  при различных максимальных температурах сгорания  $T_{max}$  [K]: 1 – 1800; 2 – 1900; 3 – 2100

При этом эффект от подачи воды снижается по мере уменьшения нагрузки. Увеличение относительной подачи воды  $G_B/G_T$  от 0 до 1,5 сопровождается ростом концентрации СО и бенз(а)пирена ( $C_{БП}$ ) в ОГ соответственно в 2,0 и 1,5 раза. Топливная экономичность начинает ухудшаться при  $G_B/G_T > 2,5$ .

Приведённые данные показывают, что при смене режима целесообразно изменять и количество подаваемой во впускной трубопровод воды. Это реализуется системой регулирования подачи воды, обеспечивающей соотношение  $G_B/G_T < 1,0 \dots 1,5$ . Увеличение этого показателя ведёт к заметному росту выбросов СО, С, СН при незначительном уменьшении концентрации  $NO_x$  в ОГ и ухудшении экономичности дизеля.

В работах [11, 24] исследован дизель Д-21А1 (2 Ч 10,5/12), работающий с подачей воды на впуске (во впускной коллектор). Количество подаваемой воды  $G_B/G_T$  изменялось в диапазоне от 0 до 200 %. Результаты испытаний (рис. 5) показывают, что наибольшее влияние подача воды оказывает на содержание в ОГ оксидов азота  $NO_x$ . Так, на режиме с  $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$  при увеличении подачи воды от 0 до 100 % и от 0 до 200 % концентрация  $NO_x$  в ОГ снижается в 2 и 4 раза соответственно (рис. 5а). Аналогичная закономерность отмечена и на режиме с  $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$ . При этом наблюдается незначительный рост содержания в ОГ монооксида углерода СО, углеводородов СН и сажи С.

Влияние подачи воды в цилиндры дизеля Д-21А1 на содержание  $NO_x$  в ОГ сказывается во всём диапазоне нагрузок (рис. 5б). При увеличении отношения  $G_B/G_T$  выброс  $NO_x$  заметно снижается. Анализ полученных результатов показывает, что основное количество  $NO_x$  образуется в КС дизеля в период быстрого сгорания. Образование оксидов азота на режимах с малыми нагрузками при интегральной максимальной температуре цикла менее  $1300 \dots 1500 \text{ }^\circ\text{C}$  связано с наличием в области сгорания топлива локальных зон с повышенной температурой. Наличие локальных температур,

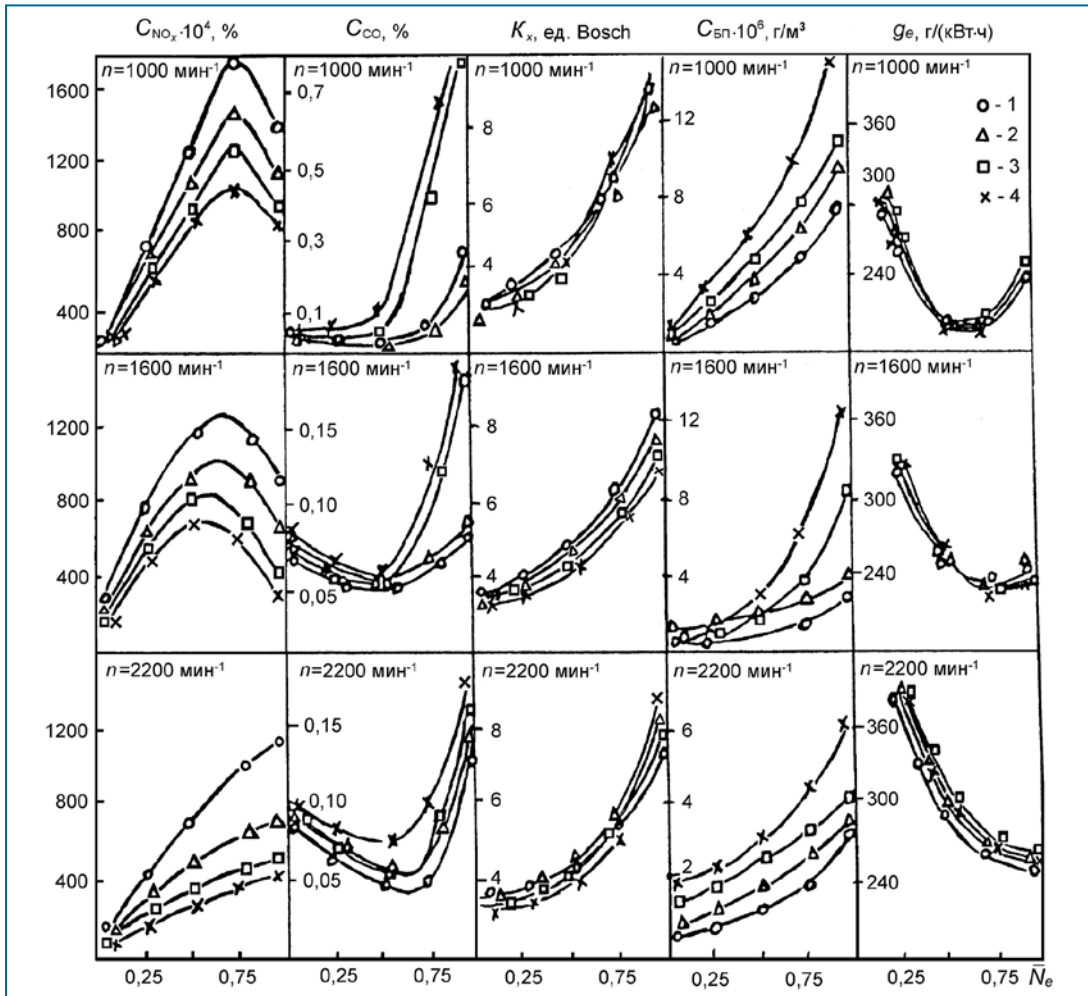


Рис. 4. Зависимость содержания в ОГ оксидов азота  $C_{NO_x}$ , монооксида углерода  $C_{CO}$ , бенз(а)пирена  $C_{БП}$ , дымности ОГ  $K_x$  и удельного эффективного расхода топлива  $g_e$  на различных режимах работы дизеля Д-240 от количества воды, подаваемой во впускной трубопровод:  
 1 –  $G_w/G_t = 0$ ; 2 – 0,5; 3 – 1,0; 4 – 1,5

выравнивающихся по объёму КС со скоростью звука в областях гетерогенного сгорания, и определяет уровень образования  $NO_x$  на режимах с малыми нагрузками. Дальнейшее повышение содержания  $NO_x$  в ОГ по мере возрастания нагрузки до её средних значений связано с увеличением локальных температур и, особенно, со временем их существования. При работе дизеля на режимах с максимальными нагрузками образование  $NO_x$  сокращается из-за возрастающего дефицита кислорода при снижении коэффициента избытка воздуха  $\alpha$ . Подача воды в цилиндры дизеля сопровождается снижением максимальной температуры цикла на величину до 200 °С. Это вызывает снижение содержания оксидов азота в ОГ на всех нагрузочных режимах, но характер кривых концентрации  $NO_x$  в ОГ в целом остаётся таким же, как и при работе дизеля по дизельному циклу.

Зависимости концентрации токсичных компонентов в ОГ дизеля Д-21А1 от скоростного режима, показанные на рис. 5в, свидетельствуют о том, что количество подаваемой на впуск воды снижает содержание  $NO_x$  в ОГ во всём диапазоне частот вращения. Наибольший эффект наблюдается на режимах с  $n = 1200 \dots 1400 \text{ мин}^{-1}$ . При увеличении частоты вращения эффект от подачи воды уменьшается. Снижение температуры



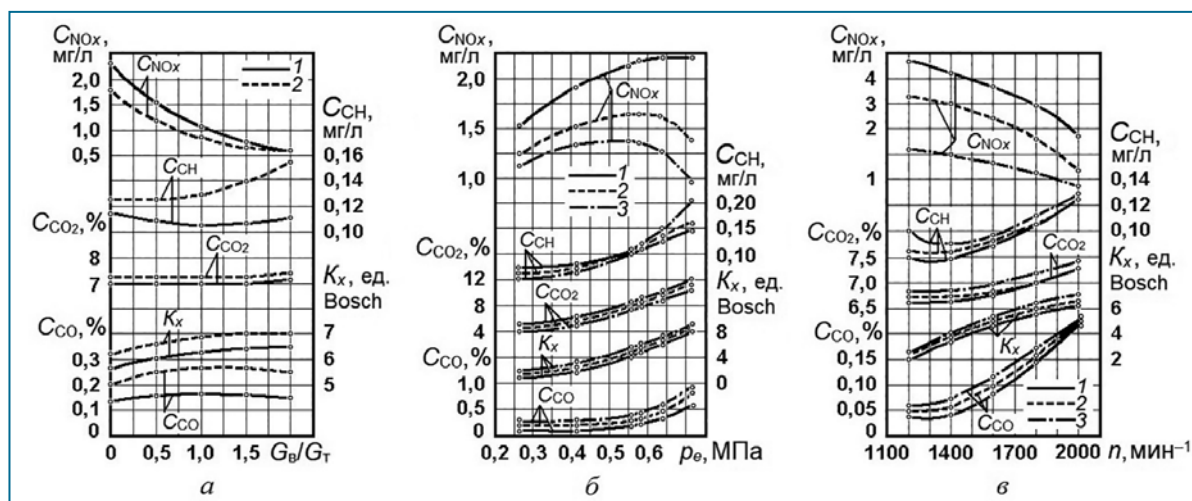


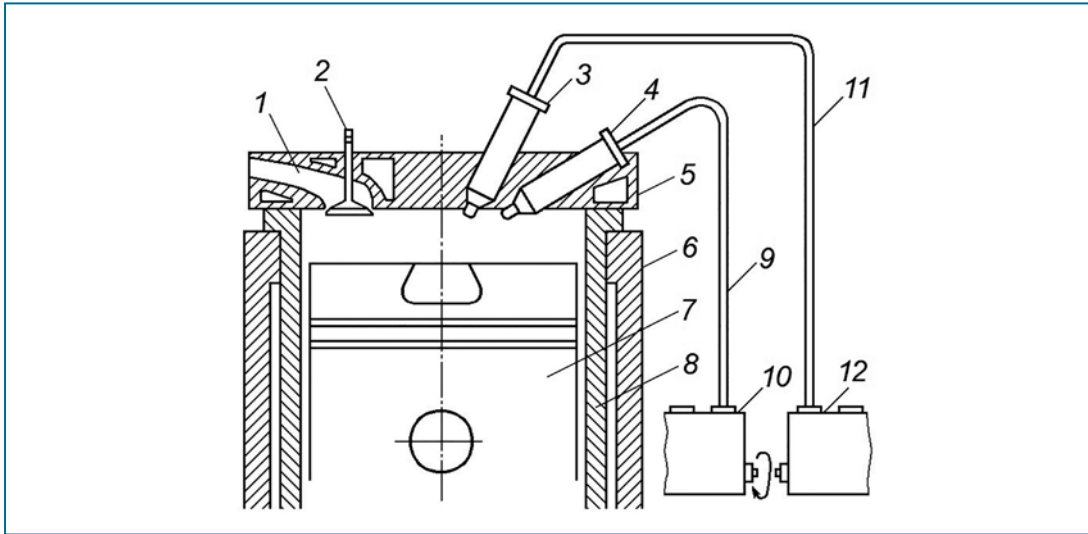
Рис. 5. Зависимость содержания в ОГ оксидов азота  $C_{NOx}$ , монооксида  $C_{CO}$  и диоксида  $C_{CO_2}$  углерода, углеводородов  $C_{CH}$  и дымности ОГ  $K_x$  дизеля Д-21А1 от соотношения подач воды и топлива  $G_b/G_t$  (а), среднего эффективного давления  $p_e$  (б) и скоростного режима  $n$  (в): а: 1 – на режиме  $n=1800$  мин<sup>-1</sup>; 2 – на режиме  $n=2000$  мин<sup>-1</sup>; б, в: 1 – дизельный процесс ( $G_b/G_t=0$ ); 2 –  $G_b/G_t=50$  %; 3 –  $G_b/G_t=100$  %

стенок цилиндра, температуры холодного пристеночного слоя при подаче воды приводит к дополнительному образованию монооксида углерода  $C_{CO}$  и углеводородов  $C_{CH}$ . Анализ показателей дизеля Д-21А1 при подаче воды во впускной трубопровод показывает, что температура ОГ снижается на 20...40 °С, но при этом снижаются коэффициент наполнения  $\eta_v$  и коэффициент избытка воздуха  $\alpha$ . Мощностные показатели остаются на уровне, характерном для дизельного цикла.

Проблемы создания устройств подачи воды во впускной трубопровод решаются с учётом особенностей дизеля, количества подаваемой воды и необходимости создания устройств, регулирующих подачу воды в зависимости от температуры двигателя и других факторов. В работах [11, 24] предложена система подачи воды на впуск дизеля Д-21А1 трактора Т-25А, содержащая бесплавковый карбюратор. В этой системе расход воды, примерно равный расходу топлива, устанавливается с помощью регулировочной иглы карбюратора. Система включается в работу после прогрева двигателя путём подключения карбюратора к баку с водой. Отключение карбюратора производится в конце работы за 10...15 мин до остановки двигателя.

Кроме описанной простейшей схемы подачи воды во впускной трубопровод дизеля в работах [11, 24], предложена более сложная система для дизеля ЯМЗ-240 самосвала БелАЗ-540А. Система состоит из следующих элементов: термостатического устройства, вакуумного автомата и карбюратора. Эксплуатационные испытания системы подачи воды во впускной трубопровод дизеля ЯМЗ-240 автомобиля БелАЗ-540А при подаче воды в его впускную систему в количестве  $G_b/G_t = 30...40$  % показали, что выбросы  $NO_x$  снижаются в среднем на 30 %. При этом температура ОГ уменьшилась на 20...50 °С, а нагарообразование в цилиндрах дизеля снизилось в 2-3 раза. Нарботка пяти автосамосвалов с системой подачи воды составила от 5 000 до 20 000 км. Проведённый на трёх двигателях микрометраж деталей цилиндропоршневой группы после пробега автомобилей от 12 000 до 20 000 км значительного снижения долговечности этих деталей не выявил.

Следует отметить, что подача воды в цилиндры дизеля по рассмотренным схемам позволяет заметно уменьшить выбросы токсичных компонентов с ОГ. Этот метод



**Рис. 6.** Конструктивная схема системы раздельной подачи ДТ и воды в цилиндры дизеля:  
 1 – выпускной трубопровод; 2 – выпускной клапан; 3 – топливная форсунка;  
 4 – водяная форсунка; 5 – головка блока; 6 – блок цилиндров; 7 – поршень;  
 8 – цилиндр; 9, 11 – топливопровод; 10 – ТНВД для подачи воды; 12 – штатный ТНВД

является недорогим и одним из наиболее эффективных по улучшению экологических показателей ДВС.

Непосредственное впрыскивание воды в цилиндры может быть осуществлено с использованием двойной системы топливоподачи, в которой топливо и вода впрыскиваются в КС двумя отдельными форсунками, к которым дизельное топливо и вода подаются отдельными топливными насосами высокого давления (ТНВД) [10, 11, 25]. Такой рабочий процесс реализован в системе непосредственной подачи воды в КС дизеля, разработанной в Санкт-Петербургском государственном аграрном университете [23]. Исследован дизель Д-242 (4 Ч 11/12,5), работающий как на чистом ДТ, так и при впрыскивании воды дополнительной форсункой 4 (рис. 6). При испытаниях на номинальном режиме с  $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$  изменяемыми параметрами являлись количество подаваемой воды  $G_v$  и угол начала ее впрыскивания  $\varphi_v$ .

Результаты безмоторных исследований показали, что на номинальном режиме с  $n_{\text{тн}} = 900 \text{ мин}^{-1}$  при неизменном положении рейки ТНВД объёмная цикловая подача воды увеличивается в среднем на 4...6 % по сравнению с работой на ДТ вследствие уменьшения её дросселирования при истечении из распыливающих отверстий форсунок. Затраты мощности на привод ТНВД для подачи воды составили 0,5 кВт. Однако эти затраты компенсируются уменьшением потребляемой мощности на привод агрегатов основной системы охлаждения двигателя. Проверка гидроплотности прецизионных пар этого ТНВД и герметичности форсунки в сборе до и после 125 ч работы выявила отсутствие повышенного износа прецизионных деталей [23]. При моторных испытаниях отмечено, что на нагрев впрыснутой воды, её испарение и перегрев образовавшегося пара затрачивается часть теплоты рабочей смеси, в результате чего снижается их температура, замедляется образование оксидов азота  $\text{NO}_x$  и уменьшается их содержание в ОГ. Кроме того, вода разбавляет горючую смесь, уменьшая тем самым относительную концентрацию кислорода, что также приводит к снижению содержания  $\text{NO}_x$  в ОГ. Чем больше количество подаваемой воды и чем раньше она подаётся в КС, тем значительно снижается температура по сравнению с обычным дизельным циклом.

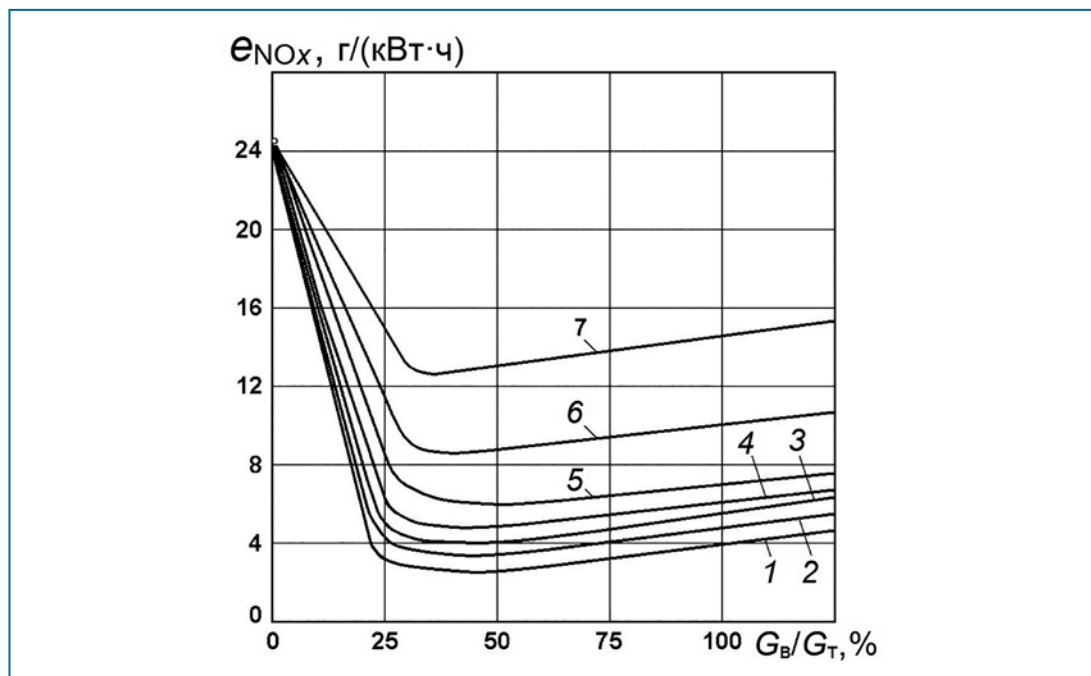


Рис. 7. Зависимость удельных выбросов оксидов азота дизеля Д-242 от количества подаваемой воды  $G_b/G_t$  и угла начала её впрыскивания  $\varphi_b$  [°ПКВ]: 1 – 6° до ВМТ; 2 – 3° до ВМТ; 3 – ВМТ; 4 – 6° после ВМТ; 5 – 9° после ВМТ; 6 – 12° после ВМТ; 7 – 15° после ВМТ

Интенсивное образование оксидов азота наступает при температуре  $T=1900$  К, и их эмиссия удваивается при повышении температуры на 200...250 К. При впрыскивании воды сокращается продолжительность периода температур  $\varphi_{NOx}$ , соответствующая интенсивному образованию оксидов азота. Если в штатном дизельном цикле она составляет  $\varphi_{NOx}=32^\circ$  поворота коленчатого вала (ПКВ), то при впрыскивании воды в количестве  $G_b/G_t = 50\%$  (от подачи топлива  $G_t$ ) и угле опережения её впрыскивания  $\varphi_b = 3^\circ$  ПКВ до верхней мёртвой точки (ВМТ) продолжительность этого периода сокращается до  $\varphi_{NOx} = 23^\circ$  ПКВ. Более позднее впрыскивание воды в количестве  $G_b/G_t = 50\%$ , соответствующее началу подачи воды  $\varphi_b = 12^\circ$  ПКВ после ВМТ, приводит к увеличению периода максимальных температур до  $\varphi_{NOx} = 27^\circ$  ПКВ [23]. В цикле с подачей воды снижается максимальная температура цикла  $T_{max}$ . Так, при работе по дизельному циклу эта температура составляет  $T_{max} = 2280$  К, при  $G_b/G_t = 50\%$  и  $\varphi_b = 3^\circ$  ПКВ до ВМТ –  $T_{max} = 2150$  К, при  $G_b/G_t = 50\%$  и  $\varphi_b = 12^\circ$  ПКВ после ВМТ –  $T_{max} = 2260$  К.

Снижение максимальных температур сгорания при впрыскивании воды создаёт условия для снижения выбросов оксидов азота с ОГ. Но при этом повышается удельный эффективный расход топлива  $g_e$  и снижается эффективная мощность двигателя  $N_e$ . Если при работе на номинальном режиме только на ДТ расход топлива составлял  $g_e = 252$  г/(кВт·ч), а эффективная мощность дизеля  $N_e = 49,6$  кВт, то при подаче воды в количестве  $G_b/G_t = 50\%$  в момент времени  $\varphi_b = 12^\circ$  ПКВ после ВМТ эти показатели оказались равны  $g_e = 257$  г/(кВт·ч) и  $N_e = 48,63$  кВт [23]. Установлено, что наибольшее снижение эмиссии оксидов азота ОГ дизеля Д-242 достигается при подаче воды в количестве  $G_b/G_t = 30...40\%$ , причём наибольший эффект получен при раннем впрыскивании воды в момент времени  $\varphi_b = 6^\circ$  ПКВ до ВМТ (рис. 7).

Для достижения наибольшей эффективности впрыскивания воды необходимо оптимизировать параметры  $G_b/G_t$  и  $\varphi_b$  на каждом режиме. Так, на номинальном режиме

при впрыскивании воды в количестве  $G_b/G_T = 30\%$  в момент времени  $\varphi_b = 3^\circ$  ПКВ до ВМТ выброс оксидов азота составил  $e_{NO_x} = 3,9$  г/(кВт·ч), а в дизельном цикле он равен  $e_{NO_x} = 24,5$  г/(кВт·ч) – эмиссия  $e_{NO_x}$  уменьшилась более чем в шесть раз. На этом режиме при впрыскивании воды с указанными параметрами эффективная мощность дизеля составила  $N_e = 41,2$  кВт, а удельный расход топлива  $g_e = 261$  г/(кВт·ч). Для дизельного цикла эти показатели оказались равны  $N_e = 43,8$  кВт и  $g_e = 253$  г/(кВт·ч). При  $G_b/G_T = 35\%$  и  $\varphi_b = 12^\circ$  ПКВ после ВМТ показатели  $N_e = 43$  кВт и  $g_e = 255$  г/(кВт·ч) практически соответствуют показателям дизельного цикла. Таким образом, в работе [23] подтверждена возможность значительного снижения выбросов оксидов азота при подаче в КС порции воды при небольшом увеличении удельного эффективного расхода топлива (на 1...6 %).

В работе [26] представлены результаты проведенных в Мюнхенском институте двигателестроения исследований влияния добавки воды и метанола на эффективные мощность  $N_e$  и удельный расход топлива  $g_e$ , период задержки воспламенения, дымность ОГ и эмиссию оксидов азота  $NO_x$  дизелем с непосредственным впрыскиванием топлива в неразделённую КС. Исследования проведены на одноцилиндровой установке с рабочим объёмом  $V_h = 1,58$  л, степенью сжатия  $\epsilon = 19$ , цилиндрической КС в поршне и впрыскиванием топлива горизонтально расположенной (по радиусу КС) односопловой форсункой. В одном варианте струя топлива впрыскивалась под углом  $50^\circ$  относительно оси форсунки, в другом – по оси форсунки в направлении центра КС. Впрыскивание воды или метанола осуществлялось форсункой, установленной на противоположной стороне относительно основной форсунки.

Анализ механизмов воздействия воды и метанола на процесс сгорания показал, что эти добавки как химические реагенты не оказывают непосредственного влияния на концентрацию составляющих продуктов сгорания. Только при значительном недостатке воздуха они эффективно способствуют торможению реакции сажеобразования. В этом случае вода оказывает более сильное влияние на образование сажи, чем метанол.

Малоизученные вопросы кинетики образования сажи пока не позволили определить роль неравновесных реакций в этих процессах. Доминирующее влияние на сажеобразование оказывает охлаждающее действие испаряющейся воды. Оно снижает температуру в КС и увеличивает период задержки воспламенения (ПЗВ), что улучшает гомогенизацию смеси и снижает сажеобразование.

Отмечено, что добавка воды не способствовала повышению КПД дизеля, поскольку её испарение снижало температуру цикла. Несмотря на то, что в связи с увеличением ПЗВ при подаче воды скорость тепловыделения в начальной фазе сгорания возрастала, сгорание протекает медленнее, чем при использовании ДТ. Наиболее эффективной является зависящая от нагрузки подача воды или метанола непосредственно в зону горения. Количество подаваемой воды должно составлять меньше 50 % от массовой цикловой подачи ДТ. При максимальной подаче воды максимальная температура цикла снижалась на 250 К. При впрыскивании метанола температура цикла снизилась на 100 К вследствие большей теплоты испарения метанола по сравнению с ДТ.

Двойные системы топливоподачи (см. рис. 6) предполагают наличие двух автономных топливных систем с двумя форсунками для подачи ДТ и воды. Это усложняет конструкцию системы топливоподачи и головки блока цилиндров. Более рациональной представляется подача этих двух компонентов через одну форсунку. Такая система раздельной подачи топлива и воды через общую форсунку в КС высокооборотного дизеля исследована в Японии [27]. В этой системе подачи топливо от ТНВД 1 (рис. 8) через нагнетательный клапан 2 по топливопроводу 3 и каналу 17 подается в подыгольную полость 21 форсунки 19. В процессе нагнетания игла форсунки поднимается, и топливо через сопловые

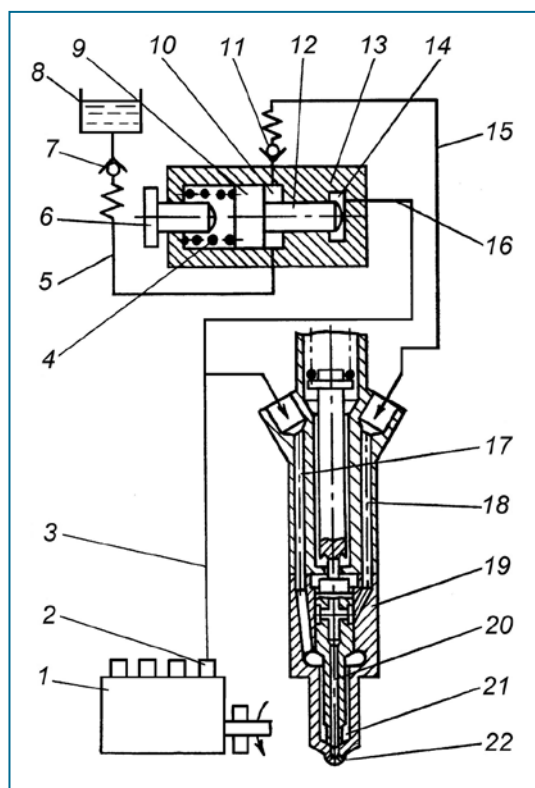


Рис. 8. Схема системы раздельной подачи ДТ и воды в цилиндр дизеля:

1 – ТНВД; 2 – нагнетательный клапан; 3, 16 – топливопроводы; 4 – пружина; 5, 15 – трубопроводы; 6 – упор; 7, 11 – клапаны; 8 – ёмкость с водой; 9 – поршень; 10, 14 – полости; 12 – вытеснитель поршня; 13 – дозатор воды; 17, 18, 20 – каналы; 19 – форсунка; 21 – подыгольная полость; 22 – распыливающие отверстия

размерность  $S/D = 95/79,5$ , рабочий объём  $V_h = 0,47$  л, степень сжатия  $\epsilon = 20$ , среднее эффективное давление  $p_e = 0,8$  МПа, мощность  $N_e = 81$  кВт. Процесс топливоподачи организован таким образом, что вода подаётся в распылитель форсунки в период между впрыскиваниями, когда давление топлива минимально. В это время вода поступает в полость перед распыливающими отверстиями форсунки. При последующем впрыскивании она вместе с ДТ подаётся в КС дизеля.

В процессе испытаний исследовалось влияние геометрии проточной части распылителя форсунки на показатели дизеля, работающего на ДТ без подачи воды и с дополнительной подачей воды в КС в количестве 25 и 40 % от цикловой подачи ДТ. Применялось два типа распылителей: с пятью распыливающими отверстиями ( $i_p = 5$ ) диаметром  $d_p = 0,170$  мм и с двенадцатью отверстиями ( $i_p = 12$ ) диаметром  $d_p = 0,126$  мм.

Исследования показали, что в дизеле, работающем только на ДТ, замена распылителей с  $i_p = 5$  на распылители с  $i_p = 12$  сравнительно слабо влияет на удельный эффективный расход топлива  $g_e$  и заметно снижает содержание в ОГ оксидов азота  $C_{NOx}$  (на номинальном режиме – примерно на 30 %), но при этом значительно возрастает дымность ОГ  $K_x$  (на номинальном режиме – более чем в 2 раза, рис. 9).

отверстия 22 распылителя впрыскивается в КС. Одновременно топливо поступает в полость 14 дозатора воды 13, воздействует на вытеснитель 12 и смещает поршень 9 влево до упора 6, деформируя пружину 4. В результате в полости 10 создаётся разрежение, и она заполняется водой, всасываемой из ёмкости 8 через клапан 7 и трубопровод 5. После окончания подачи (после отсечки) при посадке нагнетательного клапана 2 давление в топливопроводах 3, 16 уменьшается, и пружина 4 смещает поршень 9 вправо. Возрастающее давление в полости 10 закрывает клапан 7 и открывает клапан 11, подавая воду через трубопровод 15 и каналы 18, 20 к распылителю форсунки. При этом вода вытесняет оставшееся там топливо в КС дизеля. Затем часть воды впрыскивается в цилиндр, а часть – остаётся в распылителе до следующего цикла впрыскивания.

Таким образом, подача воды осуществляется в начале и в конце периода впрыскивания топлива. Такая организация процесса подачи топлива и воды позволяет существенно снизить выбросы оксидов азота и продуктов неполного сгорания топлива, повысить на 1...2 % топливную экономичность.

Результаты испытаний дизеля типа TDI фирмы Volkswagen, работающего с подачей топлива и воды в КС через одну форсунку, приведены в работе [28]. Дизель имел

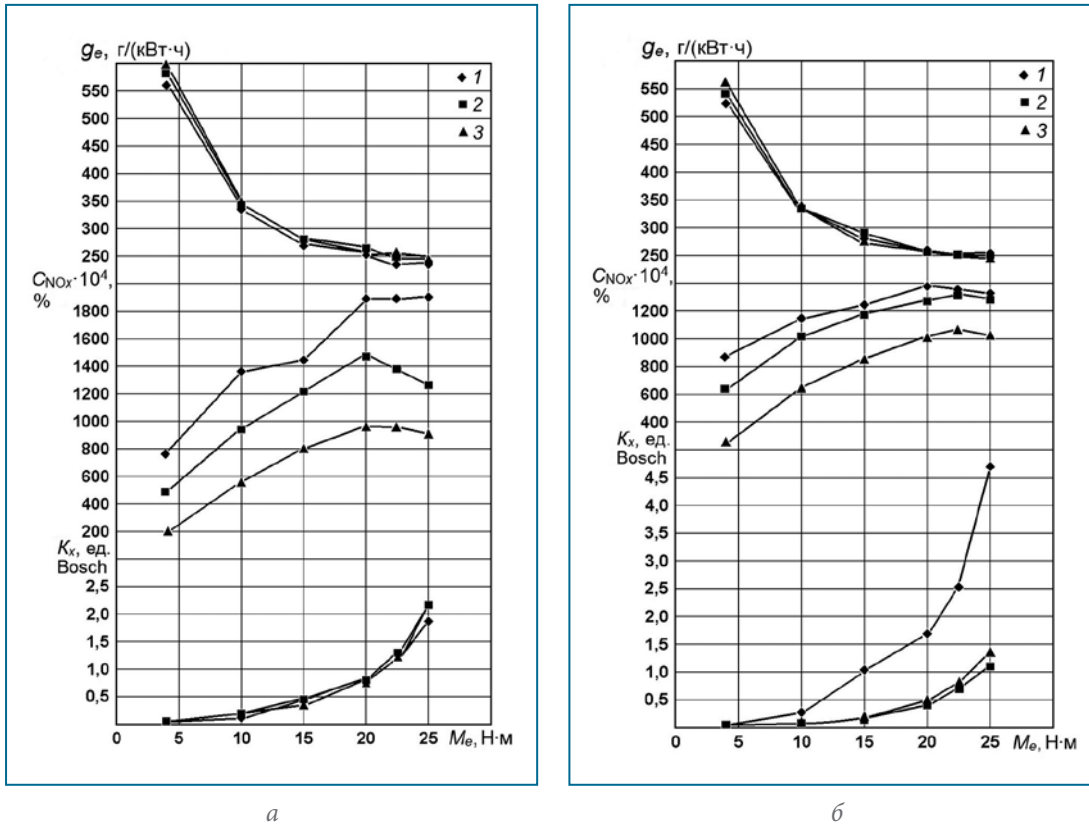


Рис. 9. Зависимости расхода топлива  $g_e$ , содержания в ОГ оксидов азота  $C_{NO_x}$  и дымности ОГ  $K_x$  дизеля типа TDI фирмы Volkswagen, оснащённого распылителями с пятью (а) и двенадцатью (б) распыляющими отверстиями:

1 – без подачи воды; 2 – с подачей 25 % воды; 3 – с подачей 40 % воды

Оснащение дизеля распылителями с  $i_p = 12$  и одновременная подача воды в КС в количестве 40 % от цикловой подачи ДТ обеспечивают наилучшее сочетание основных показателей двигателя.

Преимуществом систем подачи топлива и воды через одну форсунку является возможность гидроочистки распылителей при закоксовывании распыляющих отверстий [29]. Это особенно важно для дизелей, работающих на тяжёлых нефтяных и альтернативных топливах (например, растительных маслах), склонных к коксованию в КС дизеля [10, 30]. Недостатком описанной организации процесса подачи является сложность регулирования количества подаваемой воды и момента её подачи в КС дизеля.

Система впрыскивания ДТ и воды в КС дизеля через одну форсунку без их предварительного перемешивания описана в работе [31]. Испытания опытного быстроходного дизеля, оборудованного высокоскоростной кинокамерой, показали, что применение такой системы питания обеспечивает расслоение рабочей смеси и способствует уменьшению выбросов оксидов азота  $NO_x$ , снижению дымности ОГ при повышении индикаторного КПД  $\eta_i$ .

Проведённый выше анализ продемонстрировал перспективность подачи воды во впускную систему и непосредственно в цилиндр дизеля при улучшении показателей топливной экономичности и токсичности отработавших газов исследованных дизелей. Вместе с тем этот анализ не выявил наиболее эффективного метода подачи воды в цилиндры дизеля, поскольку рассматривались дизели различного назначения и различных конструкций. Кроме того, в рассмотренных информационных источниках исследовались,

в основном, дизели без турбонаддува, которые вытесняются более совершенными двигателями с газотурбинным наддувом. В связи с этим следует провести сравнительные исследования дизеля с турбонаддувом, оснащённого различными системами подачи воды в КС дизеля. Такие исследования целесообразно провести расчётным путём с использованием современных программных комплексов для моделирования и оптимизации рабочего процесса дизелей. Их использование позволяет сократить материальные и временные затраты при таких исследованиях и рассмотреть большое количество различных схем подачи воды в цилиндры дизеля.

*Окончание в следующем номере.*

## ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Двигатели внутреннего сгорания: Устройство и работа поршневых и комбинированных двигателей / В.П. Алексеев, В.Ф. Воронин, Л.В. Грехов и др. Под ред. А.С. Орлина, М.Г. Круглова. – М.: Машиностроение, 1990. – 288 с.
2. Марков В.А., Баширов Р.М., Габитов И.И. Токсичность отработавших газов дизелей. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 376 с.
3. Машиностроение. Энциклопедия. Том IV. Двигатели внутреннего сгорания / Л.В. Грехов, Н.А. Иващенко, В.А. Марков и др. Под ред. А.А. Александрова, Н.А. Иващенко. – М.: Машиностроение, 2013. – 784 с.
4. Вальехо Мальдонадо П.Р. Энергосберегающие технологии и альтернативная энергетика: Учебное пособие для вузов. – М.: РУДН, 2008. – 204 с.
5. Нефтяные моторные топлива: экологические аспекты применения / А.А. Александров, И.А. Архаров, В.А. Марков и др. Под ред. А.А. Александрова, В.А. Маркова. – М.: ООО НИЦ «Инженер», ООО «Онико-М», 2014. – 691 с.
6. Автотранспорт и экология мегаполисов / А.А. Ипатов, В.Ф. Кутенев, В.А. Лужко, А.С. Теренченко, Н.А. Хрипач. – М.: Экология. Машиностроение, 2010. – 253 с.
7. Горбунов В.В., Патрахальцев Н.Н. Токсичность двигателей внутреннего сгорания. – М.: Изд-во Российского университета дружбы народов, 1998. – 216 с.
8. Кульчицкий А.Р. Токсичность автомобильных и тракторных двигателей. – Владимир: Изд-во Владимирского государственного университета, 2000. – 256 с.
9. Грехов Л.В., Иващенко Н.А., Марков В.А. Топливная аппаратура и системы управления дизелей. Учебник для вузов. – М.: Изд-во «ЛегионАвтодата», 2005. – 344 с.
10. Альтернативные топлива для двигателей внутреннего сгорания / А.А. Александров, И.А. Архаров, В.А. Марков и др. Под ред. А.А. Александрова, В.А. Маркова. – М.: ООО НИЦ «Инженер», ООО «Онико-М», 2012. – 791 с.
11. Лиханов В.А., Сайкин А.М. Снижение токсичности автотракторных дизелей. – М.: Колос, 1994. – 224 с.
12. Парсаданов И.В. Повышение качества и конкурентоспособности дизелей на основе комплексного топливно-экологического критерия. – Харьков: Изд-во Харьковского политехнического института, 2003. – 244 с.
13. Гладков О.А., Лерман Е.Ю. Создание малотоксичных дизелей речных судов. – Л.: Судостроение, 1990. – 112 с.
14. Лебедев О.Н., Сомов В.А., Сисин В.Д. Водотопливные эмульсии в судовых дизелях. – Л.: Судостроение, 1988. – 105 с.
15. Горбунов В.В., Патрахальцев Н.Н. Исследование работы дизеля КамАЗ-740 при использовании водотопливной эмульсии // Вестник РУДН. Серия «Инженерные исследования». – 2004. – № 2. – С. 16-19.
16. Марков В.А., Девянин С.Н., Шумовский В.А., Тарантин С.А. Работа дизелей на водотопливных эмульсиях // Транспорт на альтернативном топливе. – 2012. – № 3. – С. 67-71.
17. Марков В.А., Тарантин С.А., Девянин С.Н. Использование водотопливных эмульсий в качестве топлива для дизелей // Грузовик. – 2012. – № 8. – С. 33-42.
18. Andrews G.E., Bartle K.D., Pang S.W. et al. The Reduction in Diesel Particulate Emissions, Using

- Emulsified Fuels // SAE Technical Paper Series. – 1988. – № 880348. – P. 1-9.
19. De Vita A. Multi-Cylinder D.I. Diesel Engine Tests with Unstabilized Emulsion of Water and Ethanol in Diesel Fuel // SAE Technical Paper Series. – 1989. – № 890840. – P. 1-15.
20. Strey R., Simon C. Russ- und NO<sub>x</sub>- Reduktion dank Dieselkraftstoff-Wasser-Mikroemulsion // MTZ. – 2005. – Jg. 66. – № 6. – S. 485.
21. Klopfer M., Lang H.-P., Weiser T. Wasserabschidekonzept fur druckseitige Dieselkraftstoff-Filterssysteme // MTZ. – 2005. – Jg. 66. – № 6. – S. 460-464.
22. Okada H., Furuya T., Chol C. et al. Application of Emulsified Heavy Fuel to Marine Diesel Engines // Bulletin of Marine Engineering Society in Japan. – 1992. – Vol. 20. – № 1. – P. 1-9.
23. Снижение выбросов оксидов азота тракторных дизелей путём организации рабочего процесса на водотопливной смеси / А.В. Николаенко, В.С. Шкрабак, Т.Ю. Салова и др. // Двигателестроение. – 2000. – № 1. – С. 35-37.
24. Опыт снижения токсичности отработавших газов дизелей за счёт подачи воды / А.К. Болотов, В.А. Лиханов, В.М. Попов и др. // Двигателестроение. – 1982. – № 7. – С. 48-50.
25. Birkenhagen S., Rulfs H. Untersuchungen zur direkten. Reduktionsmittel- und Wassereinspritzung bei mittelschnelllaufenden Dieselmotoren // MTZ. – 2001. – Jg. 62. – № 11. – S. 946-954.
26. Heinrich G., Prescher K., Finsterwalder G. Wasser- und Methanolzusätze bei Dieselmotorischer Verbrennung // MTZ. – 1984. – Jg. 45. – № 5. – S. 183-188.
27. Water Injection in Diesel Engines // Journal Marine Engineering Society of Japan. – 1988. – № 4. – P. 251-256.
28. Rainer P., Simon C. Einfluss der geschichteten Wassereinspritzung auf das Abgas- und Verbrauchverhalten eines Dieselmotors mit Direkteinspritzung // MTZ. – 2004. – Jg. 65. – № 1. – S. 49-55.
29. Середа А.С. Теоретическое обоснование гипотезы о гидроабразивном механизме очистки распылителей // «Повышение эффективности судовых энергетических установок»: Сборник научных трудов Новосибирского института инженеров водного транспорта. – Новосибирск, 1989. – С. 103-115.
30. Maxson T., Logan B., O'Brien S. Performance in Diesel and Biodiesels of Fluorosilicone Rubber Materials user for Automotive Quick Connector Fuel Line ORings and Other Sealing Applications // SAE Technical Paper Series. – 2001. – № 2001-01-1124. – P. 1-9.
31. Takasaki K., Fukuyoshi T., Otsubo M. et al. Improvement of Diesel Combustion using a Fuel-Water-Fuel Injection System // International Journal Japan Society of Mechanical Engineers. Part B. – 1998. – Vol. 41. – № 4. – P. 975-982.
32. Грехов Л.В., Кулешов А.С. Математическое моделирование и компьютерная оптимизация топливоподачи и рабочих процессов двигателей внутреннего сгорания. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. – 64 с.
33. Кулешов А.С., Грехов Л.В. Расчётное формирование оптимальных законов управления дизелями на традиционных и альтернативных топливах // Безопасность в техносфере. – 2007. – № 5. – С. 30-32.
34. Кулешов А.С. Многозонная модель для расчёта сгорания в дизеле. Расчёт распределения топлива в струе // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Машиностроение. Специальный выпуск «Двигатели внутреннего сгорания». – 2007. – С. 18-31.
35. Разлейцев Н.Ф. Моделирование и оптимизация процесса сгорания в дизелях. – Харьков: Вища школа, 1980. – 169 с.
36. Kuleshov A.S. Model for Predicting Air-Fuel Mixing, Combustion and Emissions in DI Diesel Engines over Whole Operating Range // SAE Technical Paper Series. – 2005. – № 2005-01-2119. – P. 1-10.
37. Kuleshov A.S. Multi-Zone DI Diesel Spray Combustion Model and its Application for Matching the Injector Design with Piston Bowl Shape // SAE Technical Paper Series. – 2007. – № 2007-01-1908. – P. 1-10.
38. Кулешов А.С. Развитие методов расчёта и оптимизация рабочих процессов ДВС: Дисс. ... д.т.н.: 05.04.02. – М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2012. – 235 с.
39. Montgomery D.T., Reitz R.D. Optimization of Heavy-Duty Diesel Engine Operating Parameters Using a Response Surface Method // SAE Technical Paper Series. – 2000. – № 2000-01-1962. – P. 1-21.
40. Марков В.А., Девянин С.Н., Семенов В.Г., Багров В.В., Зыков С.А. Моторные топлива, производимые из растительных масел / Под ред. В.А. Маркова. – Рига: Lambert Academic Publishing, 2019. – 420 с.



# Способ оптимизации конструкции электрических карьерных самосвалов

**С.А. Трембач,**

студент-магистр Череповецкого государственного университета (ЧГУ)

Выделяют три вида карьерных самосвалов – дизельные и электрические, а также дизель-троллейвозы. Главным недостатком дизельных самосвалов является большое количество выхлопных газов, которые концентрируются в карьере вследствие плохой вентилируемости и вызывают необходимость проветривания и приостановок горных работ открытого типа. У дизель-троллейвозов имеется большое количество недостатков, связанных с особенностью их конструкции, низкой мобильностью и необходимостью возведения самих троллей. У электросамосвалов основным недостатком является необходимость подзарядки аккумулятора. Способ модернизации электрических карьерных самосвалов, предлагаемый в статье, заключается в прямой зарядке электрического двигателя самосвала от электрической сети. В рамках данного способа предлагается подключение двигателя электрического самосвала напрямую к сети при помощи силового кабеля от ЛЭП (через понижающий трансформатор) и специальной контактной катушки. Модернизация электросамосвала может осуществляться следующими путями: либо уменьшаются габариты из-за отсутствия аккумулятора, вследствие чего возрастает мощность самосвала, так как электродвигатель остаётся тем же; либо при существующих габаритах устанавливается более мощный электрический двигатель, повышающий опять же мощность электросамосвала; либо не меняя мощность самосвала, уменьшить его габариты за счёт установки менее тяжёлого и объёмного электрического двигателя. Также отсутствие необходимости подзарядки аккумулятора модернизированного электросамосвала увеличит время работы за счёт отсутствия простоев на 30...35 %.

## **КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:**

карьерный самосвал, электрический самосвал, аккумулятор, электрическая сеть, открытые горные работы, оптимизация

## Сравнение видов карьерных самосвалов

Карьерные самосвалы – это вид транспорта, используемый в основном в сфере добычи полезных ископаемых при открытых горных работах, однако могут использоваться при строительстве крупных объектов.

Выделяют три вида карьерных самосвалов – дизельные и электрические, а также дизель-троллейвозы. У дизельных карьерных самосвалов имеется множество недостатков. В основном эти недостатки связаны именно с использованием дизельного топлива. Среди них можно назвать следующие:

- карьерные самосвалы, не соответствующие современным экологическим стандартам по выхлопным газам, отрицательно влияют на здоровье и работоспособность водителя и работающего в карьере персонала; из-за плохой вентиляции в карьере скопившиеся

выхлопные газы могут полностью остановить горные работы, пока выхлопы не выветрятся [1-6];

- длительное воздействие выхлопных газов дизельного карьерного самосвала вызывает у работников заболевания органов дыхания;

- для проветривания карьеров от скопления выхлопных газов требуются дополнительные мероприятия (например, продувание карьера отслужившим ресурс мощным авиационным двигателем), но эффективного решения данной проблемы до сих пор не найдено [1-5];

- в холодных регионах в течение всего зимнего периода дизельные двигатели часто не глушатся из-за проблем с их последующим запуском, что увеличивает загазованность и потребление топлива [6-15].

Другим подвидом карьерных самосвалов являются дизель-троллейбусы. У дизель-троллейбусов, в сравнении с дизель-самосвалами, также имеется множество серьёзных недостатков. Среди них можно выделить следующие: более сложная конструкция из-за наличия двух источников энергии; необходимость строительства и обслуживания силовых подстанций и троллейной системы; повышенный износ шин, пропорциональный увеличению производительности; необходимость увеличения дорог в ширину, а также частичная утрата автономности и снижение маневренности техники [16].

Главным преимуществом электрических карьерных самосвалов перед дизельными является то, что им не нужно дизельное топливо в принципе. Они не выбрасывают в атмосферу большое количество выхлопных газов, не загазовывают пространство карьеров.

Самыми распространёнными примерами электрических самосвалов являются Volvo HX2 и Komatsu eDumper.

Компания Volvo Construction Equipment в 2018 году начала испытывать автономные электрические самосвалы-троллейбусы HX2 на территории карьера Викан-Кросс в окрестностях Гётеборга (Швеция) в рамках проекта Electric Site – полностью автономный процесс разработки карьеров (добыча, первичное дробление и перевозка) [17].

Что касается электросамосвалов eDumper от компании Komatsu, то это бывший дизельный карьерный самосвал Komatsu HD 605-7, в котором дизельный двигатель и бензобак заменены на электрический двигатель и аккумулятор. EDumper – это 111-тонный самосвал с 4,5-тонным аккумулятором на 710 кВт/ч.

Электрический самосвал EDumper перевозит материал от горной выработки к находящемуся внизу цементному заводу. Во время спуска электродвигатель машины работает в режиме генератора, вырабатывая электроэнергию вследствие рекуперативного торможения. Вырабатываемая им электрическая энергия используется для зарядки аккумуляторных батарей, и применяется на обратном пути, при подъёме в гору. Причём при движении вниз самосвала с грузом генератор вырабатывает больше энергии, чем машина расходует на подъём, двигаясь в незагруженном состоянии. Таким образом, такой электрический самосвал абсолютно не нуждается в подзарядке при данных условиях эксплуатации.

Однако если такой же eDumper выполнял бы другого рода задачу, при которой необходимо спускаться по карьеру в разгруженном состоянии и подниматься в нагруженном, то этому самосвалу требовалась бы подзарядка аккумуляторов. Причём довольно частая.

Характеристики eDumper:

- мотор 982 кВт (плюс 120 кВт);
- аккумулятор 710 кВт/ч.

Из этих данных следует, что при средней загруженности на участках пути с реку-

перативной генерацией электросамосвал eDumper будет необходимо заряжать примерно раз в два часа, а если участок подъёма в загруженном состоянии потребует преодолеть почти час и более, то данного аккумулятора не хватит даже добраться до вершины карьера. Если заряжать аккумулятор от источника электрического тока меньше 710 кВт/ч, то на зарядку уйдёт больше часа, а проработает самосвал от аккумулятора всего около двух часов. Отсюда следует, что 30...35 % времени (в зависимости от мощности зарядной станции) данный самосвал будет простаивать, находясь на подзарядке. А с учётом того, что зарядная станция самосвала, допустим, находится только на верхнем контуре карьера, то заряжать аккумулятор транспортного средства придётся чуть ли не перед каждым спуском.

В целях решения этой проблемы и для оптимизации конструкции предлагается следующий способ.

## Преобразование электросамосвала путём его прямого подключения в сеть

Суть метода заключается в том, чтобы электрический самосвал подключить напрямую к сети, полностью исключив аккумуляторную составляющую, кабелем от ЛЭП через понижающий трансформатор. Данной модернизацией можно снизить массу самосвала из-за отсутствия аккумулятора (у eDumper он весит 4,5 тонны), что в свою очередь позволяет сократить размеры самого самосвала из-за освобождения аккумуляторного пространства, что еще более уменьшит вес самосвала.

В этой связи встаёт задача определения сечения кабеля в зависимости от его длины. Соотношение длины и сечения трёхфазного медного кабеля для разных уровней напряжения представлено в таблице.

**Отношение длины трёхфазного медного кабеля к его сечению при напряжении 1100 кВт**

Длина кабеля, м	Сечение при напряжении 380 В, мм <sup>2</sup>	Сечение при напряжении 660 В, мм <sup>2</sup>	Сечение при напряжении 6 кВ, мм <sup>2</sup>
600	1 750	600	8
500	1 450	520	6
400	1 150	420	5
300	875	320	4
200	575	240	2,5
150	450	150	2
100	300	120	1,2

Само подключение двигателя электросамосвала к сети можно выполнить способом, идентичным проводу обычного бытового пылесоса. Однако при использовании катушки с кабелем определённой длины сматывающую пружину лучше всего будет заменить на электродвигатель, который будет накручивать кабель только при уменьшении рассто-

яния от катушки до самого электросамосвала и контактов. Данную катушку лучше всего будет устанавливать не на самосвал, чтобы не обременять его лишним весом, а вблизи источника электроэнергии, закрепив на каркасе.

Исходя из данных таблицы, эффективнее всего будет использовать кабель на 6 кВ ввиду его небольшого сечения относительно кабелей на 380 и 660 В. В связи с этим рекомендуется использование кабеля на 6 кВ и использование понижающего до этого значения трансформатора.

При началах горных работ эффективнее всего будет транспортировать одну или две таких катушки с разной длиной кабеля и соответственно с разным сечением – либо одну катушку с кабелем длиной в 400 м, либо две на 200 и 400 м. В случае, если при открытых горных работах длина пути электросамосвала будет превышать 400 м, возможно использование катушки с кабелем длиной 600 м, которую также можно заранее доставить на место работ.

## Пути использования результатов оптимизации электросамосвала

Снижение массы и освобождение аккумуляторного пространства карьерного самосвала можно использовать по-разному. Так, можно, уменьшив объём самосвала, увеличить массу максимально возможной разовой перевозки груза, оставив тот же электродвигатель. Или можно заменить электродвигатель на ещё более мощный, оставив габариты неизменными, что также повысит массу разовой перевозки груза. Ещё один путь – это уменьшить габариты и заменить двигатель на менее мощный, однако из-за снижения веса самого самосвала масса разовой перевозки груза останется неизменной.

## Преимущества модернизированного электросамосвала

Главным отличием предложенного способа питания электросамосвалов от уже известных дизель-троллейбусов является отсутствие дизельного двигателя. Это преимущество сводит количество вредных выбросов в атмосферу к нулю, препятствуя загазованности карьера, вследствие чего нет необходимости в дополнительных затратах на вентиляцию карьера. Данное отличие исключает из конструкции всю дизельную составляющую, что также идёт на пользу объёму конструкции и массе без ущерба мощности электросамосвала. Кроме этого, оно полностью исключает необходимость дозаправки топлива и подзарядки аккумулятора (как у обычных электросамосвалов), что позволяет полностью устранить простои самосвалов из-за этой причины. Исключается необходимость возводить троллейные линии с опорами. В крайнем случае подзарядить такой электросамосвал можно от того же дизельного генератора на 1100 кВт, установленного за пределами карьера во избежание загазованности, если нет возможности организовать питание от внешней электросети.

## Выводы

1. Электрические карьерные самосвалы превосходят свои дизельные аналоги в плане выбросов, однако их аккумуляторы нуждаются в подзарядке.
2. Дизель-троллейбусы имеют множество недостатков, почти все из которых решаются в предложенном способе зарядки электросамосвалов.
3. Зарядив двигатель электросамосвала прямо от сети, можно увеличить мощность

самосвала за счёт полного исключения аккумуляторной составляющей из его конструкции, таким образом не только улучшив характеристики техники, но и полностью исключив простои на подзарядку аккумулятора от сети.

## ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Хазин М.Л. Перевод карьерных самосвалов в условиях севера // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое дело. – 2019. – № 1. – С. 56-72.
2. Taxell P., Santonen T. Diesel engine exhaust: basis for occupational exposure limit value // Toxicological Sciences. – 2017. – Vol. 158, № 2. – P. 243-251.
3. Сокращение загазованности карьерного пространства при применении новых видов карьерного транспорта / П.И. Тарасов, А.Г. Журавлев, Е.В. Фефелов [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2008. – № 2. – С. 260-271.
4. Хазин М.Л., Тарасов А.П. Эколого-экономическая оценка карьерных троллейбусов // Вестник Пермского национального исследовательского университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2018. – Т. 17, № 2. – С. 66-80.
5. Soofastaei A., Aminossadat S.M., Kizil M.S., Payload variance plays a critical role in the fuel consumption of mining haul trucks // Aust Resour Invest. – 2014. – Vol. 8, № 4. – P. 64-64.
6. Аكوпова Г.С., Власенко Н.Л., Тетеревлев Р.В. Перспективы замены дизельного топлива природным газом на транспорте // Вести газовой науки. – 2013. – № 2 (13). – С. 56-62.
7. Хазин М.Л. Перевод карьерных самосвалов на газ в условиях севера // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2019. – №1. – С. 56-72.
8. Бойченко С.В., Шкильнюк И.А. Экологические аспекты использования моторных топлив (обзор) // Энерготехнологии и ресурсосбережение. – 2014. – № 5-6. – С. 35-44.
9. Грязнов М. Б. Применение газомоторного топлива в Российской Федерации: проблемы и перспективы // Вестник финансового университета. – 2013. – № 4. – С. 21-31.
10. Виноградова О.В. Газомоторное топливо в мире: состояние и перспективы // Нефтегазовая вертикаль. – 2013. – № 20. – С. 32-35.
11. Litzke W.L., Wegrzyn J. Natural gas as a future fuel for heavy-duty vehicles // SAE Technical Paper. – 2001. – № 2001-01-2067.
12. Марков В.А., Бебенин Е.В., Гладышев С.П Сравнительный анализ альтернативных моторных топлив для дизелей // Известия вузов. Машиностроение. – 2014. – № 5. – С. 43-48.
13. Марков В.А., Поздняков Е.Ф. Природный газ как наиболее выгодное моторное топливо // Автомобильная промышленность. – 2017. – № 1. – С. 11-15.
14. Osorio-Tejada J., Llera E., Scarpellini S. LNG: an alternative fuel for road freight transport in Europe // WIT Transactions on The Built Environment. – 2015. – Vol. 168. – P. 235-246.
15. Цвигун И.В., Ершова Е.В. Мировой рынок сжиженного природного газа: современная конъюнктура и тенденции развития // Известия Байкальского государственного университета. – 2016. – Т. 26, № 6. – С. 868-881.
16. Егоров А.Н., Бигель Н.В. Дизель-троллейвозный транспорт «БЕЛАЗ»: перспективы использования в горном производстве // Уголь. – 2019. – №7. – С. 26-27.
17. VolvoCE [Электронный ресурс] - <https://www.volvoce.com/united-states/en-us/about-us/news/2017/volvo-ce-unveils-the-next-generation-of-its-electric-load-carrier-concept/> (Дата обращения 10.01.2020).

## ABSTRACTS OF ARTICLES

**P. 39*****Analysis of the necessary support measures for ship owners to encourage the transition to dual-fuel engines*****Ksenia Strokova**

The article presents an analysis of the necessary measures to support shipowners in the Russian Federation to stimulate them to use liquefied natural gas as marine fuel. A brief review of international documents regulating the activities of maritime navigation in the field of environmental impact is given.

**Keywords:** ship, LNG, market, IMO.

**P. 44*****Various possibilities of alternative fuels as additives to base fuels employing in diesel engines*****Nikolay Patrahaltsev**

An employing of various alternative fuels as additives to base fuels in diesel engines for making mixed fuels with improved physics, chemicals and motor qualities seems rather efficient nowadays. Using of such fuels makes it possible to rise an effectiveness of engine, ecological qualities and so on. For this purposes, there may be used comparatively simple modernization of some fuel-feed diesel systems.

**Keywords:** Diesel, alternative fuels, mixed fuels, fuel-feed systems.

**References**

1. Patrahaltsev N.N. Equipment for the gas-diesel process // Automotive industry. – 1987. – No. 7. – P. 16-17.
2. Patrahaltsev N.N., Gusakov S.V., Medvedev E.V. Possibilities of organizing a gas-diesel process with internal mixture formation on the basis of a diesel engine 8CH13/14 // Dvigatelistroyeniye. – 2004. – No. 3. – P. 10-12.
3. Patrahaltsev N.N., Kamyshnikov O.V., Jose Galdos Gomez. Features of a diesel engine in high altitude conditions using liquefied petroleum gas // Dvigatelistroyeniye. – 2006. – No. 3. – P. 36-39.
4. Patrahaltsev N.N. Diesel fuel supply systems with initial pressure control // Engine building. – 1980. – No. 10. – P. 33-38.
5. Possibilities of forcing a diesel engine by changing the physicochemical properties of fuel / N.N. Patrahaltsev, A.K. Sinitsyn, A.A. Badeev, A.F. Arkhipov // Construction and road building machinery. – 2005. – No. 3. – P. 33-35.
6. Possibilities for improving the environmental and economic indicators of diesel engines by fuel saturation with air or other gas / Zauavi M.D., Alvear Sanchez L.V., Emmil M.V., Patrahaltsev N.N. // Tractors and agricultural machinery. – 2010. – No. 12. – P. 6-10.
7. Patrahaltsev N.N., Kaznachevsky V.E., Medvedev E.V. Opportunities for extending the life of a worn diesel engine by adding liquefied petroleum gas to the main fuel // AGZK + AT. – 2010. – No. 3 (61). – P. 22-25.
8. Regulation of a diesel engine by shutdown – turning on cylinders or cycles / N.N. Patrahaltsev, S.V. Strashnov, B.A. Kornev, I.S. Miller // Engine building. – 2011. – No. 3 (245). – P. 7-11.
9. Diesel regulation system by changing its working volume / N.N. Patrahaltsev, A.A. Savastenko, I.A. Petrunya, T.S. Anoshina // Bulletin of the RUDN University. Engineering and power engineering. – 2014. – No. 4. – P. 65-71.
10. Patrahaltsev N.N., Lastra L.A., Tapia K.M. Coxless disassembly of diesel injectors // Automotive industry. – 2006. – No. 1. – P. 27-30.
11. Patrahaltsev N.N., Kaznachevsky V.L., Silin E.L. Regulation of a diesel engine by changing the physicochemical properties of fuel // News of universities. Engineering. – 2005. – No. 5. – P. 43-49.

**P. 53*****The method of controlling an internal combustion engine*****Shishkov Vladimir**

The work objective is to increase the accuracy of fuel metering into an internal combustion engine at various temperatures and pressures at the inlet to the metering actuators in the operating range of environmental parameters. The method relates to control systems of an internal combustion engine. In a method for controlling an internal combustion engine operating on primary and alternative fuels with additional sensors, the pressure and temperature of the fuel are measured at the inlet to the fuel metering actuators, as well as testing of the health of additional sensors by comparing their readings with the values recorded in the microprocessor controller is performed. If the additional sensors are operational, then according to the readings of the additional sensors in the microprocessor controller, a correction factor is calculated by control signal which is changed to increase or decrease the fuel consumption through the fuel metering actuators. In case of failure of the additional fuel temperature sensor at the entrance to the fuel metering actuators, alternative fuel temperature readings are obtained by subtracting the temperature of the internal combustion engine from the temperature difference recorded in the microprocessor controller, during calibration tests between the temperature of the internal combustion engine and the temperature of the fuel in front of the metering actuators fuel with a working additional fuel temperature sensor in the operating range of ambient temperatures. Alternative indications of the temperature at the inlet to the fuel metering actuators are used in the microprocessor controller to calculate a correction coefficient by which the control signal is changed to increase or decrease fuel consumption through the fuel metering actuators. The exhaust gas toxicity is reduced and the operating life of the catalytic converter is increased, while the diagnostics of the state of the temperature and pressure sensors of the fuel during operation and the decision on the use of their readings are carried out.

**Key words:** control method of an internal combustion engine, fuel pressure and temperature sensors, fuel metering actuators, microprocessor controller.

**References**

1. Patent RU No. 2136933, publ. 09/10/1999.

2. Method of controlling an internal combustion engine: patent for invention No. 2708491: SEC F02 D 19/00, F02 D 19/06, F02D 19/0607, F02D 19/0626, F02D 19/0628, F02 D 41/00, F02 D 41/0025, F02 D 41/24, F02 D 41/26 (2019.08) / Shishkov V.A. ; applicant Shishkov V.A. – No. 2019104674/06 (008839); declared 02/19/2019, publ. 12/09/2019. Bull. № 34. – 10 p.

#### P. 58

#### *Computational studies of methods for supplying water to the cylinders of a diesel engine*

**Markov Vladimir, Andrei Kuleshov, Alexander Denisov, Alexander Zenkin, Anastasia Zemlemerova**

The possibilities of injecting water into cylinders to reduce the emission of toxic components in diesel exhaust were considered. Numerical studies on different methods of injecting water into diesel intake system and directly injecting water into cylinder were performed for a four-cylinder, four-stroke turbocharged diesel engine D-245 (bore-to-stroke ratio 11/12.5) manufactured by Minsk Motor Plant. The fuel economy and exhaust gas toxicity during injecting water into the intake manifold before and after the compressor, into the intake port near intake valves and directly into the diesel engine cylinder were compared and analyzed.

**Keywords:** internal combustion engine, diesel engine, water, water-fuel emulsion, fuel efficiency, exhaust gas toxicity indicators.

#### References

1. Internal combustion engines: Design and operation of piston and combined engines / V.P. Alekseev, V.F. Voronin, L.V. Sins and others. Ed. A.S. Orlina, M.G. Kruglov. – M.: Mechanical Engineering, 1990. – 288 p.
2. Markov V.A., Bashirov R.M., Gabitov I.I. Diesel exhaust toxicity. – M.: Publishing House of Bauman Moscow State Technical University, 2002. – 376 p.
3. Mechanical engineering. Encyclopedia. Volume IV Internal combustion engines / L.V. Sins, N.A. Ivashchenko, V.A. Markov et al. Ed. A.A. Alexandrova, N.A. Ivashchenko. – M.: Mechanical Engineering, 2013. – 784 p.
4. Vallejo Maldonado P.R. Energy Saving Technologies and Alternative Energy: A Textbook for High Schools. – M.: RUDN, 2008. – 204 p.
5. Petroleum motor fuels: environmental aspects of application / A.A. Alexandrov, I.A. Arkharov, V.A. Markov et al. Ed. A.A. Alexandrova, V.A. Markov. – M.: Scientific Research Center «Engineer», Oniko-M LLC, 2014. – 691 p.
6. Motor transport and the ecology of megacities / A.A. Ipatov, V.F. Kutenev, V.A. Luzhko, A.S. Terenchenko, N.A. Grunt. – M.: Ecology. Engineering, 2010. – 253 p.
7. Gorbunov V.V., Patrahaltsev N.N. Toxicity of internal combustion engines. – M.: Publishing House of RUDN University, 1998. – 216 p.
8. Kulchitsky A.R. Toxicity of automobile and tractor engines. – Vladimir: Publishing House of Vladimir State University, 2000. – 256 p.
9. Sins L.V., Ivashchenko N.A., Markov V.A. Fuel equipment and diesel control systems. Textbook for high schools. – M.: Publishing House «LegionAvtodata», 2005. – 344 p.
10. Alternative fuels for internal combustion engines / A.A. Alexandrov, I.A. Arkharov, V.A. Markov et al. Ed. A.A. Alexandrova, V.A. Markov. – M.: Research Center Engineering, LLC, Oniko-M LLC, 2012. – 791 p.
11. Likhanov V.A., Saykin A.M. Reducing the toxicity of automotive diesel engines. – M.: Kolos, 1994. – 224 p.
12. Parsadanov I.V. Improving the quality and competitiveness of diesel engines based on an integrated fuel and environmental criterion. – Kharkov: Publishing House of the Kharkov Polytechnic Institute, 2003. – 244 p.
13. Gladkov O.A., Lerman E.Yu. Creation of low-toxic diesel engines of river vessels. – L.: Shipbuilding, 1990. – 112 p.
14. Lebedev O.N., Somov V.A., Sisin V.D. Water-fuel emulsions in marine diesel engines. – L.: Shipbuilding, 1988. – 105 p.
15. Gorbunov V.V., Patrahaltsev N.N. Study of the operation of the KamAZ-740 diesel engine using water-fuel emulsion // Bulletin of RUDN University. Series «Engineering Research». – 2004. – No. 2. – P. 16-19.
16. Markov V.A., Devyanin S.N., Shumovsky V.A., Tarantin S.A. The work of diesel engines on water-fuel emulsions // Transport on alternative fuel. – 2012. – No. 3. – P. 67-71.
17. Markov V.A., Tarantin S.A., Devyanin S.N. The use of water-fuel emulsions as fuel for diesel engines // Gruzovik. – 2012. – No. 8. – P. 33-42.
18. Andrews G.E., Bartle K.D., Pang S.W. et al. The Reduction in Diesel Particulate Emissions, Using Emulsified Fuels // SAE Technical Paper Series. – 1988. – No. 880348. – P. 1-9.
19. De Vita A. Multi-Cylinder D.I. Diesel Engine Tests with Unstabilized Emulsion of Water and Ethanol in Diesel Fuel // SAE Technical Paper Series. – 1989. – No. 890840. – P. 1-15.
20. Strey R., Simon C. Russ- und NOx-Reduktion dank Dieselkraftstoff-Wasser-Mikroemulsion // MTZ. – 2005. – Jg. 66. – No. 6. – P. 485.
21. Klopfer M., Lang H.-P., Weiser T. Wasserabscheidkonzept für druckseitige Dieselkraftstoff-Filterssysteme // MTZ. – 2005. – Jg. 66. – No. 6. – P. 460-464.
22. Okada H., Furuya T., Chol C. et al. Application of Emulsified Heavy Fuel to Marine Diesel Engines // Bulletin of Marine Engineering Society in Japan. – 1992. – Vol. 20. – No. 1. – P. 1-9.
23. Reducing emissions of nitrogen oxides of tractor diesels by organizing a working process on a water-fuel mixture / A.V. Nikolaenko, V.S. Shkrabak, T.Yu. Salova et al. // Engine building. – 2000. – No. 1. – P. 35-37.
24. Experience in reducing the toxicity of diesel exhaust gases due to water supply / A.K. Bolotov, V.A. Likhanov, V.M. Popov et al. // Engine building. – 1982. – No. 7. – P. 48-50.
25. Birkenhagen S., Rulfs H. Untersuchungen zur direkten. Reduktionsmittel- und Wassereinspritzung bei mittelschnelllaufenden Dieselmotoren // MTZ. – 2001. – Jg. 62. – No. 11. – P. 946-954.
26. Heinrich G., Prescher K., Finsterwalder G. Wasser- und Methanolzusätze bei Dieselmotorischer Verbrennung // MTZ. – 1984. – Jg. 45. – No. 5. – P. 183-188.
27. Water Injection in Diesel Engines // Journal of Marine Engineering Society of Japan. – 1988. – No. 4. – P. 251-256.
28. Rainer P., Simon C. Einfluss der geschichteten Wassereinspritzung auf das Abgas- und Verbrauchsverhalten eines Dieselmotors mit Direkteinspritzung // MTZ. – 2004. – Jg. 65. – No. 1. – P. 49-55.
29. Sereda A.S. Theoretical substantiation of the hypothesis of a hydroabrasive spray cleaning mechanism // «Improving the efficiency of ship power plants»: Collection of scientific papers of the Novosibirsk Institute of Water Transport Engineers. – Novosibirsk, 1989. – P. 103-115.

30. Maxson T., Logan B., O'Brien S. Performance in Diesel and Biodiesels of Fluorosilicone Rubber Materials user for Automotive Quick Connector Fuel Line ORings and Other Sealing Applications // SAE Technical Paper Series. – 2001. – No. 2001-01-1124. – P. 1-9.
31. Takasaki K., Fukuyoshi T., Otsubo M. et al. Improvement of Diesel Combustion using a Fuel-Water-Fuel Injection System // International Journal Japan Society of Mechanical Engineers. Part B. – 1998. – Vol. 41. – No. 4. – P. 975-982.
32. Sins L.V., Kuleshov A.S. Mathematical modeling and computer optimization of fuel supply and working processes of internal combustion engines. – M.: Publishing House of Bauman Moscow State Technical University, 2000. – 64 p.
33. Kuleshov A.S., Grekhov L.V. Estimated formation of optimal laws for diesel control on traditional and alternative fuels // Safety in the technosphere. – 2007. – No. 5. – P. 30-32.
34. Kuleshov A.S. Multi-zone model for calculating diesel combustion. Calculation of the distribution of fuel in the jet // Bulletin of Bauman Moscow State Technical University. Engineering. Special issue «Internal combustion engines». – 2007. – P. 18-31.
35. Razleitsev N.F. Modeling and optimization of the combustion process in diesel engines. – Kharkov: Vishcha school, 1980. – 169 p.
36. Kuleshov A.S. Model for Predicting Air-Fuel Mixing, Combustion and Emissions in DI Diesel Engines over Whole Operating Range // SAE Technical Paper Series. – 2005. – No. 2005-01-2119. – P. 1-10.
37. Kuleshov A.S. Multi-Zone DI Diesel Spray Combustion Model and its Application for Matching the Injector Design with Piston Bowl Shape // SAE Technical Paper Series. – 2007. – No. 2007-01-1908. – P. 1-10.
38. Kuleshov A.S. Development of calculation methods and optimization of ICE working processes: Diss. Doctor of Technical Sciences: 05.04.02. – M.: Bauman Moscow State Technical University, 2012. – 235 p.
39. Montgomery D.T., Reitz R. D. Optimization of Heavy-Duty Diesel Engine Operating Parameters Using a Response Surface Method // SAE Technical Paper Series. – 2000. – No. 2000-01-1962. – P. 1-21.
40. Markov V.A., Devyanin S.N., Semenov V.G., Bagrov V.V., Zykov S.A. Motor fuels produced from vegetable oils / Ed. V.A. Markov. – Riga: Lambert Academic Publishing, 2019. – 420 p.

### P. 72

#### **Frequent recharging and suboptimal design of electric dump trucks. Method for optimizing these indicators**

**Sergey Trembach**

There are three types of mining trucks-diesel and electric dump trucks, as well as diesel trolleybuses. The main drawback of diesel dump trucks is the large amount of exhaust gases that are concentrated in the quarry due to poor ventilation, and cause the need for ventilation and suspensions in open-pit mining operations. Diesel trolleybuses have a large number of drawbacks associated with the peculiarity of their design, which consists of low mobility and the need to erect the trolls themselves. The main drawback of electric dump trucks is the need to recharge the battery. The method of modernization of electric quarry dump trucks, proposed in the article, consists in direct power supply of the electric motor of the dump truck from the electric network. As part of this method, it is proposed to connect the motor of an electric dump truck directly to the network using a power cable from a power line through a step-down transformer and a special contact coil. After the modernization, electric dump truck either will be reduced in size due to the lack of accumulate, thereby increasing the capacity of the truck with the same electric motor; or the dimensions will not change due to the installation of a more powerful electric motor, improving the power of electric dump truck without changing the capacity of the dump truck, reducing its size and establish less heavy and bulky electric motor. Also, the absence of the need to recharge the battery of the upgraded electric dump truck will increase the operating time due to the absence of downtime by 30-35%.

**Keywords:** dump truck, electric dump truck, battery, power grid, open pit-mining, optimization.

#### **References**

1. Khazin M.L. Translation of mining trucks in the north // Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. Geology. Oil and gas business. – 2019. – No. 1. – P. 56-72.
2. Taxell P., Santonen T. Diesel engine exhaust: basis for occupational exposure limit value // Toxicological Sciences. – 2017. – Vol. 158, No. 2. – P. 243-251.
3. Reducing the contamination of the career space when using new types of career transport / P.I. Tarasov, A.G. Zhuravlev, E.V. Fefelov [et al.] // Mountain Information and Analytical Bulletin. – 2008. – No. 2. – P. 260-271.
4. Khazin M.L., Tarasov A.P. Ecological and economic assessment of career trolley cars // Bulletin of Perm National Research University. Geology. Oil and gas and mining. – 2018. – T. 17, No. 2. – P. 66-80.
5. Soofastaei A., Aminossadat S.M., Kizil M.S., Payload variance plays a critical role in the fuel consumption of mining haul trucks // Aust Resour Invest. – 2014. – Vol. 8, No. 4. – P. 64-64.
6. Akopova G.S., Vlasenko N.L., Teterevlev R.V. Prospects for the replacement of diesel fuel with natural gas in transport // News of gas science. – 2013. – No. 2 (13). – P. 56-62.
7. Khazin M.L. Transfer of mining dump trucks to gas in the north // Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. Geology. Oil and gas and mining. – 2019. – No. 1. – P. 56-72.
8. Boychenko S.V., Shkilnyuk I.A. Environmental aspects of the use of motor fuels (review) // Energy Technologies and Resource Saving. – 2014. – No. 5-6. – P. 35-44.
9. Gryaznov M. B. The use of motor gas fuel in the Russian Federation: problems and prospects // Bulletin of the Financial University. – 2013. – No. 4. – P. 21-31.
10. Vinogradova O.V. Gas engine fuel in the world: state and prospects // Oil and gas vertical. – 2013. – No. 20. – P. 32-35.
11. Litzke W. L., Wegrzyn J. Natural gas as a future fuel for heavy-duty vehicles // SAE Technical Paper. – 2001. – No. 2001-01-2067.
12. Markov V.A., Bebenin E.V., Gladyshev S.P. Comparative analysis of alternative motor fuels for diesel engines // University News. Engineering. – 2014. – No. 5. – P. 43-48.
13. Markov V.A., Pozdnyakov E.F. Natural gas as the most profitable motor fuel // Automotive industry. – 2017. – No. 1. – P. 11-15.
14. Osorio-Tejada J., Llera E., Scarpellini S. LNG: an alternative fuel for road freight transport in Europe // WIT Transactions on The Built Environment. – 2015. – Vol. 168. – P. 235-246.
15. Tsvigun I.V., Ershova E.V. The global market for liquefied natural gas: current conditions and development trends // Bulletin of the Baikal State University. – 2016. – T. 26, No. 6. – P. 868-881.
16. Egorov A.N., Bigel N.V. Diesel-trolley transport «BELAZ»: prospects for use in mining // Coal. – 2019. – No. 7. – P. 26-27.
17. VolvoCE [Electronic resource] – <https://www.volvoce.com/united-states/en-us/about-us/news/2017/volvo-ce-unveils-the-next-generation-of-its-electric-load-carrier-concept/> (Access date 10.01.2020).



## Авторы статей в журнале № 3 (75) 2020 г.

**Денисов Александр Дмитриевич,**  
старший преподаватель кафедры  
«Технологии машиностроения и систем  
автоматизированного проектирования»  
(ТМС и САПР) Коломенского института (филиал)  
ФГБОУ ВО «Московский политехнический университет»,  
тел. 8-916-928-77-81,  
e-mail: dad\_888@mail.ru

**Землемерова Анастасия Сергеевна,**  
студентка кафедры «Поршневые двигатели»  
МГТУ им. Н.Э. Баумана, тел. +7 966-329-57-14,  
e-mail: anastasiazemlemerova70789@gmail.com

**Зенкин Александр Николаевич,**  
студент кафедры «Поршневые двигатели»  
МГТУ им. Н.Э. Баумана, тел. +7 909-976-71-50,  
e-mail: zensanches@mail.ru

**Кулешов Андрей Сергеевич,**  
д.т.н., профессор кафедры «Поршневые двигатели»  
МГТУ им. Н.Э. Баумана, тел. +7 910-450-09-16,  
e-mail: askuleshov@mail.ru

**Марков Владимир Анатольевич,**  
д.т.н., профессор, заведующий кафедрой  
«Поршневые двигатели» МГТУ им. Н.Э. Баумана,  
тел. 8-917-584-49-54,  
e-mail: vladimir.markov58@yandex.ru

**Патрахальцев Николай Николаевич,**  
д.т.н., Заслуженный работник высшей школы РФ,  
профессор-консультант Университета дружбы народов  
(РУДН), д.т.: (495) 680-16-88, р.т. 952-62-47,  
м.т. 915 278-54-06, e-mail: patrakhaltsev37@mail.ru

**Слободов Евгений Борисович,**  
президент и технический директор  
ООО «Мониторинг Вентиль и Фитинг»,  
107023, г. Москва, Большая Семеновская ул., д. 49,  
тел. +7 (495) 988-64-44,  
e-mail: mail@mvif.ru

**Строкова Ксения Константиновна,**  
советник по правовым вопросам  
Национальной газомоторной ассоциации,  
тел.: +7 9276620096  
e-mail: k.strokova@ngvrus.ru

**Трембач Сергей Андреевич,**  
студент-магистр Череповецкого государственного  
университета (ЧГУ), 162600, Россия,  
г. Череповец, пр. Луначарского, д. 30,  
e-mail: satrembach@yandex.ru

**Шишков Владимир Александрович,**  
начальник технического отдела  
ООО «Палладио» (г. Тольятти), академик РАЕ, д.т.н.,  
+7 (8484) 35-29-07, м.т. + 7 927 784 71 57,  
e-mail: Vladimir-Shishkov@yandex.ru

## Contributors to journal issue No 3 (75) 2020

**Denisov Alexander,**  
Senior Professor, Moscow Polytechnic University,  
The branch in Kolomna, Department of Mechanical  
Engineering and Computer-aided design systems,  
phone: +7 916-928-77-81,  
e-mail: dad\_888@mail.ru

**Kuleshov Andrei,**  
Doctor of Technical Sciences, Professor,  
Department of Piston Engines,  
Bauman Moscow State Technical University,  
e-mail: askuleshov@mail.ru

**Markov Vladimir,**  
D. Sc. (Eng.), professor of «Piston engines»  
department of the Bauman Moscow State  
Technical University, phone: + 7 917 584-49-54,  
e-mail: vladimir.markov58@yandex.ru

**Patrakhaltsev Nikolay,**  
Dr.Sc., prof. of Department of Thermotechnics  
and Thermal Engines of Russian Peoples' Friendship  
University (RPFU), Moscow,  
e-mail: patrakhaltsev37@mail.ru

**Shishkov Vladimir,**  
Head of Technical Department  
of Palladio LLC (Togliatti), Academician  
of The Russian Academy of Natural History,  
Doctor of Technical Sciences,  
phone: +7(8482) 35-29-07, +7-9277-847157,  
e-mail: Vladimir-Shishkov@yandex.ru.

**Slobodov Evgeny,**  
President and Technical Director,  
Monitoring Valve and Fitting LLC,  
phone: +7 (495) 988-64-44,  
e-mail: mail@mvif.ru

**Strokova Ksenia,**  
legal Adviser to the Natural Gas Vehicles Association,  
e-mail: k.strokova@ngvrus.ru

**Trembach Sergei,**  
Master's student, Cherepovets State University (ChSU),  
e-mail: satrembach@yandex.ru

**Zemlemerova Anastasia,**  
student, Department of Piston Engines,  
Bauman Moscow State Technical University,  
e-mail: anastasiazemlemerova70789@gmail.com

**Zenkin Alexander,**  
student, Department of Piston Engines,  
Bauman Moscow State Technical University,  
e-mail: zensanches@mail.ru